

Витязев В.

# АСТРОНОМЫ И ОБСЕРВАТОРИИ

В августе 1989 года с космодрома Куру ракетой-носителем Ариана 4 был запущен на орбиту вокруг Земли искусственный спутник HIPPARCOS. Название этого аппарата напоминает имя известного древнегреческого астронома Гиппарха (II в. до н.э.), открывшего явление прецессионного движения оси вращения Земли и предложившего первую фотометрическую шкалу измерения блеска звезд. Отдавая дань уважения Гиппарху, специалисты из Европейского Космического Агентства дали своему спутнику имя, которое они составили из первых букв полного названия научного проекта: High Precision PARallax COLlecting Satellite — «Спутник для получения высокоточных параллаксов». Космический аппарат просуществовал на орбите 37 месяцев, и за это время он провел миллионы измерений звезд. В результате их обработки появились на свет два звездных каталога. Первый из них — HIPPARCOS. Он содержит измеренные с ошибкой порядка одной тысячной угловой секунды координаты, собственные движения и параллаксы для 118218 звезд. Такая точность для звезд достигнута в астрометрии впервые. Второй каталог получил название TYCHO в честь датского астронома Тихо Браге (1546-1601). В этом каталоге приводятся несколько менее точные сведения для 1 058 332 звезд. Создание этих двух каталогов ознаменовало рождение нового направления — космической астрометрии.

## ЗАЧЕМ ЭТО НУЖНО?

Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо поговорить о том, для чего нужны звездные каталоги вообще. В астрономии каталоги разделяют на астрофизические и астрометрические. В астрофизических каталогах можно найти сведения о различных объектах: планетарных туманностях, переменных звездах, галактиках и т.д. Основная информация, содержащаяся в астрометрических каталогах, — это точные координаты звезд и скорости их изменения (так называемые собственные движения звезд). Эти данные нужны для построения системы отсчета на

небесной сфере. В тех случаях, когда известны и расстояния до звезд, можно получить систему отсчета не только на сфере, но и в пространстве. Построение системы отсчета, согласованной с принятой физической теорией пространства и времени, и является основной задачей астрометрии.

