

**ПРАКТИЧНА РОБОТА З АСТРОНОМІЇ НА ТЕМУ:  
«НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ ДЖЕРЕЛА СВІТЛА У  
ГРАВІТАЦІЙНО–ЛІНЗОВИХ СИСТЕМАХ ЧЕРЕЗ МЕРЕЖУ ІНТЕРНЕТ»**

***Юрій Борисович Мирошніченко,**  
кандидат педагогічних наук, учитель фізики та  
астрономії Центральненської ЗОШ І-ІІІ ступенів,  
методист відділу освіти  
Миронівської райдержадміністрації*

**Мета дослідження** полягає у теоретичному дослідженні процесів мікролінзування віддалених джерел в ГЛС (гравітаційно-лінзових систем) з урахуванням їх власних розмірів, в плані виявлення можливих астрометричних проявів, які у перспективі можна буде спостерігати. Задача полягає у вивченні можливостей отримання астрофізичної інформації з таких спостережень, тобто пошук залежностей спостережних астрометричних параметрів від параметрів ГЛС.

**Теоретичні відомості.** Відхилення світла в гравітаційному полі є практично єдиним відомим природнім прикладом взаємодії класичних полів у вакуумі, що спостерігається на астрономічних масштабах. Цей ефект описується у рамках загальної теорії відносності. Його величина вкрай мала, але завдяки великим астрономічним відстаням та досить значним масам космічних об'єктів ефект приводить до помітних зсувів та змін яскравості зображень віддалених об'єктів та появи нових зображень. Дослідження цих ефектів складає предмет гравітаційно-лінзових досліджень, актуальність яких пов'язана з можливістю отримання нової, а часто унікальної, фізичної та астрономічної інформації.

Лінзова тематика стала особливо актуальною в зв'язку з проблемою темної речовини, яку можна зафіксувати лише за її гравітаційним впливом. Коли у ролі віддаленого джерела виступає квазар чи галактика на космологічній відстані, а у ролі джерела гравітаційного поля – галактика, або скупчення галактик, тоді у гравітаційній лінзі спостерігають декілька макрозображень на відстанях порядку секунд дуги. Можуть спостерігатись гігантські дуги деформованого джерела, з такими ж та більшими характерними розмірами. Ці системи можна вважати статичними, оскільки характерний час відносного руху галактик є дуже великим (макролінзування). З іншого боку, джерелом гравітаційного поля може бути і

окреме компактне тіло з масою, типовою для зір – чорна діра, зоря, планета, тощо. Такий ефект називають мікролінзуванням.

Мікролінзування відіграє важливу роль і в макролінзах. Лінзуючу галактику можна розглядати як сукупність великої кількості окремих зір, які формують велику кількість мікрозображень. Все це обумовило актуальність даної роботи, присвяченої вивченню оптичних властивостей пов'язаних з гравітаційним процесами.

**Фізична суть макролінзування та мікролінзування.** Викривлення променів світла було одним з перших ефектів загальної теорії відносності, передбачених А. Ейнштейном [3]. Однак лише у 1970–1980-ті рр. стало зрозумілим, що гравітаційно-лінзові системи (ГЛС) є досить поширеними явищами у Всесвіті. Гравітаційне лінзування має унікальне значення для вивчення розподілу маси у Всесвіті, особливо темної матерії; воно дає можливість отримати важливі дані про маси галактик та їх складові.

Ефект мікролінзування полягає в наступному. Якщо дві зорі знаходяться приблизно на одній лінії з земним спостерігачем, то спостерігач побачить зростання блиску зорі, яка розташована далі від нас, оскільки ближча працює як гравітаційна лінза, збираючи світло далекого об'єкта. В тому випадку, якщо біля близької зорі є планета, ми побачимо додаткове зростання блиску – планета також спрацює як маленька лінзочка. За параметрами зміни яскравості далекої зорі можна розрахувати масу лінз, у тому числі і планети. Зараз гравітаційне лінзування стало найважливішим інструментом експериментальної астрономії.

За його допомогою визначають маси галактик, вивчають розподіли мас їх скупченнях, шукають екзопланети. Щоб знайти екзопланету в таким способом, потрібно організувати безперервні спостереження за мільйонами зір. Зараз у світі існує декілька проектів, що базуються на ефектах, пов'язаних із мікролінзуванням. Запущений космічний апарат, призначений для пошуку екзопланет цим методом. Метод гравітаційного мікролінзування дозволяє знаходити „легкі” планети (з масами порядку земної) на орбітах із радіусом порядку однієї астрономічної одиниці. Проте ця методика має один специфічний недолік: частіше всього ми не знатимемо, біля якої зорі знайдена планета,

оскільки зоря-лінза звичайно уникає прямого детектування. У цього методу дуже обмежена область застосування, так як між зоряною системою, яка спостерігається, і Сонцем повинна знаходитись інша зоря, яка фокусує своїм гравітаційним полем світло нашої зорі. Крім того, при застосуванні цього методу неможливе проведення повторних спостережень.

