

ПРОБЛЕМЫ ИНФРАКРАСНОЙ АСТРОМЕТРИИ

Харин А. С.

Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев

С позиций развития астрономической науки оценивается роль астрометрии во времена Гиппарха, классической меридианной и фундаментальной астрометрии, а также в современную т. н. постгиппарковскую (после запуска КА «ГИППАРКОС») эпоху. Приводится классификация направлений в астрономии и астрометрии в зависимости от диапазона электромагнитных волн и формулируются основные задачи современной астрометрии. Рассматриваются общие проблемы наземных наблюдений в ИК–диапазоне и на примере успешно осуществленного в 1983 г. космического астрофизического проекта IRAS (InfraRed Astronomical Satellite), открывшего эпоху современной ИК–астрономии, показывается преимущество космических методов наблюдений. Инфракрасная астрометрия — современный раздел-направление в астрометрии, один из семи ее разделов, относящийся к астрометрическим наблюдениям в ИК–диапазоне. ИК–диапазон, занимая промежуточное положение между оптическим видимым и радиодиапазонами, является естественным мостом для решения проблемы улучшения связи между оптической (HCRF) и радио (ICRF) координатными системами. Рассмотрены также некоторые другие проблемы ИК–астрономии и астрометрии, которые могут быть решены с помощью высокоточных астрометрических наблюдений, а также с помощью отождествления ИК–наблюдений с их оптическими двойниками из точных астрометрических каталогов, получаемых из наблюдений в оптическом и радиодиапазонах. Приводится предварительная оценка точности положений в реализуемых в настоящее время наземных проектах DENIS и 2MASS, а также рассматривается и оценивается реальность осуществления четырех планируемых на ближайшее десятилетие космических проектов DIVA, FAME, GAIA и SIM.

1. Астрометрия древняя, классическая и современная

Астрометрия — наиболее древний раздел астрономии, связанный с установлением небесной и земной координатных систем, с решением проблем навигации при мореплавании и определении географических положений при дальних путешествиях на Земле. Точность дотелескопических астрометрических определений находилась в пределах $15'$ во времена Гиппарха и Тимохариса, создавших первые каталоги эклиптических координат звезд, и достигла $1'$ в определениях Тихо Браге, на основе которых Кеплером были сформулированы три основных закона планетных движений.

Последовавшая затем почти двухсотлетняя эпоха классической меридианной и фундаментальной астрометрии основывалась на визуальных наблюдениях с меридианными инструментами и на бесселевской концепции определения опорной координатной системы на базе фундаментального каталога. Основными достижениями этой эпохи являются повышение точности определения положений небесных объектов в наземных условиях до $0.2\text{--}0.3''$ и точности определения опорной координатной системы до $0.1\text{--}0.05''$, а также построение строгой теории меридианных абсолютных наблюдений, на основе которых строилась фундаментальная координатная система. Учитывая, что на базе классической астрометрии создавалась небесная механика и практически вся современная астрономия, изучающая геометрию Вселенной, а также кинематику и динамику Галактики, роль этого этапа астрометрии трудно переоценить.

Конец эпохи классической бесселевской астрометрии точно определен датой 1 января 1998 г., начиная с которой согласно решения Международного астрономического союза (МАС) произведен переход на новую международную небесную координатную систему ICRS. Она основывается в радиодиапазоне на каталоге ICRF, полученном на базе радиоинтерферометрических наблюдений, точность которых на 2–3 порядка превышает точность меридианных и фотографических наблюдений, а в оптическом диапазоне — на положениях и собственных движениях каталога HIPPARCOS, переведенного также на систему ICRF.

Теоретическая база нового построения опорной небесной координатной системы или, как теперь говорят, системы отсчета, основывается на концепциях общей теории относительности. Тогда как теоретические построения классической астрометрии основывались на ньютоновских представлениях об абсолютных пространстве и времени.

В настоящее время астрометрия, как и астрономия в целом, может быть подразделена в зависимости от диапазона наблюдаемых электромагнитных волн на семь следующих разделов или направлений.

1. Гамма-астрометрия ($\lambda \approx 1.2 \cdot 10^{-6} \div 0.12 \text{ \AA}$)
2. Рентгеновская астрометрия ($\lambda \approx 10^{-5} \div 10^{-2} \text{ мкм}$)
3. Астрометрия в ультрафиолетовой области ($\lambda \approx 0.01 \div 0.4 \text{ мкм}$)
4. Астрометрия в оптическом видимом диапазоне ($\lambda \approx 0.4 \div 0.7 \text{ мкм}$)
5. ИК-астрометрия ($\lambda \approx 0.7 \div 350 \text{ мкм}$)
6. Субмиллиметровая астрометрия ($\lambda \approx 350 \text{ мкм} \div 1 \text{ мм}$)
7. Радиоастрометрия ($\lambda \approx 1 \text{ мм} \div 30 \text{ м}$)

Каждый из этих разделов астрометрии имеет свою специфику, связанную с решаемыми задачами, с техникой (телескопами и приемниками излучения) и методикой наблюдений и обработки, а также с характером и методами исключения атмосферных влияний на наблюдения, если они выполняются в наземных условиях. В соответствии с этим точность астрометрических наземных наблюдений в разных диапазонах оказывается различной. Наиболее высокой, на уровне долей mas — тысячных долей угловой секунды, она оказалась, как уже отмечено выше, при наземных РСДБ-наблюдениях, а самой низкой (в минутах дуги) при определении положений — локализации вспышек гамма источников.

