

СПОГАДИ ПРО ЧОТИРИ ДЕСЯТИЛІТТЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОБЛЕМИ ПОЗАСОНЯЧНИХ ПЛАНЕТ

Про початок вивчення екзопланет в Україні, про наукові дослідження, про вплив на них політичної ситуації в країні, а також про особистий внесок автора в розвиток цих досліджень.



Володимир Захожай
астрофізик,
д-р фіз.-мат. наук,
професор

Ця стаття була надіслана
5 серпня 2019 р. і стала
останньою прижиттєвою
статтею
Володимира Анатолійовича
Захожая
(27.09.1952–06.10.2019)

Від середини 1970 рр., коли виникла ідея практичного пошуку планет біля інших зірок, і в наступні десятиліття пошукові роботи і в СРСР, і в Україні велися без спеціального на те фінансування. Спочатку багато астрономів віднеслися до цієї ідеї як до зовсім нереальної задачі, яку неможливо вирішити в недалекому майбутньому. Тому лише об'єднаними зусиллями ентузіастів, які не зважали на те, буде реальний результат чи ні, велися перші пошукові дослідження цієї фундаментальної проблеми.

Багато результатів, які вдалося одержати вже в перші роки досліджень, і зараз згадуються з приміткою «вперше» та є базовими для триваючих дослідів уже на основі численних нових спостережних даних. Спочатку не завжди збігалися уявлення астрономів про методи, об'єкт і предмет досліджень, не було сформовано коло фахівців і ентузіастів у цій області. Усе було вперше. Одні відмовлялися від визнання виниклого нового напрямку, інші – не хотіли його й бачити, були й такі, про яких не слід згадувати... Були тільки публікації, виступи на конференціях. Але сформувалася атмосфера порозуміння між однодумцями, що сприяла формуванню нового напрямку, одному з найперспективніших на сьогодні.

У наведених нижче матеріалах згадуються імена астрономів, фізиків, державних діячів, які підтримали безпосередньо або побічно ідею дослідження проблеми позасонячних планет, а також суміжні області, розвиток яких сприяв би організації пошуку планет інтерферометричним методом. Така постановка задачі відкривала перспективу використання цього астрономічного методу для вирішення ряду прикладних задач і в інших сферах людської діяльності: пошукові геологічні роботи, створення геофізичної і геодезичної мереж в Україні і, звичайно ж, астрономічна освіта.

Моя зацікавленість цією проблемою почалася більше 40 років тому і на початку була пов'язана з можливістю використання когерентної оптичної установки (КОУ) для оброблення зображень (рис. 1) Астрономічної обсерваторії Харківського державного університету (АО ХДУ) та проведення спостережень на 6-м Великому телескопі азимутальному (ВТА) САО АН СРСР. Спільні зусилля з використанням цих унікальних і найбільших у світі інструментів, що з'явилися в другій половині 1970-х років, здавалося б можуть дати цікаві результати, тим більше що після Бюраканської конференції по СЕТІ (SETI, Search for Extra Terrestrial Intelligence) у 1971 році була сформульована задача про пошук планет біля зірок.

У 1977 р. розпочалися роботи з моделювання процесу проходження планет і інших холодних супутників біля зірок по їх дисках, результатом чого стала доповідь у Головної астрономічній обсерваторії АН УРСР на Конференції молодих вчених, а також перші публікації [1–3]. Отримані результати на КОУ АО ХДУ та спеціально створеній установці [4] мали значення для використаного запропонованого *Лабейрі* (1970 р.) методу спекл-інтерферометрії, для чого потрібен був доступ для спостережень на телескопах з великими апертурами. Оскільки практичні пошуки таких об'єктів (невидимих супутників біля зірок) в той час проводилися *О.Н. Дейчем* в Пулкові астрономічним методом, то я поїхав туди для знайомства з ним та його

колегами і доповів свої перші результати. Мої дослідження підтримали співробітники ГАО АН СРСР **Ю.М. Гнедін, О.О. Кисельов, Н.А. Шахт і М.С. Чубей.**

Подальші кроки були спрямовані на пошук кандидатів зірок і направлення пропозиції в комісію КТШТ з використання наглядного часу на ВТА. Для вибору кандидатів були обрані кілька затемнених змінних зірок (для спостереження їх в мінімумі блиску з метою перевірки працездатності методу і відпрацювання методики) і найближчі зорі, для чого мною був складений каталог зірок, розташований ближче 10 пк від Сонця [5–6], який пізніше увійшов в ADS SIMBAD [7], де номери зірок Каталогу фігурують під номерами Zkh. Комісія також виділяла час для проведення Харківської програми, серед завдань якої фігурувала і моя.