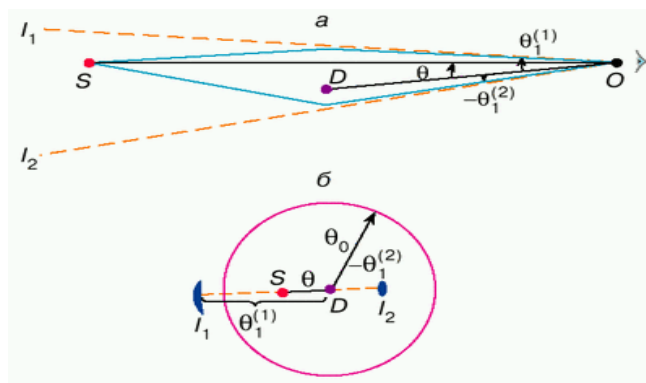
Свою назву ефект гравітаційного лінзування (ГЛ) отримав в зв'язку з його подібністю до результату дії звичайної оптичної лінзи. Гравітаційне поле масивних об'єктів грає роль гігантського природного телескопу, дозволяючи дослідити будову віддалених джерела випромінювання. ГЛ є джерелом унікальної астрофізичної, для яких роль “телескопів” відіграють більш близькі галактики.

В гравітаційно-лінзових дослідженнях виділяють два великі напрямки – макролінзування та мікролінзування [1-3]. Коли у ролі віддаленого джерела виступає квазар чи галактика на космологічній відстані, а у ролі джерела гравітаційного поля – галактика, або скупчення галактик, тоді у гравітаційній лінзі спостерігають декілька макрозображень на відстанях порядку секунд дуги.

Можуть спостерігатись гігантські дуги деформованого джерела, з такими ж та більшими характерними розмірами. Ці системи можна вважати статичними, оскільки характерний час відносного руху галактик є дуже великим (макролінзування). З іншого боку, джерелом гравітаційного поля може бути і окреме компактне тіло з масою, типовою для зір – чорна діра, зоря, планета, тощо. Тоді ефект називають мікролінзуванням. Таке явище спостерігають, наприклад, коли світло від зорі в Магеланових Хмарах проходить поблизу компактного об'єкту в галі Галактики [4]. Завдяки невеликим характерним масштабам зміни яскравості джерела за рахунок відносного руху мають різку часову залежність на протязі тижнів або місяців. При цьому величини зміщення зображень сягають мікросекунд дуги.

Розглянемо основні принципи створення зображень в гравітаційній лінзі з сферично-симетричним розподілом маси. На мал.1., буквою D позначена гравітаційна лінза (чи, як її ще називають, дефлектор), S - зоря фону, літерою O відмічено положення спостерігача. Кут між напрямом на дефлектор і істинний

стан зорі  $S$  позначено через, кут між напрямом на дефлектор  $\Theta$ .



*Мал.1. а) - викривлення променів світла далекої зорі  $S$  в гравітаційному полі точкової маси  $D$ ; б) - розташування дефлектора  $D$ , зорі  $S$  і  $\Theta$ , кутовий радіус конуса Ейнштейна*

Мікролінзування грає важливу роль і в макролінзах. Лінзуючу галактику можна розглядати як сукупність великої кількості окремих зір, які формують велику кількість мікробразжень. Суперпозиція мікробразжень дає макрообразження у лінзі. Зміна яскравості та положень мікробразжень буде спостерігатися і в цьому випадку. Спостерігач, що невзможі розділити макрообразження на мікро-компоненти, буде спостерігати зміни у загальній яскравості та у положенні центру яскравості зображення. Цей випадок – мікролінзування в позагалактичних лінзових системах, є особливо цікавим та разом з тим особливо складним для теоретичних досліджень, оскільки необхідно враховувати внесок великої кількості зір галактики. Методика моделювання систем з великою кількістю зір розроблялася багатьма авторами, починаючи з робіт Кайзера, Рефсдала, Стабела та Вамбсганса [5-6]. Ці роботи стосуються передусім розрахунку змін яскравості зображень джерела при мікролінзуванні.

**Фізично-астрометричні аспекти гравітаційної оптики.** Фізичні та астрометричні аспекти мікролінзування почали цікавити дослідників лише зовсім недавно. Основною причиною є мала величина зміщень зображень в мікролінзах – на рівні мікросекунд дуги, що за межами можливостей сучасних приладів. Але вже зараз є проекти, які можуть бути застосовані для астрометричних спостережень гравітаційних лінз [7,8]. Ці проекти розраховані на найближче десятиріччя, тому теоретичні дослідження цього питання актуальні вже сьогодні. Астрофізична доцільність таких спостережень очевидна: вони є джерелом незалежної і, як правило, більш повної астрофізичної

інформації про процеси мікролінзування. Теоретичні дослідження в цьому напрямку стосуються здебільшого галактичного мікролінзування, коли в процесі приймають участь лише одна-дві мікролінзи. Виявляється, що позиційні спостереження зображень в галактичних мікролінзах здатні ліквідувати невизначеності, що з'являються при суто фотометричних спостереженнях мікролінзування [12]. Астрометричні спостереження гравітаційного мікролінзування можуть стати вирішальними і при дослідженні природи темної речовини, завдяки додатковій можливості оцінити внески дискретної та суцільної компоненти речовини у спостережних ефектах.