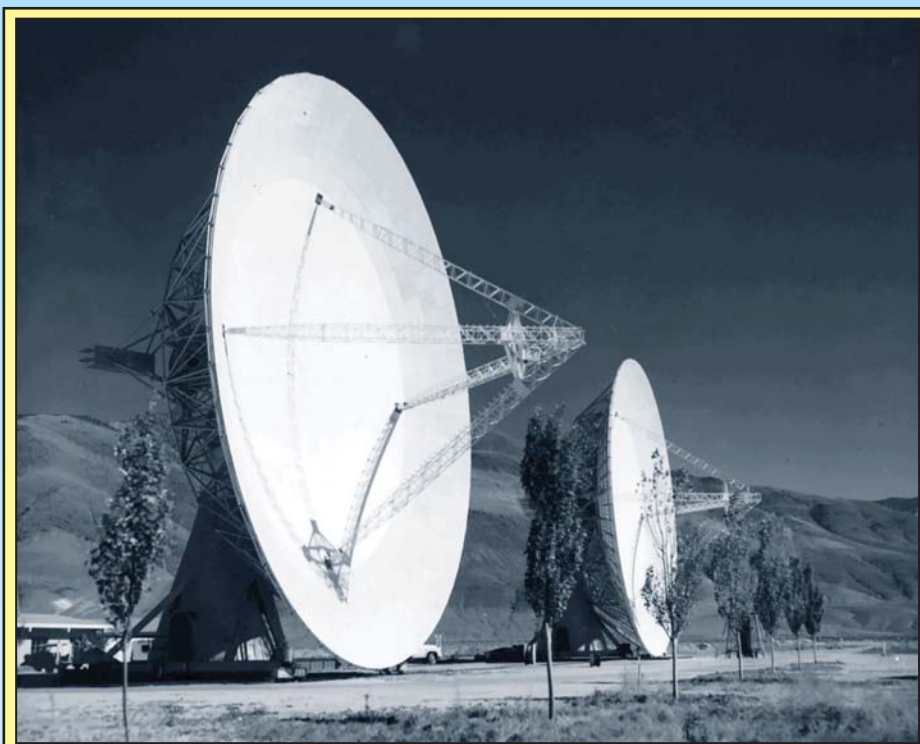
## ЭПОХА КЛАССИЧЕСКОЙ АСТРОМЕТРИИ

Для решения этой задачи в свое время были созданы крупнейшие обсерватории мира: Гринвичская, Парижская, Пулковская, Военно-Морская обсерватория США и др. Регулярные наблюдения, проводимые на инструментах этих обсерваторий, позволили построить целые поколения фундаментальных каталогов звезд, реализующих собой инерциальную систему отсчета. При этом была принята следующая схема: наиболее точная система строилась на сравнительно небольшом количестве звезд (в последнем фундаментальном каталоге FK5 Basic содержалось всего 1535 звезд), а затем эта первичная система воспроизводилась, хотя и с меньшей точностью, на существенно большем количестве звезд (так, каталог PPM распространяет систему FK5 приблизительно на 370 тысяч звезд). Так или иначе, но координаты звезд в этих каталогах реализовывали нужную систему отсчета, в которой можно было изучать тонкие особенности вращения Земли, получать координаты тел солнечной системы и строить теории их движения, выводить значения астрономических постоянных и т.д. В свою очередь, анализ собственных движений звезд позволил обнаружить движение Солнца в пространстве, подтвердить факт вращения Галактики и поставить вопрос о существовании Местной системы звезд. Однако решение этих задач требовало все более и более точных данных о возможно большем количестве звезд. Тем не менее в середине нашего столетия стало ясно, что наземные астрометрические наблюдения достигли своего порога точности. Действительно, ошибка одного измерения даже на лучших инструментах составляла величину порядка 0.2 секунды дуги. На пути увеличения точности стали два главных препятствия:

дрожание атмосферы, размывающее изображения звезд, и действие силы тяжести, приводящее к деформациям телескопов. Преодолеть эти препятствия удалось только с помощью нетрадиционных методов измерений.

### РАДИОАСТРОМЕТРИЯ

Впервые существенное увеличение точности позиционных измерений небесных тел удалось получить методом радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (метод РСДБ), предложенным в нашей стране. В простейшем случае радиоинтерферометр — это система из двух радиотелескопов, ведущих синхронные наблюдения одного и того же точечного радиоисточника. Этот прибор измеряет временную задержку прихода фронта волны радиоизлучения на один телескоп по сравнению с другим. Анализ измерения задержек позволяет получить географические координаты радиотелескопов, небесные координаты наблюдаемых радиоисточников, а также тонкие эффекты во вращении Земли — движение полюсов в ее теле и неравномерность вращения. Точность этих измерений определяется длиной базы интерферометра, то есть расстоянием между телескопами, и длиной волны принимаемого радиоизлучения. В 70-90-х годах во всем мире развернулись работы по созданию радиоинтерферометрических сетей, с помощью которых удалось достичь точности позиционных наблюдений квазаров порядка 0.001-0.0005 секунды дуги. (В нашей стране такие работы ведутся в рамках проекта КВАЗАР, для осуществления которого в Санкт-Петербурге был создан Институт Прикладной Астрономии Российской Академии Наук). Все это позволило создать систему отсчета принципиально нового типа — теперь вместо звезд стали использоваться, в основном, квазары, координаты которых были получены на миллисекундном уровне точности. Новая, радио-



Радиоинтерферометр Калифорнийского технологического института

астрометрическая система отсчета позволила на новом уровне изучать явления, происходящие на Земле: особенности ее вращения, движение материков, тектонику плит. Как известно, квазары — это космологические объекты, удаленные от нас на предельные расстояния. Возникла парадоксальная ситуация: квазары, находящиеся «на краю» Вселенной, позволили изучать то, что находится непосредственно у нас под ногами, то есть нашу Землю, но закрыли возможность исследования звезд, поскольку, за исключением очень малого количества так называемых радиозвезд, подавляющее их число не являются источниками радиоизлучения и, следовательно, не могут быть привязанными к системе отсчета, построенной на радиоисточниках.

Недостатки, присущие двум типам систем отсчета — низкая точность классических наземных астрометрических наблюдений и недоступность радиоастрометрической системы отсчета в оптическом диапазоне, — удалось преодолеть только методами космической астрометрии, то есть проведениями астрометрических измерений в оптическом диапазоне в космосе.

