

8. Ораевский В. Н., Плахов А. Ю., Семикоз В. Б., Смородинский Я. А. // ЖЭТФ. 1987. Т. 93. С. 1557. Поправка: ЖЭТФ. 1989. Т. 95. С. 2288.
9. Семикоз В. Б. // ЯФ. Письма в редакцию. 1987. Т. 46. С. 1592.
10. Oraevsky V. N., Ursov V. N. // Phys. Lett. Ser. 1988. V. 209. P. 83.
- [11] Leinson L. B., Oraevsky V. N., Semikoz V. B. // Ibidem. P. 80.
12. Леинсон Л. Б., Ораевский В. Н. // Письма ЖЭТФ. 1988. Т. 48. С. 58.
13. Oraevsky V. N., Semikoz V. B., Smorodinsky Ya. A. // Phys. Lett. Ser. B. 1989. V. 227. P. 255.
14. Семикоз В. Б. // Письма ЖЭТФ. 1989. Т. 49. С. 254.
15. Семикоз В. Б., Смородинский Я. А. // Ibidem. 1989. Т. 48. С. 361.
16. Semikoz V. B. // Physica. Ser. A. 1987. V. 142. P. 157.
17. Семикоз В. Б., Смородинский Я. А. // ЖЭТФ. 1989. Т. 95. С. 35.

521.9(048)

В. В. Нестеров, А. А. Овчинников, А. М. Черепашук, Е. К. Шеффер.
Проблемы космической астрометрии. Проект ЛОМОНОСОВ. Информация, поступающая из наблюдений небесных объектов, содержит их положения (задаваемые направлениями на источник электромагнитного излучения), фотометрические и спектральные характеристики в различных диапазонах излучения. Все эти сведения являются функциями времени: положения меняются вследствие собственных движений и параллаксов звезд, а блеск и цвет их зачастую переменны.

Сбор этих сведений и их исследование есть главнейшая задача астрономии, и именно этим она и занимается со времени своего зарождения, а материалы, собранные астрономами, суммируются в каталогах. Использование каталога с практическими и научными целями всегда является экстраполяцией сведений, заключенных в каталогах. Точность каталогов неизбежно падает с течением времени. То, о чем сегодня говорят, как об имеющем точность несколько десятых долей секунды, через 10—20 лет может оказаться ошибочным на целые секунды.

Более чем вековой опыт классической астрометрии показывает, что достижение с поверхности Земли точности массовых измерений, лучшей чем $0.10''$, является принципиально невозможным. Повышению точности ставят предел локальные флуктуации атмосферы, недостаточная стабильность избранных направлений, задающих нуль-пункты, а также техническое несовершенство измерительных инструментов, функционирующих при воздействии силы тяжести. Следует подчеркнуть, что увеличение количества наблюдений практически не ведет к повышению точности результата по достижении некоторого предела. Так, хорошо известная Полярная звезда за последние 300 лет наблюдалась тысячи раз, однако координаты ее нам по-прежнему известны с точностью всего лишь несколько сотых долей секунды дуги.

Целью проекта ЛОМОНОСОВ является создание высокоточной координатной системы всего неба, которая оставалась бы в силе в течение достаточного интервала времени (30—50 лет), обеспечивая решение целого ряда прикладных и фундаментальных задач. Эта цель достигается в результате комплексной работы, основой которой является космический эксперимент, т. е. организация наблюдений звезд с телескопом, установленным на борту искусственного спутника Земли.

Программа наблюдений эксперимента ЛОМОНОСОВ включает:

— все звезды до 10.0 звездной величины общим числом около 400 тысяч, обеспечивая наличие около 10 звезд на квадратный градус сферы;

— избранные более слабые звезды (до 13.0 звездной величины) в количестве около 8 тысяч (это звезды уже отобранные для программы HIPPARCOS Европейского Космического Агентства; они представляют специальный интерес для астрофизики и звездной астрономии);

— около 30 наиболее ярких источников внегалактического излучения;

— около 40 тел Солнечной системы (больших и малых планет).

Фундаментальное научное значение результатов проекта ЛОМОНОСОВ следует рассматривать в двух аспектах: создание координатной системы для целей науки и практики и получение информации для развития астрономии.

1. Координатная система. Будут получены абсолютные собственные движения для во сто крат большего количества звезд и во многие сотни раз более слабых звезд, чем это имеет место в сопоставимых по качеству звездных каталогах (FK5), и в 5—10 раз более точные данные, чем это имеет место сопоставимых по объему каталогах — AGK3 и SAO. Для достижения подобных результатов с Земли потребовалось бы около 100 лет работы.