В теоретичному плані слід відзначити, що дослідження астрометричних ефектів мають свою специфіку особливо в позагалактичних лінзах, де оптична густина мікролінз часто є значною. Зауважимо, що в задачах з малою оптичною густиною можна отримувати оцінки астрометричних ефектів, в тому числі і з великою кількістю зір, за допомогою аналітичних методів [15-18]. Саме цей випадок має місце, коли мікролінзами є зорі нашої Галактики і треба врахувати статистичний вплив великої кількості цих зір. При позагалактичному лінзуванні, як правило, необхідні чисельні методи. Причому розрахунок статистики рухів зображення джерела при мікролінзуванні є також більш складним для обчислень, ніж статистика змін яскравості.

Тут суттєво, що астрометричні ефекти більш повільно спадають із зростанням відстані від мікролінз до променя зору, і це призводить до небажаного внеску далекодіючих ефектів. В загальному випадку внесок далеких мікролінз вимагає врахування деталей розподілу зір в усій лінзовій галактиці з великим набором невідомих параметрів. Це ускладнює однозначне отримання локальних параметрів лінзи на промені зору з даних про зміщення центру яскравості зображення джерела.

Останнім часом велику увагу привертає астрометричне гравітаційне мікролінзування. Тут основний акцент робиться на дослідження траєкторій та рухів зображень мікролінзованих об'єктів. Інтерес до цього пов'язаний як з перспективами мікросекундної астрометрії, зокрема, з використанням космічних платформ, так і з необхідністю мати додаткову інформацію про мікролінзуючі

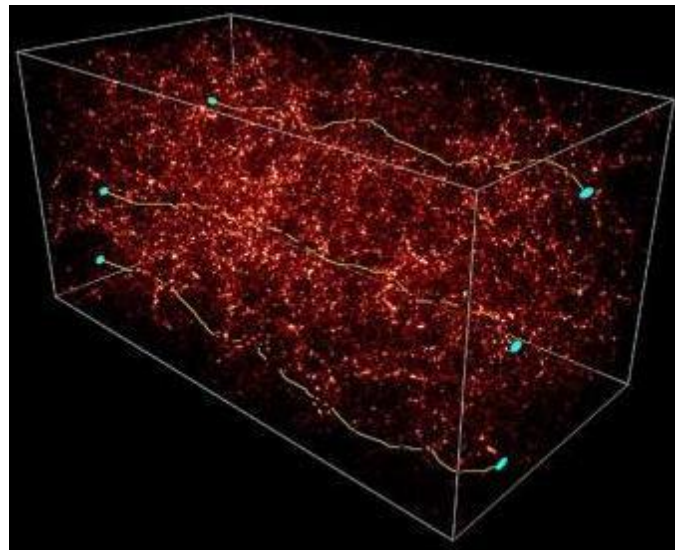
об'єкти, щоб компенсувати невизначеності, які залишаються після фотометричних спостережень. У теоретичному плані найпростішим є дослідження астрометричного мікролінзування однією-двома точковими масами.

У позагалактичних ГЛС, коли треба враховувати нелінійний вплив великої кількості мікролінз, задача моделювання астрометричних ефектів [13] є більш трудомісткою, ніж при моделюванні кривих блиску. Невідомий розподіл зір далеко від променя зору на масштабах галактики-лінзи приносить певну невизначеність, тому бажано моделювати саме ті величини, що нечутливі до деталей розподілу. У разі астрометричного мікролінзування віддалених об'єктів зорями Галактики оптична густина дуже мала, що спрощує статистичні розрахунки з урахуванням великої кількості мас. У роботі [15] отримано аналітичні співвідношення для розподілу видимих рухів зображень далеких джерел, індукованих слабкими гравітаційними полями компактних об'єктів.

Методи роботи [15] можна застосувати до слабого мікролінзування квазарів зорями Галактики. Уявні рухи зображень цих джерел важко відділити від їх власних рухів, що ставить принципове питання про межу точності астрометричних вимірювань [8]. У [5] показано, що якщо виключити з розгляду події сильного мікролінзування (на практиці це можна здійснити, користуючись кривими блиску відповідних зображень), то колективні рухи зір індукують середній рух зображення в напрямку обертання Галактики. Це означає, що існує фіктивне обертання фундаментальної системи відліку, пов'язаної з позагалактичними джерелами [5]. Його ефект малий, але в майбутньому, при підвищенні точності вимірювань, гравітаційно-індуковані рухи зображень віддалених джерел ускладнюватимуть визначення системи відліку та позиціонування об'єктів на небі.