### НОВАЯ СИСТЕМА ОТСЧЕТА

...И вот в космос ушел HIPPARCOS. Нужно сказать, что первые недели его полета оказались воистину драматичными. Дело в том, что из-за технических неполадок спутник вышел не на расчетную геостационарную орбиту, а на так называемую промежуточную орбиту. Несмотря на все предпринятые усилия, его пришлось оставить на этой, кстати говоря, очень неудобной для наблюдений орбите. Чтобы как-то компенсировать неудобства орбиты, пришлось оперативно пере-



Казанская радиоастрономическая обсерватория Астрокосмического центра Физического института им. П.Н. Лебедева РАН



Тестирование систем аппарата HIPPARCOS

делать систему наземного обеспечения проекта. Специалисты Европейского Космического Агентства довольно быстро справились с этими проблемами, и первые наблюдения начались уже в ноябре 1989 года. Они продолжались до августа 1993 года. За это время вся запланированная программа наблюдений была успешно выполнена.

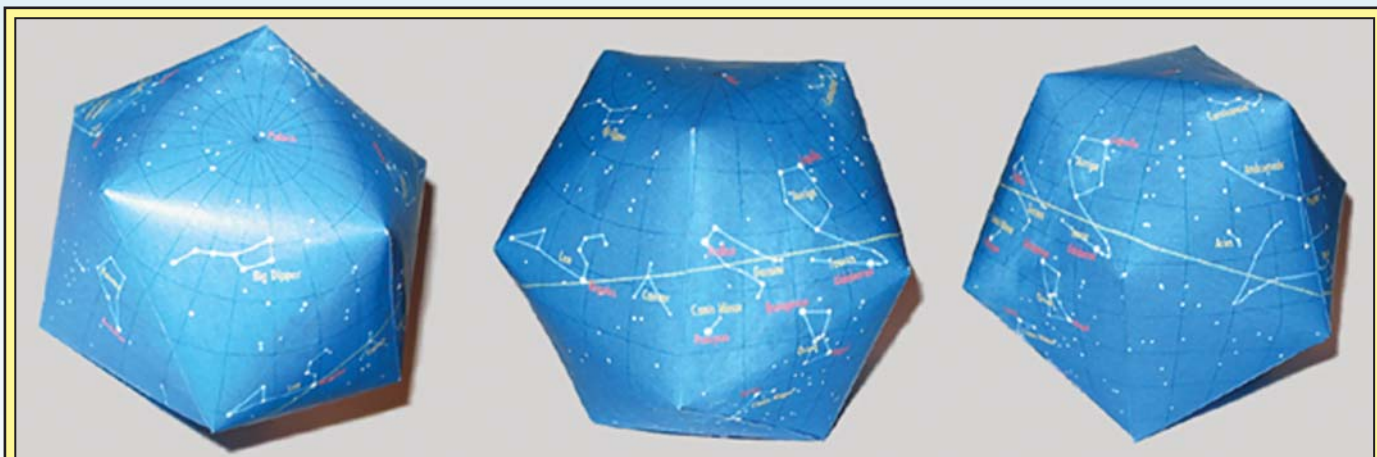
Но построить по этим наблюдениям новую «космическую» систему отсчета еще было нельзя. Дело в том, что HIPPARCOS измерял с большой точностью только угловые расстояния между звездами. Как известно, длины дуг на сфере не зависят от того, в какой системе координат даны положения звезд. Возникла новая задача — надо было получить координаты звезд в какой-нибудь стандартной системе астрономических координат. В качестве такой стандартной системы было решено использовать систему отсчета, построенную на квазарах. И вновь возникли трудности: телескоп на спутнике HIPPARCOS мог наблюдать только один, самый яркий, квазар 3C273, а

остальные квазары HIPPARCOS просто не видел. И тут на помощь пришли другие инструменты. Первым откликнулся Космический Телескоп Хаббла — едва оправившись от своих абберационных проблем, он провел измерения дуг между звездами и некоторыми квазарами. В эту работу включились и наземные телескопы, с помощью которых были измерены положения и собственные движения радиозвезд. Кроме того, для решения поставленной задачи были использованы длительные ряды наблюдений параметров ориентации Земли, а также программы определения собственных движений звезд, «абсолютизированных» относительно галактик. Словом, все силы наземной и космической астрометрии были брошены на создание новой системы отсчета, которая, по решению Генеральной Ассамблеи Международного Астрономического Союза, была введена во всеобщее пользование в качестве стандарта с 1 января 1998 года. Старая система, основанная на фундаментальном каталоге FK5, ушла в прошлое.