Щоб фундаментально розібратися в проблемі, я почав працювати над написанням відповідного огляду. З'ясувалося відразу дві невирішені задачі:

1) які об'єкти слід віднести до планет за межами Сонячної системи, тобто що є предметом досліджень? 2) скільки теоретично може бути планет в Галактиці. Для вирішення 1-го завдання треба було дати визначення поняттю планети, виділивши такі її властивості, які притаманні тільки їй. Таке перше визначення було зроблено, де за основну ознаку було запропоновано враховувати наявність ядра, а головним процесом, що дозволяє його утворенню, – гравітаційну диференціацію [8]. Наявність ядра у планет зараз вважається загальноприйнятим. Перше запропоноване рішення дозволило також виділити інтервал мас для силікатних планет, в результаті чого стало зрозумілим, що крім планет і зірок у Всесвіті існують ще й об'єкти, природа яких відрізняється від них. Ми з **Ю.В. Александровим** назвали їх «субзорями», виділивши окремий клас небесних тіл. Нині така назва, поряд із назвою «коричневі карлики», даною **Джиллом Тартером**, є загальноприйнятою.

Для оцінки кількості планет у Галактиці раніше пропонувалося залучити поняття «суб'єктивна ймовірність». Це, фактично, експертна оцінка, яка не має ніякого математичного обґрунтування. Я зайнявся залученням статистичних властивостей кратних зірок, на підставі яких була виведена математична формула, що дає об'єктивну оцінку ймовірності наявності планет біля зірок довільної кратності. Результати моїх обґрунтувань були опубліковані в 1983 р. [9]. Приблизно до того ж часу закінчилася робота і над оглядом [10]. Перші результати були викладені на Всесоюзній конференції з дослідження Сонячної системи в Казивелі (1980 г.). Після моєї оглядової доповіді до мене підійшов учасник конференції з міста Горького і сказав,

Література

1. **Захожай В.А.** К вопросу определения диаметров компонентов затменных переменных звезд. Вестн. Харьк. ун-та. 1978. №176. С. 85–91.
2. **Захожай В.А.** Применение когерентной оптической системы к поиску холодных спутников у звезд. Астрометрия и астрофиз. 1979. № 37. С. 85–88.
3. **Захожай В.А.** Возможности спекл-интерферометрии при наблюдении затменных переменных систем /результаты машинного моделирования/. Вестн. Харьк. ун-та. 1981. № 223. С. 60–63.
4. **Захожай В.А.** Установка для моделирования спекл-интерферометрии. Вестн. Харьк. ун-та. 1983. № 247. Харьков. С. 44–49.
5. **Захожай В.А.** Ближайшие звезды. Вестн. Харьк. ун-та. 1979. № 190. С. 52–77.
6. **Захожай В.А.** Дополнения и исправления каталога ближайших звезд до 10 пс. Вестн. Харьк. ун-та. 1982. № 232. С. 64–70.

що зі мною хоче зустрітися **В.С. Троїцький** з НРФІ (займався в той час проблемою позазоряних цивілізацій і вів їх пошук радіоастрономічним методом) для обговорення піднятої в моїй доповіді проблеми. Через кілька місяців ми з ним зустрілися. Крім зустрічі я виступив з доповіддю на семінарі. Всеволод Сергійович в цей час займався підготовкою Конференції по SETI, яку заплановано було провести через рік у Таллінні. Він запропонував мені як основному ініціатору доповіді виступити з оглядом в одному з п'яти напрямів конференції. Я вдало виступив на конференції [11], познайомився з багатьма відомими вченими (включаючи **І.С. Шкловського** і **М.С. Кардашеву**), яких цікавила ця проблема. Матеріали конференції були опубліковані окремою книгою, де фігурує і наш огляд з обговорюваної проблеми [12].