В настоящее время международная небесная координатная система ICRS является единой для двух из семи указанных выше диапазонов, однако в соответствии с решением МАС система каталога ICRF должна быть распространена также и на другие диапазоны электромагнитного спектра. Таким образом, основной проблемой астрометрии является создание опорной небесной координатной системы единой для всех диапазонов электромагнитных волн.

В заключение этого раздела приведем три определения астрометрии из книги известного французского астронома Жана Ковалевского “Современная астрометрия” [2]. Согласно Ковалевскому астрометрия, во-первых, это “...раздел астрономии, задачей

которого является определение положений и их изменений, а в расширенном представлении еще включает и определение размеров и форм небесных тел”. Во-вторых, “...астрометрия есть некоторая техника, точнее астрометрическая техника для определения геометрических, кинематических и динамических характеристик небесных тел во Вселенной или в отдельных ее частях”. В третьих, “...астрометрия по отношению к астрономии играет ту же роль, какую метрология играет по отношению к физике, т.е. астрометрия есть метрология в астрономии”.

В число основных задач современной астрометрии входит также определение параллаксов — расстояний до наблюдаемых объектов и, согласно Ковалевскому, должна быть включена также и задача определения кинематического параметра — радиальной скорости, — третьей составляющей пространственной скорости небесных объектов.

2. Инфракрасная астрономия: наземная и космическая

Инфракрасная астрономия — астрономия невидимого — появилась в начале шестидесятых годов только что завершившегося 20-го столетия с появлением приемников инфракрасного излучения. Ее появление связано с необходимостью решения задач, которые не могли быть решены с помощью наблюдений в оптическом видимом диапазоне. Это — поиск новых планетных систем, обнаружение коричневых карликов, исследование областей звездообразования, центрального района Галактики. Однако атмосфера не только ставит предел точности астрометрическим, фотометрическим и спектральным наземным измерениям. Трудности наземной астрономии связаны во-первых, с тем, что земная атмосфера имеет лишь два окна прозрачности: оптическое, расширяющееся в сторону ИК-диапазона, и радиоокно, расширяющееся в сторону миллиметрового, во-вторых, с необходимостью защиты от теплового излучения окружающей среды и девятимикронного излучения наблюдаемой области неба, и наконец, с необходимостью глубокого охлаждения используемых приемников ИК-излучения, а также с непрозрачностью для тепловых лучей ($\lambda > 3$ мкм) обычной линзовой оптики (см. также [1]).

Решение главных земных проблем ИК-астрономии было найдено путем выхода за пределы земной атмосферы сначала с помощью высотной баллонной и ракетной, а затем и космической техники. Первый астрономический ИК-спутник IRAS, запущенный в январе 1983 г. и функционировавший до ноября этого же года, бесспорно доказал преимущество космических ИК-наблюдений по сравнению с наземными. За 11 месяцев его наблюдений был получен каталог IRAS PSC, включающий 245889 точечных ИК-объектов, что примерно в 10 раз больше, чем было получено за предыдущие 20 лет наземной, баллонной и ракетной ИК-астрономии. Результаты наблюдений ИСЗ IRAS продолжают использоваться в исследованиях ИК-объектов до настоящего времени, в течение почти двух десятилетий после полета. Миссия ИСЗ IRAS и ее успешные результаты знаменовали появление современной космической ИК-астрономии. Астрофизические исследования в этом диапазоне, как известно, были также успешно продолжены на космической обсерватории ISO, и в настоящее время продолжаются на космическом телескопе Хаббла (HST).

3. Инфракрасная астрометрия

Каталог IRAS PSC, полученный по наблюдениям ИСЗ IRAS, представляет собой бесценный вклад для астрофизических исследований, однако точность его экваториальных координат, полученных из тех же наблюдений ИСЗ IRAS, оказалась далекой от современной астрометрической. В некоторых случаях ошибки могут достигать $2'$, учитывая тот факт, что собственные движения ИК-объектов неизвестны, это может повести даже к их потере. Поэтому одновременно с ИК-каталогом IRAS PSC появилась проблема повышения точности его положений. Это чисто астрометрическая проблема и ее кардинальное решение связано с созданием нового направления в астрономии — ИК-астрометрии [3]. На первом этапе решение этой первой из задач ИК-астрометрии оказалось возможным без постановки новых более точных астрометрических наблюдений, а путем отождествления ИК-объектов из каталога IRAS PSC с их оптическими двойниками из точных астрометрических каталогов. Этот метод был впервые использован в ГАО НАНУ [4,5] и в Вашингтонской морской обсерватории, где из сравнения IRAS PSC с четырьмя астрометрическими каталогами был получен каталог CIPRSS (Catalog Position of IR Stellar Sources), включающий 37700 ИК-объектов с точными астрометрическими положениями в системе фундаментального каталога FK5 [6].