**Хід променів в космічній лінзі.** Головна цінність гравітаційного лінзування в тому, що воно дає інформацію не лише і не стільки про спостережуваний об'єкт, зображення якого спотворюється лінзою, скільки про саму лінзу, її властивості і параметри. Всього розрізняють два види лінзування - сильне і слабе. При слабкому лінзуванні лінза тільки спотворює форму і видимі положення видалених об'єктів. При сильному лінзуванні вплив лінзи настільки

великий, що зображення спостережуваного через лінзу джерела розщеплюється на декілька зображень, що утворює кільця, дуги і інші складніші фігури. Маючи зображення, " зроблене" сильною лінзою, ми можемо відновити масу її центральної частини, а отже, якщо як лінза використовується скупчення галактик, - масу центральної частини скупчення. По слабкому лінзуванню ми можемо з певною мірою достовірності оцінити форму (витягнутість) видалених джерел, лінзуємих скупченням галактик, і з цього отримати просторовий розподіл маси лінзи[6].

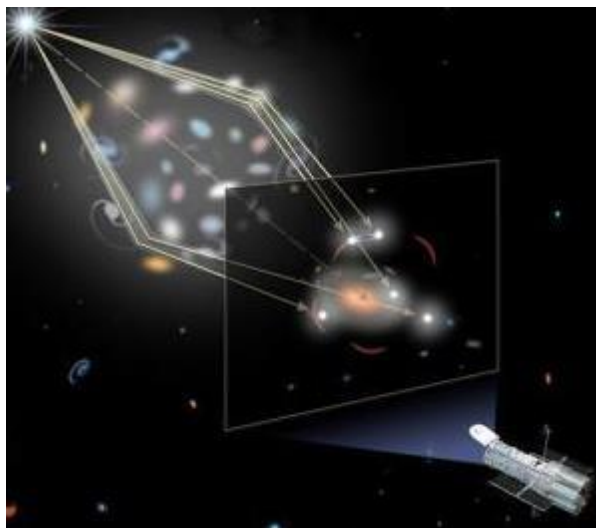


*Мал.2. Методи чисельного моделювання дозволяють розраховувати на суперкомп'ютерах шлях світла у великих об'ємах космічного простору, заповнених темною речовиною.  
Ілюстрація: S. Colombi (IAP), CFHT Team*

Звичайно, самі по собі результати оцінки маси лінзуючих галактик і їх скупчень представляють певний інтерес для позагалактичної астрономії, проте цей інтерес помітно зростає, коли з'являється можливість використати отримані результати для вирішення інших насущних проблем сучасної фізики і космології. Однією з таких проблем є проблема темної речовини. Ще в останній чверті XX століття було достовірно встановлено, - зокрема, по динаміці руху галактик і скупчень при їх гравітаційній взаємодії, де і згодилася незалежна, не динамічна оцінка мас галактик і скупчень, - що видима речовина (зір і газопилових хмар) складає в спостережуваній частині Всесвіту не більше 5%, тоді як невидимої речовини приблизно в 5 разів більше.

Спочатку фахівці виражали надію пояснити існування такої прихованої маси існуванням невидимих астрономічних об'єктів, що не є джерелами якого-

небудь випромінювання, - наприклад, холодний космічний пил і газ, планетні системи навколо зір, чорні діри. Такі об'єкти в якості темної речовини розглядаються і зараз, проте зараз з'явилися підстави вважати, що їх недостатньо для обчислення "правильного" значення густини темної речовини, тому доводиться шукати нові "претенденти" на звання "темної речовини". І тут-то велика надія покладається на гравітаційні лінзи! Незважаючи на усю свою оптичну недосконалість навіть порівняно з лінзами звичайних окулярів, вони дозволяють " побачити" невидиму речовину, не випромінюючи ні в одному з оптичних діапазонів, яка відхиляє промені світла, що приходять від надзвичайно далеких об'єктів, розщеплюючи і спотворюючи їх зображення[5].

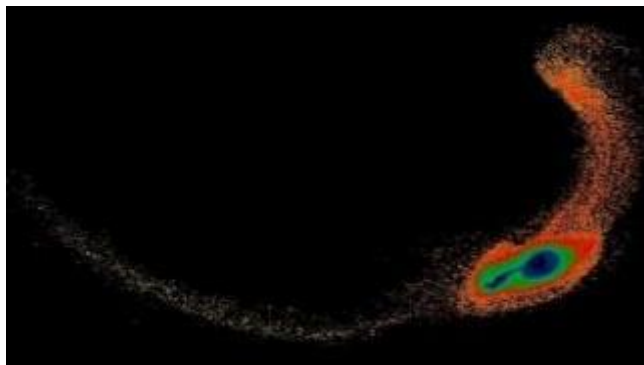


*Мал.3. Так можна схематично зображувати хід променів в гравітаційній лінзі. Промені, що розходяться, від точкового або майже точкового об'єкту (далекої зорі, галактики або скупчення галактик) викривляються нею і стають такими, що сходяться. В результаті, об'єкт, у відсутності лінзи що виглядав би як точка, що світиться, перетворюється на кільце, що світиться. Ілюстрація: NASA, ESA, and A. Feild (STScI)*

**Моделювання процесів гравітаційного мікролінзування.** Група астрономів Америки під керівництвом Бесли Гуртини з Колумбійського університету спробували експериментальним шляхом за допомогою гравітаційного мікролінзування виявити гіпотетичні "масивні компактні об'єкти гало" - МАСНО як скорочення з англійського massive compact halo objects. Це такі тусклі об'єкти, які по масі приблизно відповідають зорям. Результат мікролінзування виявився досить несподіваним.