В.С. Троїцький також запропонував мені виступити в Астрораді АН СРСР, куди він запросив багатьох вчених, які в Москві цікавилися цією проблемою: **Д.Я. Мартинова, Л.В. Ксанфомаліті, М.Я. Марова** та ін. Результатом цього робочого семінару було створення Робочої групи з пошуку позасонячних планет при секції «Радіоастрономія» АН СРСР. Її очолив **В.С. Троїцький**, заступником був обраний **Л.В. Ксанфомаліті**, а мене обрали вченим секретарем з оптичної астрономії [13]. Робоча група почала працювати, а в 1982 р. відбулася Перша конференція з цієї проблеми в Радянському Союзі, в Спеціальній астрофізичній обсерваторії (САО) АН СРСР, куди з'їхалися багато відомих астрономів із Москви, Ленінграда та інших міст. З України було двоє: я і **О.В. Мороженко** (ГАО АН УРСР).

Від 1980 рр. я мав дружні робочі зв'язки з **М.С. Кардашевим**. Спочатку він запропонував мені разом з **Т.В. Рузьмайкіною** написати статтю про вибір об'єктів для пошуку планетних систем біля зірок, що ми і зробили [14]. Після відкриття біля Веги протопланетного диска (1984 р.) він надав мені матеріали НАСА (наземні і космічного супутника IRAS) про інфрачервоні (ІЧ)-зорі, а також залучив до обговорення ідеї й наукової програми запланованого першого радянського ІЧ-телескопа з робочою назвою «Аеліта». Ми також почали обговорювати можливість побудови наземного оптичного і ІЧ-інтерферометра. **Микола Семенович** висловлював ідею побудови такого інструменту на Місяці або в Антарктиді. Я ж запропонував такий інструмент побудувати на території заміської бази АО ХДУ. Дані про ІЧ потоки були мною використані для складання каталогу найближчих зірок, що мають інфрачервоні надлишки і були опубліковані [15].

7. **Zakhozaj V.A.** Catalogue of stars within ten parsecs of the Sun. 1996. URL: <http://cdsweb.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR?source=V/101>.

8. **Александров Ю.В., Захожай В.А.** Что такое планеты. Астрон. вестн. 1980. 14, №3. С. 129–132.

9. **Александров Ю.В., Захожай В.А.** К вопросу о возможном числе планетных систем в Галактике. Астрон. вестн. 1983. 17, №2. С. 82–86.

10. **Александров Ю.В., Захожай В.А.** Проблемы внесолнечных планет в Галактике. Астрон. вестн. 1983. 17, №3. С. 131–144.

11. **Захожай В.А., Александров Ю.В.** Существование планетных систем в Галактике и проблемы их поиска. Поиск разумной жизни во Вселенной. Тезисы всесоюзного симпозиума "SETI", Tallin' 81"/. Таллин. 1981. С. 27.

12. **Александров Ю.В., Захожай В.А.** Существование планетных систем в Галактике и проблемы их поиска. В кн.: Проблемы поиска жизни во Вселенной. М.: Наука. 1986. С. 201–210.

Ідею про створення ГЧ-інтерферометра М.С. Кардашев запропонував мені обговорити з **С.Я. Брауде**. Семен Якович запропонував виступити з цією ідеєю на семінарі Радіоастрономічного інституту АН УРСР (РАН), а потім разом з **Л.М. Литвиненком** підтримав цю ідею. Було запропоновано розробити технічне завдання і кошторис. Це було виконано. Вартість пропонованого інтерферометра оцінювалася в кілька мільйонів рублів. Але грянула перебудова, а потім розвал СРСР, відсутність фінансування, і стало зрозуміло, що здійснення такого вартісного заходу не на часі.

Подальша спроба втілити ідею про інтерферометр пов'язана з **О.Є. Шорніковим** (головний і єдиний тоді в СРСР розробник такого інструменту), з яким я познайомився вже після його від'їзду з Миколаєва до Казані. Протягом декількох років тривало наше співробітництво. Був спільний виступ на Ювілейній конференції в Миколаєві [16], на семінарах в Казані і в ГАО НАНУ, підтримане **Я.С. Яцківим**. Ідея про побудову інтерферометра також була представлена на Першій українській конференції з перспективних досліджень і в його матеріалах [17], де також були викладені і перспективи його застосування [18]. У Росії ідею розробки і створення інтерферометра підтримував **О.О. Боярчук**, за ініціативи якого передбачалося встановлення його на Міжнародній космічній станції (МКС), де спеціально для цього було виділено місце. Мене вони залучили як експерта з розробки наукової програми з пошуку екзопланет.