Абсолютные положения будут получены в 10—30 раз более точными, нежели это имеет место в FK5. Это вообще недостижимо для наземных наблюдений (предел достижимой точности ставит атмосфера). Однако наиболее важным улучшением современных данных является достижение равномерной точности по всей небесной сфере, в частности, ликвидация различий системы в северном и южном полушариях, что неизбежно для наземных наблюдений.

Абсолютизация координатной системы будет осуществлена путем связывания звезд системы с источниками внегалактического излучения, положения которых измеряются методами радиоинтерферометрии, а также по совместным наблюдениям звезд и тел Солнечной системы. Наблюдения параметров вращения Земли классическими оптическими методами в системе координат ЛОМОНОСОВ'а и с помощью радиоинтерферометрии позволят сравнить две этих системы. Таким образом, каталог проекта ЛОМОНОСОВ станет представлением наилучшей абсолютной системы координат, осуществляемой в настоящее время.

Абсолютизация координатной системы дает возможность:

— установить связь между динамической системой отсчета (планеты, Луна) с абсолютной геометрической системой;

— исследовать негравитационные эффекты в движении Луны и релятивистские эффекты для других тел Солнечной системы;

— установить систему отсчета для измерения прецессии оси Земли, которая чрезвычайно чувствительна к особенностям внутреннего строения Земли;

— установить систему отсчета для изучения векового движения полюсов Земли, которое связано с перемещениями литосферных плит и вариациями моментов инерции Земли;

— установить систему отсчета для изучения вековых эффектов в движении планет и уточнения их масс.

2. Астрофизика и звездная астрономия. В настоящее время имеются сведения о параллаксах около 10 тысяч звезд, главным образом, северного полушария неба. Из них лишь 5% имеют относительные ошибки менее 10%. Осуществление проекта ЛОМОНОСОВ позволит измерить параллаксы десятков и сотен тысяч звезд с абсолютной точностью $0'',001$ — $0'',002$, определить тем самым расстояния до них, резко увеличив объем обследованного пространства (до 1000 пс).

а) *Абсолютные светимости звезд.* Появится возможность определения тригонометрических параллаксов отдельных членов звездных скоплений, в частности, Гиад, что существенно улучшит наши сведения о расстоянии до этого скопления, исходного при установлении шкалы расстояний во Вселенной.

б) *Калибровка светимостей.* Впервые будут измерены параллаксы В—звезд главной последовательности диаграммы Херцшпрунга — Рессела и гигантов класса К и М и определены их светимости. Параллаксы F и G — звезд главной последовательности (их около 15 тысяч ближе 75 пс и ярче 11 звездной величины) можно будет использовать для изучения зависимости их светимости от химического состава.

в) *Массы звезд.* Число двойных систем, в которых можно будет определить массы звезд с точностью лучше 15%, возрастает примерно в 10 раз.

г) *Кинематика и динамика Галактики.* Значительно увеличится точность определения постоянных Оорта А и, особенно, В, которая измеряется лишь по собственным движениям звезд.

д) *Изучение отдельных объектов.* Измерения собственных движений позволят определить пространственные скорости многих объектов и их орбит в Галактике, экстраполируя которые назад, можно получить локализацию очагов звездообразования, продвигаясь по шкале времени на 500 миллионов лет назад.

Предлагаемый эксперимент в общих чертах сводится к следующему.

На борту космического аппарата (КА) устанавливается телескоп системы Кассегрена с эквивалентным фокусным расстоянием 50 м, диаметром главного зеркала 1 м при фокусе 4 м и безабберационным полем зрения 6 мин дуги или 90 мм. Система апертурных зеркал собирает в одно поле зрения изображения двух звезд (а точнее, двух участков небесной сферы), разделенных на небе угловым расстоянием около 90°. Своим взаимным положением апертурные зеркала должны создавать высокостабильный эталон угла, а измерениям в процессе эксперимента подлежат отличия истинного углового рассеяния между звездами от значения эталона.

В качестве приемной регистрирующей аппаратуры предлагается применять матрицы ПЗС, состоящие из 800×800 элементов. Линейные размеры каждого элемента 15×15 мкм, что соответствует 0,06". Анализ сигналов матрицы с помощью специальных цифровых алгоритмов позволяет найти расстояние между звездами в поле зрения с точностью до 0,3 мкм, что составляет около 0",001.