Побудована модель Поток Магеллана - газова перемичка між галактиками - показала, що після зіткнення вона містить лише молоді зорі.

Для реєстрації такого об'єкту як МАСНО за допомогою гравітаційного мікролінзування потрібна наступна умова: об'єкт повинен пройти перед видимою із Землі зорею, яка знаходиться за межами нашої галактики, і підсилити її світло. В цьому випадку учені звернули увагу на галактику-супутник Чумацького Шляху - Велику Хмару Магеллана (ВМХ). Зорі Хмари досить видалені - значить, можна за допомогою мікролінзування виявити МАСНО.



**Мал.4.** *Модель Поток Магеллана*

Але ефект, що спостерігався, був сильніший, щоб відповідати гіпотезі про те, МАСНО, що породжують його, можуть складатися з темної матерії. Науковці вважають, що, швидше за все МАСНО складається із звичайної баріонної матерії. З іншого боку, процес мікролінзування був слабший тому, що відповідальним за це був хвіст із зір, «викрадених» з Малої Магелланової Хмари (ММХ) (<https://www.eso.org/public/ukraine/images/eso1311c/>) [3,4].



**Мал.5.** *Велика та Мала Магелланова Хмара*

**Довідка:** астрономи-науковці деякий час назад відмічали, що близько 5 відсотків зір ВМХ обертаються навколо центру Хмари в напрямі, зворотному

тому, в якому обертаються інші 95 відсотків. І це вказує на походження цієї меншості з ближньої карликової галактики. Але тоді йшлося про "викрадення" зір без якихось масштабних трагедій.

Будь-які сценарії моделювання показували, що єдине пояснення підвищеної швидкості - це зіткнення між ВМХ і ММХ, подія декілька сотень мільйонів років тому. Крім того, одна модель продемонструвала, що обидві карликові галактики роблять доки перший оборот навколо Чумацького Шляху, тобто це "молодий" процес за астрономічними мірками.

**Основні завдання дослідження** полягають у розв'язанні на базі моделювання траєкторій центру яскравості зображення джерела, мікролінзованого однією чи багатьма точковими масами. Результати, отримані в процесі дослідження стосуються як галактичних мікролінз, коли в процесі мікролінзування приймають участь один-два об'єкти, так і в позагалактичних лінзах, де у формуванні зображення приймає участь велика кількість зір та галактик. Основна задача, дослідження статистичних ефектів астрометричного лінзування, за допомогою яких можна отримати локальні параметри лінзи на промені зору. Але головна задача пов'язана зі знаходження фокусних точок гравітаційних лінз в космічному просторі, використання яких надасть можливість проводити спостереження надзвичайно віддалених об'єктів.

Через мережу Інтернет необхідно опрацювати сучасну наукову інформацію доступну на сайтах : NASA, ESA, the Hubble Heritage Team (STScI/AURA), J. Blakeslee (NRC Herzberg Astrophysics Program, Dominion Astrophysical Observatory), Н. Ford (JHU). Стопінки доступу ( <http://www.nasa.gov/>, <http://www.esa.int/ESA> , <http://mechafushigi.com/ja/fluid-dynamics/interstellar-gas-nasa-esa-the-hubble-heritage-team-stsci-aura-and-iphas/>, <http://www.sciencedaily.com/releases/2013/09/130912112728.htm> ) .

В результаті аналізу останніх наукових даних необхідно зробити висновок про:

- траєкторії центру яскравості зображення джерела в системі спокою джерела з урахуванням його розмірів при проходженні однієї точкової маси;

- вплив розмірів джерела проявляється при його перетині мікролінзою де величина кутового зміщення складає близько 30 мікросекунд дуги;
- траєкторії зображення джерела при мікролінзуванні однією масою при наявності зовнішнього фонового поля, яке може виникати при наявності інших мас в площині лінзи (даний випадок є типовим для позагалактичного мікролінзування, коли фонове поле утворюється лінзуючою галактикою в цілому) ;
- вплив фонового поля на якісний вигляд траєкторії.

**Дослідження змінності позагалактичних джерел випромінювання внаслідок впливу гравітаційного мікролінзування.** На фоні дії гравітаційного поля галактики-лінзи, що породжують декілька зображень одного й того ж самого джерела, яке можна розглядати як майже статистичне, спостерігається й інший ефект тієї ж самої фізичної природи, але спричинений окремими компактними об'єктами зоряних мас, що входять до складу лінзуючої галактики. Це - *гравітаційне мікролінзування* (ГМ). Саме ГМ спричинює динамічні зміни яскравості зображень із часовими масштабами від тижнів до місяців. Порівнюючи зміни яскравості різних зображень в позагалактичних гравітаційно-лінзових системах, потрібно досліджувати ефекти мікролінзування, але при цьому найбільш цінними є спостереження подій мікролінзування з великим підсиленням, які відповідають проходженню мікролінзуючого об'єкта поблизу від променя зору, оскільки вони дозволяють досліджувати будову джерела випромінювання за відносно невеликий проміжок часу. Ефекти ГМ найбільш помітні, коли джерело випромінювання проходить через каустику мікролінзи - на його кривій яскравості виникає значний пік. Це явище називають подією із великим підсиленням (ПВП). Такі події є особливо цінними. Вони дозволяють визначити деякі параметри ГЛС, виходячи з даних, накопичених за відносно невеликий проміжок часу, тоді як менш інтенсивні події ГМ, хоча й більш доступні, стають інформативними після накопичення статистичного матеріалу протягом десятиріч. Тому велику увагу привертають ПВП, виявлені в ГЛС Q2237+0305 спостережними групами OGLE