Створенням інтерферометра зацікавилися й російські нафтогазові бурильники, участь яких вирішувала проблему реального фінансування такого проекту. Це було важливо, оскільки в другій половині 1990 років як у Росії, так і в Україні фінансування наукових витратних проектів було вкрай проблемним. Але ми не зовсім розуміли, для чого це потрібно представникам нафтогазової галузі. Тому я зустрівся з генеральним директором **М.Г. Ульяновим** і головним інженером **В.О. Філем** бурового управління «Укрбургаз» – провідного підприємства бурових робіт в Україні. При обговоренні можливої необхідності створення такого інструмента для прикладних цілей і проблем бурового господарства з'ясувалося, що до сих пір не

вирішена одна з найважливіших проблем: місцезнаходження і положення бура під час його руху в середину Землі. Натикаючись на породи з різною щільністю, бур суттєво відхиляється від вертикального положення, і ніхто не може з упевненістю констатувати, наскільки далеко він відхилився від вертикалі, особливо коли ведеться глибоке буріння. Це, в свою чергу, не дозволяє вирішити проблему використання енергії Землі для народно-господарських цілей. Вже на глибині приблизно 6 км температура ґрунту досягає до 200 °С, і чим глибше – тим більше. Вирішення такої проблеми дало б можливість побудувати замкнутий контур, що дозволило б виносити тепло із земних надр і використовувати його для опалення населених пунктів та для інших цілей. Для України це могло б вирішити енергетичну проблему. Була запропонована ідея, що інтерферометр міг би бути використаний для визначення третьої координати, а дві інші могли забезпечити датчики, що знаходяться на кінці бура. Таке прикладне використання інтерферометра підтримали в НАН України (**Я.С. Яцків** і **В.П. Семиноженко**).

Ідея сподобалася віцепрем'єру **А.К. Кінаху**, з яким вдалося зустрітися і обговорити її. Він зв'язався з іншим віцепрем'єром **В.В. Дурдинцем**, який наклав резолюцію: «*Передбачити кошти в бюджеті країни*». Навіщо треба було все це? Ідея полягала в тому, що якби такі інструменти пішли в серійне виготовлення, то вже один інструмент можна було б «залишити» для науки: для пошуку екзопланет. Всі зусилля «поховало» профільне міністерство нафти і газу, посилаючись на те, що воно могло б почати фінансувати проект, якби Харківський університет профінансував виготовлення експериментальної установки, що, звичайно ж, було не підйомним у 1990-і роки завданням.

Виготовлення інтерферометра могло мати і ще одне застосування. У 1990-і роки активно йшло знищення ракетних шахт, у зв'язку з тим, що Україна відмовилася від ядерної зброї. До НАН України надійшло звернення про те, щоб використовувати ракетні шахти для створення геодезичної мережі. Про це мені повідомив **Я.С. Яцків**, звівши мене з ініціатором ідеї. Адже якби вдалося зберегти шахти, їх можна було б використовувати під астрономічні інструменти і, зокрема, під астрометричні інтерферометри.

Література (продовження)

13. **Захожай В.А.** «Проблема поиска внесолнечных планет» – новая рабочая группа. Астрон. вестн. 1982. 16, №1. С. 63–64.
14. **Захожай В.А., Рузмайкина Т.В.** Звезды для поиска планетных систем. Астрон. вестн. 1986. 20, №2. С. 128–133.
15. **Захожай В.А., Шапаренко Э.Ф., Васильев В.П., Васильева Л.В.** ИК-источники в окрестностях Солнца. Кинем. и физ. неб. тел. 1994. 10, №2. С. 74–85.
16. **Захожай В.А., Федоров П.Н., Шорников О.Е.** Звездный интерферометр в миллисекундной астрометрии. Тези доповідей міжнар. наук. конфер. "SETI", Tallinn' 81". Таллин. 1981. С. 27.
17. **Захожай В.А., Федоров П.Н., Мызников А.А.** Многоцелевой оптический звездный интерферометр. Первая украинская конференция по перспективным космическим исследованиям, Сборник тезисов. Киев. 2001. С. 30.
18. **Zakhozaj V.A.** Astrometrical method of searching for cool satellites of stars. Results and perspectives. In: Extension and connection of reference frames using ground based CCD technique. Nikolaeв. 2001. P. 274–283.
19. **Александров Ю.В., Захожай В.А.** Про розвиток навчального астрономічного приладобудування. Київ, 13–14 травня 2003 р. Матеріали II Всеукраїнської наук.-практ. конфер. «Астрономічна освіта учнівської молоді». Київ. 2003. 6 с.