Стратегия проведения эксперимента заключается в удержании аппарата, наведенным на избранную вблизи от антисолнечной точки звезду (условно называемую опорной) с последующими поворотами его относительно этого направления и измерениями расстояний от опорной звезды до всех остальных, отстоящих от нее на 90° (условно называемых программными). Далее КА перенаводится на другую опорную звезду, и измеряются расстояния от нее до другой совокупности программных звезд. В процессе успокоения КА производятся фотометрические измерения программных звезд, а для опорных звезд предполагаются спектрофотометрические измерения.

Основное требование к устройству КА — возможность быстрой переориентировки его с последующей трехосной стабилизацией.

Выбор орбиты КА обусловлен необходимостью минимизации различных помех — световые помехи от Земли и Луны заставляют выбирать высокоапогейную орбиту. Помехи от радиационных поясов Земли на ПЗС-матрицы отодвигают апогей за 80 тысяч км. Необходимо также учесть желательность большего отношения нахождения КА на полезной части орбиты ко времени прохождения вблизи перицентра. Таким образом, можно говорить о 48-часовой орбите с апогеем около 120 тыс. км. Наклон плоскости орбиты к плоскости эклиптики должен составлять 50—60°, что позволит уменьшить сезонное влияние магнитосферного хвоста, создающего на ПЗС-матрицах дополнительные помехи.

Для выполнения совокупности наблюдений космического эксперимента в оптимальном режиме необходимо заранее рассчитать все углы поворотов КА, т. е. иметь в своем распоряжении список всех звезд будущего каталога с приближенными координатами (так называемый входной каталог). Составление его важная и трудоемкая задача, которая решается на основе материалов фотографических наблюдений обсерваторий СССР в обоих полушариях, а также данных астрографических каталогов «Карты Неба».

Со входным каталогом непосредственно связано планирование космического эксперимента и его оптимизация, необходимые для: 1) набора максимального количества независимых измерений в минимальные сроки проведения эксперимента, 2) получения как можно лучше обусловленной системы уравнений заключительной стадии восстановления координат по измеренным расстояниям. Вывод заключительного каталога сводится к решению тем или иным способом системы линейных уравнений, каждое из которых связывает данное конкретное измерение с 10 неизвестными (по 5 для каждой из звезд). Матрица нормальной системы имеет размерность ($5 \times \text{число звезд программы}$) и в силу того, что рассматриваются лишь относительные угловые измерения, имеет дефект ранга 6, соответствующий неизвестному повороту системы координат и его изменениям во времени.

Решение системы нормальных уравнений может быть осуществлено несколькими различными методами, например, итерационным. Другой метод — двухступенное решение. В этом случае необходимо выбрать ограниченное число звезд (10—40 тыс.), имеющих достаточно хорошо известные координаты из лучших астрометрических каталогов, и принимать в рассмотрение только те уравнения, которые их связывают. В результате можно найти решение, выравнивающее совокупность координат этих звезд внутри себя с нуль-пунктами, соответствующими системе начально принятых координат. Координаты остальных звезд программы эксперимента будут определены по разностям их с координатами звезд первой ступени.

Заключительная стадия вывода системы координат — абсолютизация ее путем привязки к различным системам физических тел — будет получена в полной мере по завершении всего проекта ЛОМОНОСОВ.

Проведение массовых астрометрических и фотометрических измерений с помощью телескопа, установленного на КА, планируется также и в проекте HIPPARCOS, разрабатываемом с 1975 г. Европейским Космическим Агентством. В программу его входят около 100 тыс. специально отобранных звезд яркостью до 13 звездной величины. Каждая из них должна наблюдаться 60—80 раз при точности одного наблюдения около $0'',01$. Основным оборудованием КА является телескоп системы Шмидта с фокусным расстоянием 140 см и диаметром входного зрачка 29 см. Однородное покрытие неба достигается вращающимся сканированием неба, а для измерений применяется фотоэлектрический метод.

В проектах ЛОМОНОСОВ и HIPPARCOS применены различные способы обзора небесной сферы и принципиально различные методы регистрации положений звезд в фокальной плоскости. Оба проекта, без сомнения, могут дополнить друг друга. Существует возможность определить и исключить возможные ошибки методов и, тем самым, повысить достоверность получаемых научных данных. Эта задача потребует координации усилий советских ученых и специалистов с западноевропейскими коллегами.