([https://en.wikipedia.org/wiki/Optical\\_Gravitational\\_Lensing\\_Experiment](https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_Gravitational_Lensing_Experiment))

та

GLITP(<http://adsabs.harvard.edu/full/2003MNRAS.346..415U>) [3,4,8,9].

Перший лінзований квазар було відкрито у 1979 році Велшем, Гаршвеллом і Вейменом (“Перша Лінза”, Q0957+561). Нині відомо близько сотні кратних зображень квазарів, які зобов’язані своїм існуванням ГЛ. Криві яскравості різних зображень одного й того ж квазара в ГЛС, індуковані його власними коливаннями блиску, мають бути майже синхронними з певним часом затримки. Це дозволяє відокремлювати події сильного ГМ від власних коливань блиску квазара. В даному циклі робіт проводиться дослідження таких подій як в плані чисельного моделювання, так і обробки даних спостережень по гравітаційно-лінзованому квазару „Хрест Айнштейна” Q2237+0305

([https://www.noao.edu/image\\_gallery/html/im0553.html](https://www.noao.edu/image_gallery/html/im0553.html)) [5].

Гравітаційно-лінзова система „Хрест Айнштейна” містить чотири зображення радіотихого квазара, разом вони за формою нагадують хрест загальною довжиною біля секунди дуги. Червоне зміщення джерела  $z_s=1.695$ , лінзуючої галактики  $z_g=0.0394$ .

Вперше явище ГМ було зафіксовано у цього об'єкта в 1989 році, і пізніше спостерігалось тут неодноразово. В ГЛС Q2237+0305 проведено серії спостережень багатьма групами, зокрема, OGLE та GLITP, дані яких оброблені в даному циклі робіт на сайті: <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-id?Ident=Q2237%2B0305>.

#### Basic data :

#### QSO J2240+0321 -- Quasar

Other object types: QSO (Ref, QSO, [HB93], [VV2000], [VV2003], [VV2006], [VV2010], [VV96], [VV98]), Lq (Ref), G ([BV99b]), X ([VRS99])  
 ICRS coord. (ep=J2000): 22 40 30.3 +03 21 30 ( Optical ) [ ] C 2010668...3188...10V  
 FK5 coord. (ep=J2000 eq=2000): 22 40 30.3 +03 21 30 [ ]  
 FK4 coord. (ep=B1950 eq=1950): 22 37 57.8 +03 05 49 [ ]  
 Gal coord. (ep=J2000): 071.7910 -46.1088 [ ]  
 Radial velocity / Redshift / cz: V (km/s) 227230 [~] / z{~} 1.695 [~] / cz 508188 [~] {~} B 2003A6A...412...7078  
 Angular size (arcmin): 0.870 0.338 78 (-) (-) D ~  
 Filter (Z): B 15.2 [~] E ~  
 W 16.78 [~] D ~

SIMBAD query around with radius 2 arcmin



Мал.6. Обробка даних на сайті :

<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-id?Ident=Q2237%2B0305>

Конкретна модель джерела дозволяє зв'язати такі параметри, як світність квазара, його маса і розмір. Перші два параметри є доступними для вимірів.

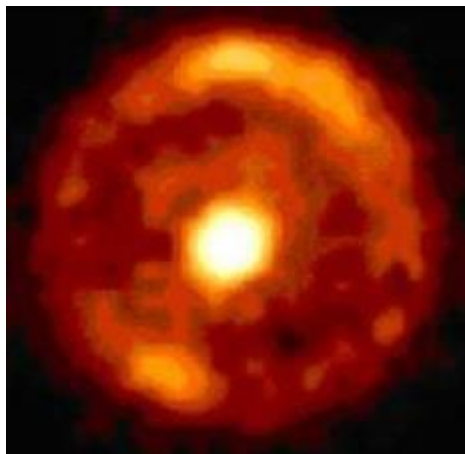
Особливо важливим параметром тут є темп падіння речовини в чорну діру. Знаючи масу і розмір центральної області, а також світність квазара, ми зможемо віддати перевагу конкретної моделі. При цьому може відігравати суттєву роль розподіл яскравості джерела. Для моделювання конкретної ситуації, таким чином, необхідно задати такі параметри: розмір джерела і функцію розподілу яскравості; параметри фонового поля; маси мікролінз та їх розподіл; відстані між лінзою і спостерігачем і між квазаром і спостерігачем [14].