20. **Evsukov N.N., Zakhozaj V.A., Psaryov V.A.** Planetary systems of the Galaxy. Odessa Astronomical Publications. 2001. Vol. 14. P. 205–207.
21. **Захожай В.А.** Космические тела Галактики: классификация и эволюция. Вісн. астрон. школи. 2002. 3, № 2. С. 81–99.
22. **Писаренко А.И., Яценко А.А., Захожай В.А.** Модель эволюции субзвездных объектов. Астрон. журн. 2007. Т. 84, № 8. С. 675–684.
23. **Захожай В.А., Писаренко, А.И., Яценко А.А., Педаш Ю.Ф., Котелевский С.И.** Химическое равновесие в атмосферах водородно-гелиевых субзвезд. Кинем. и физ. неб. тел. 1999. 15, №6. С. 516–522.
24. **Захожай В.А., Котелевский С.И., Педаш Ю.Ф., Писаренко, А.И., Яценко А.А.** Особенности молекулярного состава атмосфер субзвезд. Кинем. и физ. неб. тел. 2001. 17, №1. С. 3–16.
25. **Котелевський С.І., Педаш Ю.Ф., Захожай В.А., Писаренко А.І.** Особливості хімічної та іонізаційної рівноваги у атмосферах субзірок сонячного елементного складу при низьких температурах. Кинем. и физ. неб. тел. 2004. 20, №2. С. 118–132.
26. **Захожай В.А., Соловьев В.О.** Ритмы развития земной коры и кинематика небесных тел. Труды Конгресса-2008: «Фундаментальные проблемы естествознания и техники». С-Пб. 2008. С. 219–231.

Я звернувся до начальника Військової інженерно-радіотехнічної академії ім. Л.О. Говорова генерал-лейтенанта, д-ра воен. наук **В.Б. Толубко**. Ця академія була однією з провідних організацій Космічних військ в СРСР, а на той час – в Україні. Володимир Борисович сказав мені, що він за збереження цих шахт і повністю підтримує ідею. Але згодом разом зі знищенням стратегічних ракет були знищені і їх шахти, і вплинути на ситуацію було неможливо.

Остання спроба знайти фінансування і забезпечити створення інтерферометра пов'язана зі спробою здійснення модернізації навчального обладнання в Україні, зокрема астрономічного інструментарію. На початку 2000-х років **В.Є. Сторіжко**, займаючись питаннями конверсії підприємств військового призначення, запропонував мені дослідити можливість використання Феодосійського науково-виробничого центру «Ай-Петрі» для організації на його базі виробництва навчальних телескопів в Україні. З цією метою була сформульована 3-рівнева концепція про забезпечення шкіл, педагогічних і класичних університетів новим поколінням астрономічних телескопів і устаткування [19]. В одному з пунктів такої концепції була зазначена пропозиція організувати на базі однієї з провідних українських астрономічних обсерваторій базу для проходження навчальних практик, оснащену сучасними астрономічними засобами, серед яких був і навчально-науковий оптичний інтерферометр. Природно, я передбачав використовувати його і для пошуку екзопланет. Я двічі побував у Феодосії і знайшов розуміння і підтримку з боку керівництва Центру. Але в 2003 році профільне міністерство змінило керівництво цього Центру і об'єднало його з іншим підприємством подібного напрямку діяльності, що виключало можливість «просування конверсійної ідеї». Так згасла остання надія знайти фінансування для розробки і створення інтерферометра. Ситуація ще ускладнилася й тим, що серйозно захворів **О.Є. Шорников** – наш головний розробник інтерферометра і зв'язок з ним був втрачений, що «поставило хрест» на подальшому просуванні ідеї.