### НЕ ТОЛЬКО УСПЕХ АСТРОМЕТРИИ

Не следует думать, что реализация проекта HIPPARCOS — это только внутренний успех астрометрии. После того, как каталоги HIPPARCOS и TYCHO были опубликованы — а это 16 томов полного описания проекта + 6 компакт-дисков + специализированный диск CELESTIA 2000, содержащий каталоги и программное обеспечение для их чтения, — на страницы научных журналов хлынул поток работ, выполненных в различных областях астрономии. Вот заголовки некоторых статей: «Оценки масс планет, вращающихся около ближайших звезд», «Красивое подтверждение общей теории относительности», «Диаграмма Герцшпрунга-Рессела и теории звездной эволюции», «Навигация аппарата Галилео», «Гиады: расстояние, структура, динамика, возраст».

Огромное число статей посвящено уточнению шкалы расстояний во Вселенной. Объясняется это тем, что, пожалуй, наибольшей ценностью для астрономии является то, что на спутнике HIPPARCOS были измерены параллаксы около 100000 звезд! Вспомним, что параллакс звезды — это угол, под которым с этой звезды видна большая полуось орбиты Земли. Межзвездные расстояния в астрономии принято измерять парсеками. Расстояние в один парсек соответствует параллаксу, равному 1 угловой секунде. Поэтому на самом деле HIPPARCOS измерял не только угловые расстояния между звездами на небесной сфере, но и реальные расстояния между звездами в трехмерном пространстве. В астрономии не существует универсального метода измерения расстояний до небесных объектов. По мере перехода ко все более уда-



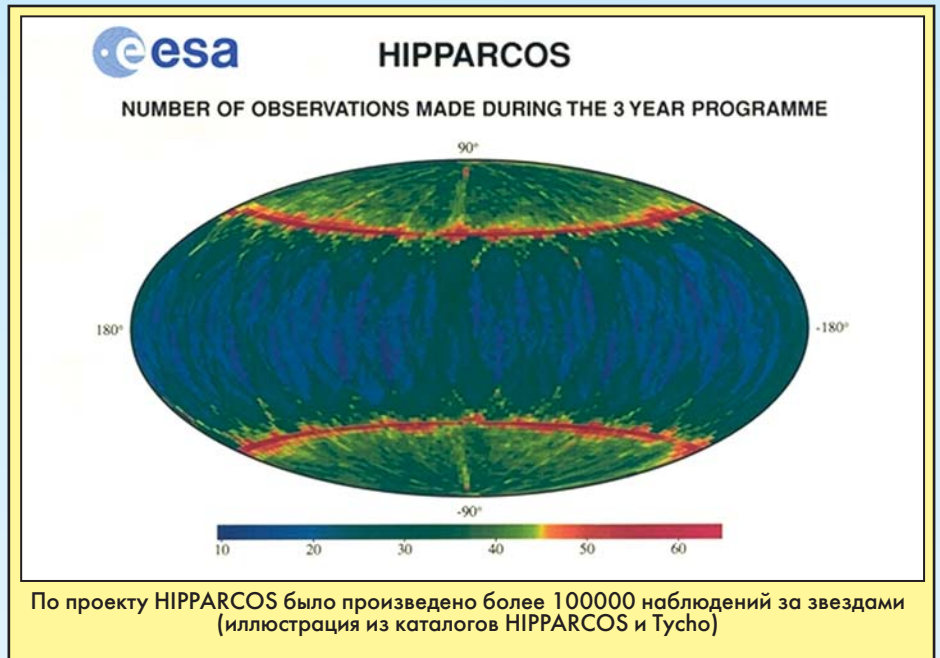
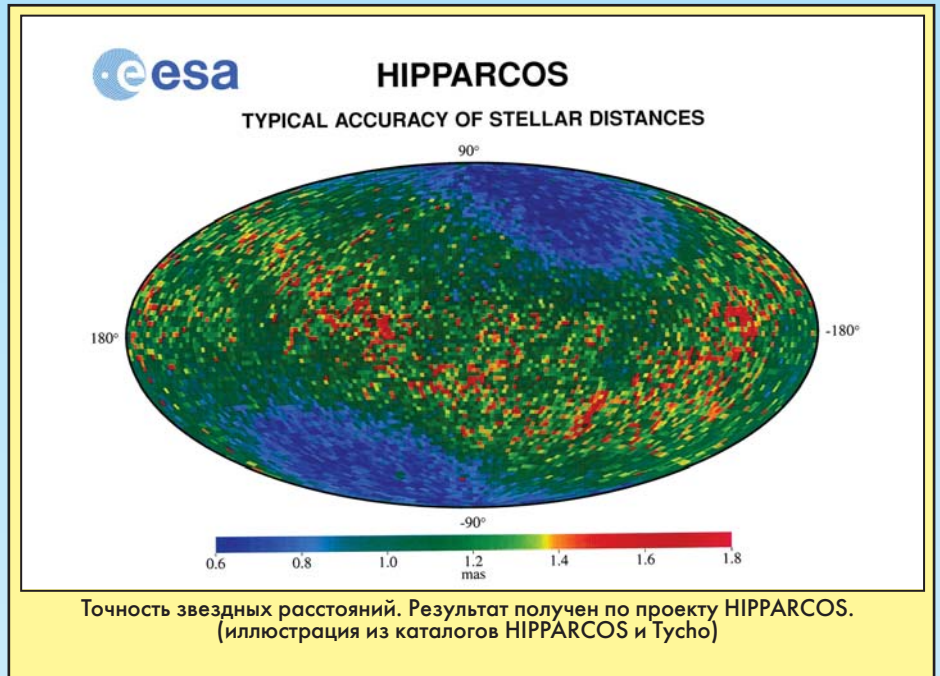
Звездный глобус Hipparcos изображает небесную сферу, которая была впервые рассмотрена спутником Hipparcos как единое целое. Это проекция ночного неба на икосаэдр (многогранник с 20 треугольными гранями)