Особая роль ИК-диапазона для астрометрии связана с его промежуточным положением между оптическим видимым и радиодиапазонами, что дает основание сделать его естественным мостом для улучшения связи между радио- и оптической координатными системами. Эта проблема является одной из актуальных проблем астрометрии в ее современный постгиппарковский период [1].

Распространение координатной системы ICRS, единой в настоящее время для радио и оптического спектральных диапазонов, на другие диапазоны электромагнитных волн также является, как уже отмечено выше, актуальной проблемой астрометрии. Ее решение для ИК-спектрального диапазона станет следующим шагом в создании единой для всего электромагнитного спектра международной небесной опорной координатной системы.

Высокая стоимость космических результатов, а также сравнительно небольшая чувствительность ИК-приемников телескопа IRAS (предельная глубина каталога IRAS PSC составила примерно 4.5–5 mag), а также появление новых высокочувствительных оптических CCD и матричных ИК-приемников стимулировали принятие и осуществление в 1994–2000 гг. двух более дешевых альтернативных космическим наземных проектов — обзоров неба в ближнем (до 2 мкм) ИК-диапазоне: французского — DEer Near Infrared Survey (DENIS) — обзора неба южного полушария и американского — The Two Micron All Sky Survey (2MASS) — полного обзора неба в двух полушариях.

В настоящее время результаты наблюдений — положения и фотометрические данные наблюдавшихся объектов по этим двум проектам — находятся в базах данных DENIS и 2MASS. По предварительной оценке точность определения положений в этих обзорах составляет $0.3''$ и $0.2''$ соответственно. Это невысокая по современным астро-

метрическим требованиям точность. Однако для наблюдений в ИК–диапазоне в наземных условиях она является фактически предельной. Более высокая точность как в оптическом так и в ближнем ИК–диапазонах безусловно может быть достигнута лишь при удачном выполнении новых космических астрометрических программ по проектам DIVA, FAME, SIM и GAIA, планируемым для двух первых на 2004 г. и для двух последних на 2009 и 2010–2012 гг. соответственно.

Одним из наиболее перспективных космических методов в отношении дальнейшего повышения точности астрометрических определений является, по всей видимости, метод длиннобазовой интерферометрии — космический аналог наземного РСДБ–метода в оптическом, ИК и теоретически в любом другом из семи указанных выше диапазонов, поскольку его теория инвариантна для каждого из них [2]. Проблема заключается лишь в техническом и технологическом обеспечении при реализации этого метода в каждом из этих диапазонов.

Проект SIM (Space Interferometry Mission) будет, по всей видимости, первым космическим экспериментом именно такого плана*. Предполагается, что точность оптических и позиционных ИК–определений здесь окажется еще на 2–3 порядка выше уже достигнутой с помощью наземных РСДБ–наблюдений и космического астрометрического спутника HIPPARCOS. Реальность осуществления этих постгиппарковских проектов не вызывает сомнений учитывая их необходимость для решения точности многих современных проблем астрофизики, астрономии и астрометрии на более высоком уровне. Гарантеей же является успешный опыт спутника HIPPARCOS, успешные наземные эксперименты с длиннобазовым оптическим интерферометром MarkIII на Маунт Вильсон, а также успешное решение технических и технологических проблем, связанных с созданием нового поколения оптических и ИК–интерферометров.

Работа финансируется из Государственного фонда фундаментальных исследований Украины, проект 02.07/00017.

1. Харин А.С. и др.//Сборник трудов первой укр. конф. по перспективным космическим исследованиям, Киев, 2001, 78–82.
2. Kovalevsky J., *Modern Astrometry*, 2-nd ed., 2002, Springer–Verlag Berlin–Heidelberg, p. 375.
3. Kharin A. S., In Proc. JOURNEES 1998, *System de Reference Spatio–Temporels/* Ed. N. Capitaine, Paris, 1998, P.65–66.
4. Харин А. С., Поиск звезд FK5, наблюдавшихся в ИК–области//Кинематика и физика небесных тел, 1992, **8**, №4, 67.
5. Kharin A. S., A preliminary reference catalog of the infrared sources//*Baltic Astronomy*, 1997, **6**, 244.
6. Hindsley R., Harrington R., The U.S. Naval observatory catalog of positions of infrared stellar sources//1994, *AJ***207**, 280–286.
7. Боярчук А. А. и др., Космическая оптическая интерферометрия для астрономии//Космические исследования, 1999, т. 37, 3–12.

* Здесь мы не останавливаемся на российском проекте ЗОДИАК (Звездный Оптический Дугомер–Интерферометр для Астрометрии в Космосе), который имеет много общего с проектом SIM. Его описание можно найти в [7].