У 2000-х роках велика увага приділялася теоретичним питанням: класифікація планет [20, 21]; внутрішня будова субзірок, наменші з яких подібні за структурою з

воднево-гелієвими планетами, а також моделювання їх атмосфер [22–25]; обговорення природи Немезіди, якщо вона існує [26]; виділення і аналіз кандидатів у карликові планети в Сонячній системі [27]; білязіркові диски, природа яких пов'язана з ранньою стадією існування планетних систем [28–33]; популяризація проблеми [34–36]. Було опубліковано ряд нових оглядів про проблему пошуку і результати досліджень [37–40], а також про історію вивчення проблеми екзопланет в Радянському Союзі – роль Харківської та Пулковської шкіл [41, 42].

Класифікація планет обґрунтовувалася, з одного боку, як складова частина загальної запропонованої класифікації космічних тіл [43], в основі якої лежить виділення певного інтервалу мас і ключового механізму освіти; з іншого – планети виділялися ще й за ознакою наявності у них ядра [8], наявність якого залежить від їх характерного середнього хімічного складу. Мірою їхніх мінімальних мас може служити тривалість їх коагуляції, відхилення від гідростатичної рівноваги, за яке зручно прийняти висоту можливих (або спостережуваних у Сонячній системі) гір; можливість утримання воднево-гелієвої атмосфери. Всі перераховані фактори дозволили розділити планети на чотири основні класи: металеві, силікатні, крижані (включаючи їх гіганти) і воднево-гелієві [40, 44].

Моделювання внутрішньої структури субзірок привело до розуміння того, якого хімічного складу слід очікувати (а в Сонячній системі спостерігається) в атмосфері воднево-гелієвих планет [23–25]. Були проведені розрахунки на основі теорії квантової хімії, результатом яких було обґрунтовано понад 100 хімічних сполук, котрі можуть існувати в таких космічних тілах.

З самого початку вивчення обговорюваної проблеми до планетних систем відносилися не лише сформовані системи, а й протопланетні диски як вихідна стадія їх існування [10, 12, 14]. Тому останнім часом приділялася увага створенню алгоритму розрахунків для визначення параметрів протопланетних дисків за даними про розподіл енергії в спектрах (РЕС) зірок і субзірок, складовою частиною яких є їхні ГЧ надлишки. В результаті такої роботи були отримані параметри 10-и протопланетних дисків за даними про перші РЕС субзірок, виявлених в одній з найближ-

Public. 2017. Vol. 30. P. 98–100.

33. **Zakhozhay O.V., Miroshnichenko A.S., Kuratov K.S., Zakhozhay V.A., Khokhlov S.A., Zharikov S.V., Manset N.** IRAS 22150+6109 – a young B-type star with a large disc. Mon. Not. R. Astron. Soc. 2018. Vol. 477. P. 977–982.

34. **Захожай В., Кузьменков С.** Що таке планети? Одинадцять років по тому. Фізика та астрономія в рідній школі. 2017. № 6. С. 31–36.

35. **Захожай В.А.** 50 найближчих до Сонця зір і субзір. Астрономічний календар. 2019. Київ: Академперіодика, 2018. С. 239–248.

36. **Захожай В.А.** Планети ближайших к Солнцу звезд. Одесский астрономический календарь. 2019. Одесса: Астропринт, 2018. С. 184–190.

37. **Захожай В.А.** Проблема существования планетных систем. I. Методы и средства поиска. Вісник астрономічної школи. 2005. 4, № 2. С. 34–54.

38. **Захожай В.А.** Проблема существования планетных систем. II. Ожидаемые свойства и первые результаты поиска. Вісник астрономічної школи. 2005. 4, № 2. С. 55–72.

39. **Захожай В.А., Захожай О.В.** Диски вокруг ближайших звезд и субзвезд. Кинем. и физ. неб. тел. 2010. Т. 26, № 1. С. 3–30.

Література (продовження)

27. **Zakhozhay O.V., Zakhozhay V.A., Krugly Yu.N.** Catalogue of Planetary Objects. Version 2006.0. Proceedings of 13th Open Young Scientists' Conference on Astronomy and Space Physics. Kyiv National Taras Shevchenko University. P. 122–133.

28. **Захожай В.А., Захожай О.В.** Результаты предварительных расчетов энергетических спектров излучения субзвезд с плоскими дисками без центральной щели. Изв. ГАО в Пулкове. 2009. № 219. С. 119–124.