ленным телам один метод сменяет другой. Так, расстояния между планетами измеряются с помощью радиолокации. Межзвездные расстояния вплоть до 100 парсеков раньше измеряли с помощью тригонометрических параллаксов (HIPPARCOS отодвинул эту границу до 1000 парсеков). Вплоть до расстояний в миллион парсеков (1 мпк) используется метод цефеид. Еще более далекие объекты — галактики и квазары — удалены от нас на сотни и тысячи мегапарсеков. Такие расстояния измеряются по красному смещению и требуют знания постоянной Хаббла. Естественно думать, что при передаче эстафеты от одного метода другому каждый из «старших» методов должен быть проверен с помощью «младшего» метода. Для этого должны существовать области перекрытия, в которых можно применять по крайней мере два метода.

Однако в сфере радиусом 100 парсеков нет ни одной цефеиды (одна из ближайших к нам цефеид — это Полярная звезда, она удалена от нас на 122 парсека). Поэтому до реализации проекта HIPPARCOS шкала измерений, основанная на цефеидах, не была согласована с результатами прямых измерений до звезд методами тригонометрических параллаксов. Теперь ситуация изменилась! Шкала цефеид была уточнена, на основании чего было сделано заключение о том, что принятое в настоящее время значение постоянной Хаббла должно быть уменьшено на 5-10 процентов.

**А ЧТО ЖЕ ДАЛЬШЕ?**

Имеет ли космическая астрометрия будущее? Конечно, да. Сейчас во многих странах ведутся работы по созданию новых проектов астрометрических измерений из космоса. В России имеются два таких проекта — ЛОМОНОСОВ и СТРУВЕ, подготовленные соответственно астрономами Государственного Астрономического Института имени Штернберга в Москве и астрономами Пулковской обсерватории в Санкт-Петербурге. Сейчас трудно сказать, будут ли эти проекты реализованы. Более вероятным представляется осуществление приблизительно в 2009-2014 гг. силами Европейского Космического Агентства проекта GAIA (GLOBAL ASTROMETRIC INTERFEROMETER for ASTROPHYSICS). Целью этого проекта является измерение координат, собственных движений и параллаксов для 50 миллионов звезд с точностью лучше, чем 10 микросекунд дуги. Это позволит решать задачи принципиально нового характера — мы промерим на 10-процентном уровне точности расстояние до центра нашей Галактики, появятся новые возможности тестирования альтернативных теорий гравитации. По-видимому, самым захватывающим является перспектива глобального обзора области радиусом 100-200 парсеков с целью поиска планетных систем вокруг звезд.



**HIPPARCOS В ИНТЕРНЕТЕ**

Жизнь проекта HIPPARCOS продолжается и после завершения работы спутника на орбите. Все, что связано с использованием новых космических каталогов, отражено в Интернете. Посетите домашнюю страницу проекта (<http://www.rssd.esa.int>) — и Вы увидите и узнаете много интересного. Здесь можно получить сведения о «рекордсменах» каталогов HIPPARCOS и TYCHO, то есть о самых близких, самых ярких, самых быстрых звездах. Здесь можно увидеть «стереоскопические» изображения звезд Большой Медведицы, относительные перемещения звезд — их собственные движения, анимационные изображения движения звезд в скоплении Гиады и много-много других сведений, одинаково интересных как любителям астрономии, так и тем, кто занимается астрономией профессионально.