**Дослідження гравітаційних лінз засобами інформаційно-комунікаційних технологій.** Майже ідеальну кільцеву форму (її називають також кільцем Ейнштейна) було зареєстровано в лютому цього року телескопом "Габбл" на гравітаційній лінзі 0038+4133. Для отримання даного зображення необхідно, щоб гравітаційна лінза виявилася точно на прямій такою, що сполучає телескоп з віддаленою галактикою [3,4]. Фото: NASA, ESA, C. Faure (Zentrum für Astronomie, University of Heidelberg) and J.-P. Kneib (Laboratoire d'Astrophysique de Marseille)



*Мал.7. Кільце Ейнштейна*

В якості лінзи, і в якості джерела, виступають далекі галактики. Галактика-лінза, яку видно в центрі зображення, знаходиться так близько до напрямку на галактику-джерело, що її гравітація перетворює зображення джерела на кільце. Об'єкт В1938+66 був відкритий за допомогою радіотелескопу в результаті цілеспрямованого пошуку гравітаційних лінз, він знаходиться в сузір'ї Дракона. Дане зображення отримане Лінсі Кінг і її колегами за допомогою інфрачервоної камери Космічного телескопа імені Габбла[3].



*Мал.8. Фото кільця Ейнштейна-Хвольсона*

Чотири компоненти зображення далекого квазара QSO2237+0305 - "Хрест Ейнштейна". У даному випадку квазар розташований в 8 мільярдах світлових років від нас - в 20 разів далі, ніж галактика - лінза, як відмінно видно на цьому зображенні. Система дуже симетрична, тому тимчасова затримка між різними зображеннями складає всього декілька годин. Видимий посередині між зображеннями квазара яскравий об'єкт - це ядро галактики, його спектр абсолютно не схожий на спектри квазарів. Це зображення отримане Джеймсом Роудсом за допомогою 3,5-метрового телескопа на горі Кітт-пек в США [3,4] .



*Мал.9. Фото квазара QSO2237+0305 - "Хрест Ейнштейна"*

Темне кільце на зображенні скупчення галактик Cl 0024+17 було ідентифіковане з темною речовиною. Саме зображення було побудоване з використанням інформації, отриманої від орбітальної обсерваторії "Габбл", а походження кільця зв'язується із зіткненням двох велетенських галактичних кластерів. Фото: NASA, ESA, M.J. Jee and H. Ford (Johns Hopkins University) [3,4].



*Мал.10. Фото скупчення галактик Cl 0024+17*

Джерела інформації мережі Інтернет для дослідження гравітаційно-лінзових систем. Результати спостережень провідних інститутів та обсерваторій світу через мережу Інтернет, включаючи обсерваторії південної півкулі можна знайти на сайтах:

- **Національна оптична астрономічна обсерваторія** (NOAO, США):  
<http://www.noao.edu/noao.html>. Через цей сервер можна вийти на сторінки знаменитих обсерваторій Маунт Вілсон, Маунт Паломар і Кат Пік.
- **Національна радіоастрономічна обсерваторія** (NROO, США):  
<http://www.nrao.edu/>.
- **Інститут космічного телескопа ім. Хаббла** (STSc, США):  
<http://marvel.stsci.edu/>.
- **Обсерваторія ім. В. М. Кека** (США, Гавайські острови). Має два найбільших на сьогодні оптичних телескопи із сегментованими 18-метровими дзеркалами: <http://astro.caltech.edu/>.
- **Центр астрофізики Гарвардського університету** (Cf, США):  
<http://cfa-www.harvard.edu/>.
- **Національний астрономічний і іоносферний центр в Аресібо** (NAIC, США): <http://www.naic.edu/>.
- **Сонячна обсерваторія Біг Бер** (BBSO, США):  
<http://www.bbso.njit.edu/>.
- **Обсерваторія Сьєрро Тололо** (СТІО, Чилі):  
<http://www.ctio.noao.edu/>.

- ***Південна європейська обсерваторія (ESO):***  
<http://www.eso.org/>.
- ***Англо-Австралійська обсерваторія (AAO, Австралія):***  
<http://www.aao.gov.au/>.
- ***Радіоастрономічна обсерваторія Джодрелл Бенк (Англія):***  
<http://www.jb.man.ac.uk/>.
- ***Група ім. І. Ньютона (ING, о. Ла-Пальма, Канарські острова):***  
<http://www.ing.iac.es/>.
- ***Об'єднаний астрономічний центр (Гавайські острови):***  
<http://www.jach.hawaii.edu/>.
- ***Інститут астрономії товариства Макса Планка (MPIA, ФРН, Гайдельберг):*** <http://www.mpia-hd.mpg.de/>.
- ***Інститут астрофізики товариства Макса Планка (MPA, ФРН, Гархінг):*** <http://www.mpa-garching.mpg.de/>.
- ***Інститут радіоастрономії товариства Макса Планка (Бонн, Німеччина MPIf):*** <http://www.mpifr-bonn.mpg.de/>. Має найбільший повноповоротний радіотелескоп з діаметром дзеркала 109 м.
- ***Інститут астрономії Віденського університету (Австрія):***  
<http://www.astro.univie.ac.at/>.
- ***Обсерваторія Блакитного берега (OCA, Франція):***  
<http://www.obs-nice.fr/>.
- ***Обсерваторії Маунт Стромло і Сайдінг Спрінг (Австралія):***  
<http://msowwww.anu.edu.au/>.
- ***Південно-Африканська астрономічна обсерваторія (ПАР):***  
<http://www.sao.ac.za/>.
- ***Національна астрономічна обсерваторія Японії (NAOJ):***  
<http://www.nao.ac.jp/> [3]. .