29. **Zakhozhay O.V., Zakhozhay V.A.** The SEDs of Circum-substellar Protoplanetary Disks. In: Pathways Towards Habitable Planets. Barcelona, Spain. 14-18 September, 2009. ASP Conference Series, Vol. 430, 2010. P. 560–563.

30. **Захожай В.А., Захожай О.В., Видьмаченко А.П.** Особенности моделирования тонких плоских дисков с центральными объектами в зависимости от их пространственного расположения. Кинем. и физ. неб. тел. 2011. Т. 27, № 3. С. 54–74.

31. **Zakhozhay O.V., del Burgo C. and Zakhozhay V.A.** Geometry of highly inclined protoplanetary disks. Advances in Astronomy and Space Physics. 2015. Vol. 5. P. 33–38.

32. **Kuratova A. K., Zakhozhay O. V., Kuratov K. S., Zakhozhay V. A., Miroshnichenko A. S.** Physical parameters of protoplanetary disk surrounding IRAS 22150+6109 young star. Odessa Astron.

чих областей зореутворення, що знаходиться у Верхньому Скорпіоні [45]. Ці роботи послужили основою і для інтерпретації ІЧ-надлишку, виявленого у зорі Ae/Be-Хербіга IRAS22150+6109, а в подальшому і визначення параметрів її величезного вперше виявленого диска [32, 33, 38, 46, 47]. Отримані результати якісно не суперечили результатам, отриманим за першим визначенням параметрів навколосоряних дисків, що їхній діаметр тим більший, чим більша маса центрального об'єкта [38, 39].

Були й інші виступи на конференціях і семінарах, тези яких, як правило, опубліковані, а матеріали або ще не опубліковані або готуються до публікації. Зокрема, ведеться робота з систематизації наявних даних про відкриті протопланетні диски і ІЧ-надлишки у близьких до Сонця зірок, метою яких є як пошук загальних закономірностей, так і визначення їх параметрів.

Підводячи підсумки 40-річної діяльності, слід відзначити таке. За часів Радянського Союзу даний напрям був піонерським і об'єктивно ініціатива виходила з харківської школи, до якої належу і я. Спочатку в ньому брали участь астрономи з Харкова, Ленінграда, Москви, Горького, пізніше – з Казані. Список приведених літературних джерел відображає учасників дослідження проблеми позасонячних планет у різний час. Він не є повним після відкриття екзопланет у середині 1990-х років, оскільки інтерес до цієї проблеми різко зріс, як і кількість астрономів, які почали проводити свої дослідження в цій області, що стала на сьогодні однією з основних.

Чому ми втратили лідерство в цій галузі в останні 20 років? На це є кілька причин. Основна з них – такі роботи ніяк не фінансувалися ні в Міністерстві освіти, ні в Академії наук України, вони були відомі в Росії, але їх не помічали в Україні. Розпочатий напрям не заохочувався ні фінансово, ні академічними або міністерськими преміями, наявність яких могла б привернути увагу наукової громадськості до нового напрямку досліджень. Хоча в кінці 1980-х років в Радіоастрономічному інституті АН УРСР і була така спроба, але розвал СРСР перешкодив цьому через недостатнє фінансування вже існуючих напрямків досліджень. Почати ж фінансування нового напрямку, для якого були потрібні мільйонні витрати (перш за все для створення

оптичного інтерферометра) ніхто не наважився навіть за підтримки такого іменитого радіоастронома, як С.Я. Брауде, котрий відгукнувся на ініціативу М.С. Кардашева про мою підтримку «просувати» ідею в Україні. Друга причина є похідною від першої: відсутність спостережних засобів в Україні не дало можливості підключитися до розпочатого практичного пошуку екзопланет, який став одним із основних завдань наземної і космічної спостережної астрономії.

Так чи є внесок національної астрономії в проблему існування планет у Галактиці? Є. Це розвиток теоретичних питань проблеми. Розпочаті в 1980-х роках широкомасштабні дослідження, розглянуті вище, не втратили актуальності і до теперішнього часу. По-перше, був правильно сформульований предмет досліджень – планети як космічні тіла не тільки Сонячної системи, а й Всесвіту в цілому. Перше їхнє визначення [8] і послідовне вдосконалення [21, 40–43] залишається актуальним, і в даний час триває робота над його модернізацією в зв'язку зі збільшенням спостережних даних про екзопланети. У загальній класифікації зоряних систем класифікації планет як космічних об'єктів також відведено певне місце [48]. По-друге, передбачена можливість існування планет біля зірок [9] не суперечить спостережним даним про їх поширеність із урахуванням «працюючих» методів пошуку екзопланет, які відкривають, в основному, коли площину їхніх орбіт орієнтовано на земного спостерігача. По-третє, протягом всього чотирьох десятиліть постійно відстежувалися теоретичні дослідження і з'являлися дані спостережень. Цей матеріал завжди аналізувався і узагальнювався в публікованих оглядах [11, 12, 37–40], матеріали яких доповідалися на наукових конференціях. За останні роки були підготовлені й видані навчальні посібники та підручники [49–51], в яких екзопланетам приділено особливу увагу. Вівся пошук закономірностей у відкритих планетних системах [39], покладено початок визначення параметрів дисків біля субзірок і зірок Ae/Be-Хербіга, нахилених до спостерігача під довільним кутом [32, 33, 45–47]. Перелічені напрями досліджень велися і самостійно, і в співавторстві, як видно з наведеного списку літератури, але ініціатором їх проведення пощастило бути мені. ■

Література

40. **Захожай В.А., Бабенко М.А.** Околосолнечное звездно-субзвездное окружение. II. Классификация и определения основных характеристик. Вісн. астрон. школи. 2012. 8, № 2. С. 108–118.
41. **Захожай В.А., Гнедин Ю.Н., Шахт Н.А.** Вклад Пулковской и Харьковской астрономических школ в развитие проблемы поиска и существования планетных систем в Галактике. Изв. ГАО в Пулкове. 2009. № 219, вып. 4. С. 111–118.
42. **Zakhozhay V.A., Gnedin Yu.N., Shakht N.A.** The contribution of Pulkovo and Kharkiv scientific schools in a problem of searches of exoplanets and dark satellites of stars. Astrophysics. 2010. Vol. 53, No. 4. P. 575–591.
43. **Захожай В.А.** Космические тела Галактики: классификация и эволюция. Вісн. астрон. школи. 2002. 3, № 2. С. 81–99.
44. **Захожай В.А., Бабенко М.А.** Ближайшие к Солнцу звезды и субзвезды: обзор исследований. Кинем. и физ. неб. тел. 2013. Т. 29, № 3. С. 21–47.
45. **Zakhozhay O.V., Zakhozhay V.A., Vidmachenko A.P.** Substars radii and effective temperature changes on protostellar and later stages of evolution. Proceedings of 15th Open Young Scientists'

Conference on Astronomy and Space Physics. April 14–19, 2008. Kyiv National Taras Shevchenko University. 2008. P. 37–40.

46. **Kuratov K.S., Zakhozhay O.V., Miroshnichenko A.S., Zakhozhay V.A.** IRAS 22150+6190: A Poorly Studied Young Star. Odessa Astron. Public. 2015. Vol. 28. P. 34–38.

47. **Zakhozhay O.V., Miroshnichenko A.S., Kuratov K.S., Zakhozhay V.A., Khokhlov S.A., Zharikov S.V., Manset N.** The results of SED simulations for a young B-type star IRAS22150+6109. Proceedings of the conference 'The B[e] Phenomenon: Forty Years of Studies. ASP Conference Series. 2017. Vol. 508. P. 191–195.

48. **Zakhozhay V. A.** Hierarchical Structure of the Universe. Odessa Astronomical Publications. 2018. Vol. 30. P. 56–61.

49. **Андрієвський С.М., Кузьменков С.Г., Захожай В.А., Климишин І.А.** Загальна астрономія. Харків: ПромАрт. 2019. 524 с.

50. **Захожай В.А.** Вступ до астрофізики та космогонії: навч. Посібник. Харків: Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна. 2012. 208 с.

51. **Захожай В.А.** Вступ до астрофізики та космогонії: підручник. Харків: Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна. 2017. 208 с.



Рис. 1. Володимир Захожай біля спеціально створеної установки Лабейрі (когерентна оптична установка) для пошуку екзопланет методом спекл-інтерферометрії. Астрономічна обсерваторія Харківського державного університету, 1979 р.



Володимир Захожай зі студентами й аспірантами (1995 р., 2002 р., 2003 р.)