**Після дослідження гравітаційно-лінзових систем необхідно підготувати висновок та звіт про проведену роботу.**

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ТА РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Блиох П.В., Минаков А.А. Гравитационные линзы. - Киев: Наук. Думка, 1989. - 236 с.
2. Жданов В.И., Салата С.А. Движение удаленного объекта, микролинзированного звездами промежуточной галактики // Кинематика и физика небес. тел. – 1998. – Т. 14., №3. – С. 203-209.
3. Веб-сайт «Астрономічні новини NASA. Новини космосу.»  
[Електронний ресурс].–Режим доступу: <http://www.nasa.gov/> - (Сайт астрономічних новин)
4. Веб-сайт «Космічного агенства ЕКА» [Електронний ресурс].–Режим доступу: <http://www.esa.int/rosetta> (Сайт космічного агенства ЕКА)
5. Веб-сайт «Космічного агенства DLR» [ Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dlr.de> – (Космічне агенство DLR)
6. Веб-сайт «Кафедра астрономії та фізики космосу» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://space.univ.kiev.ua/viewpage.php?page\\_id=1/](http://space.univ.kiev.ua/viewpage.php?page_id=1/) – (Кафедра астрономії та фізики космосу, Фізичний факультет, Київський національний університет імені Тараса Шевченка)
7. Веб-сайт «Астрономія для всіх» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://yuriy-myroshnichenko.edukit.kiev.ua/> – (Персональний сайт Ю.Б. Мирошніченка).
8. Салата С.А. Програмний комплекс для чисельного моделювання гравітаційного моделювання // Вісник Київського університету. Астрономія – 2000. – №37. – С.19-22.
9. Жданов В.И., Александров А.Н, Салата С.А. Движение изображений микролинзированных протяженных источников: аналитические соотношения и численные оценки при средних оптических плотностях // Кинематика и физика небес. тел. – 2000. – Т.16, №4. – С. 336-345.
10. Жданов В.И., Салата С.А., Федорова Е.В. Эффекты фонового поля в астрометрическом микролинзировании // Письма в астрономический журнал. – 2001. – Т.27, №9. – С. 659-666.
11. Schneider P., Ehlers J., Falco E. Gravitational lensing. - New York: Springer, 1992. - 435 p.
12. Захаров А. Ф. Гравитационные линзы и микролинзы - М., Янус-К, 1997. - 328с.
13. Paczynski B. Gravitational Microlensing by the galactic Halo // Astrophys. J. - 1986. – V.304. - P.1-5.
14. Kayser R., Refsdal S., Stabell R. Astrophysical applications of gravitational micro-lensing // Astron. Astrophys. - 1986. - №166. - P. 36-52.
15. Wambsganss J. Gravitational Microlensing: Ph.D. thesis. - Мьнchen, 1990. - 15p.
16. Paczynski B. Gravitational Microlensing with the Space Interferometry Mission // Astrophys. J. - 1998. – V.494. – L23-26.
17. Shao M. SIM: the space interferometry mission // Proc. SPIE. - 1998. - №3350. - P. 536-540.
18. Hog E., Novikov I.D., Polnarev A. MACHO photometry and astrometry // Astron. and Astrophys. - 1995. - Vol. 294, №1. - P.287-294.
19. Walker M. Microlensed image motions // Astrophys. J. - 1995. - V.453. - P.37-39.
20. Han C. Additional information on from astrometric gravitational microlensing observations // ASP conference series. - 2000.
21. Williams L., Saha P. Improper motions in lensed QSOs // Astron. J. - 1995. - V.110. - P. 1471.
22. Lewis G., Iбата R. Quasar image shifts due to gravitational microlensing // Astrophys. J. - 1998. - №501. - P. 478.
23. Zhdanov V.I., Zhdanova V.V. Analytical relations for time-dependent statistical microlensing // Astron. Astrophys. - 1995.- V. 299. - P.321-325.
24. Zhdanov V.I. The general relativistic potential of astrometric studies at microarcsecond level // Astronomical and astrophysical objectives of sub-milliarcsecond optical astrometry / Eds. E. Hog, P. K. Seidelmann. – Dordrecht: Kluwer, -1995- P.295-300.
25. Sazhin M.V., Zharov V.E., Volynkin A.V. and Kalinina T.A. Microarcsecond instability of the celestial reference frame // Mon. Not. R. Astron. Soc. - 1998. - V. 300. - P. 287-291.
26. Mao S., Witt H. Extended source effects in astrometric gravitational microlensing // Mon. Not. R. Astron. Soc. - 1998. - №300. - P. 1041.