

Создание многопараметрической модели наблюдательной системы космического телескопа

© К.О. Чуркин,¹ Н.К. Петрова,^{1,2} Ю.А. Нефедьев,¹ А.О. Андреев,^{1,2} Н.Ю. Демина¹

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет,
420008 Казань, Россия

² Казанский государственный энергетический университет,
420066 Казань, Россия
e-mail: kchurkin87@gmail.com

Поступило в Редакцию 11 мая 2023 г.

В окончательной редакции 22 августа 2023 г.

Принято к публикации 30 октября 2023 г.

Рассмотрены возможность и эффективность использования автоматизированного зенитного телескопа для определения селенодезических параметров вращения путем компьютерного моделирования наблюдений на телескопе, установленном на лунной поверхности, в частности: моделирование треков звезд на автоматизированном зенитном телескопе и возможности астрофизических исследований, разработка программы космических наблюдений.

Ключевые слова: космический телескоп, моделирование треков звезд, астрофизические наблюдения.

DOI: 10.61011/JTF.2023.12.56817.f230-23

На ближайшее десятилетие во многих странах запланирована серия космических астрофизических экспериментов. Одним из таких проектов является установка оптического телескопа на лунной поверхности. Качественно новый тип наблюдений с помощью налунных измерительных средств позволяет надеяться на выполнение долгопериодических астрофизических наблюдений как в пределах Солнечной системы, так и в далеком космосе, а также существенно улучшить эфемеридное сопровождение космических аппаратов [1,2]. В России планируется установить на Луне автоматизированный зенитный телескоп (АЗТ). Одним из наиболее удачных мест для его размещения — это полярные зоны Луны. Здесь имеется ряд преимуществ по сравнению с другими точками лунной поверхности. Возможности подобного эксперимента для определения параметров вращения Луны были исследованы нами методом компьютерного моделирования, чему и посвящена представленная работа. Результаты и инструменты нашего исследования позволяют решить ряд задач практического использования налунного телескопа, а именно:

- 1) моделирование треков звезд на АЗТ;
- 2) определение возможности астрофизических исследований;
- 3) разработка программы космических наблюдений.

Преимущество налунных наблюдений состоит в том, что они имеют отличную от лазерной локации Луны (ЛЛЛ) чувствительность к амplitудам и частотам либрации, что совместно с ЛЛЛ позволит существенно повысить качество наблюдений за лунным вращением [3].

Чтобы изучить положение лунного тела в пространстве на любой момент времени, при построении теории физической либрации Луны (ФЛЛ) вводится так

называемая динамическая система координат (ДСК) — x, y, z , осями которой являются главные оси инерции Луны a, b, c , а центр ДСК расположен в центре масс Луны (рис. 1). Для твердой Луны ДСК жестко связана с ее телом.

Процесс моделирования наблюдений налунным полярным телескопом основан на предположении, что он установлен строго в точке лунного полюса, который определен главной осью инерции Луны c . Его вертикальная ось является продолжением этой оси. Две другие оси — a и b — задают систему координат в плоскости объектива телескопа.

Компьютерное моделирование наблюдений звезд с помощью налунного телескопа потребовало, в первую очередь, создания списка звезд, попадающих в его поле зрения на заданный период наблюдений. Поле зрения телескопа задавалось пластинкой со стороны 1° . Из звездных каталогов выбирались звезды ярче 12 звездной величины. Разработанные программы позволяли как выбирать звезды с соответствующими координатами и звездными величинами, так и производить пересчет экваториальных координат в эклиптические с учетом поправок за прецессию, абберацию и собственное движение звезд. В результате для северного и южного полюсов список включал более 800 звезд в кольце шириной 1° относительно прецессионного трека полюсов. На рис. 2 показаны звезды в окрестности северного полюса Луны. Полюс и выбранные звезды расположены в созвездии Дракона.

Удачным инструментом для расчета „наблюдаемых“ координат звезд стала аналитическая теория ФЛЛ Н.К. Петровой [4]. На ее основе удобно вычислять положение звезд не только на любой заданный интер-

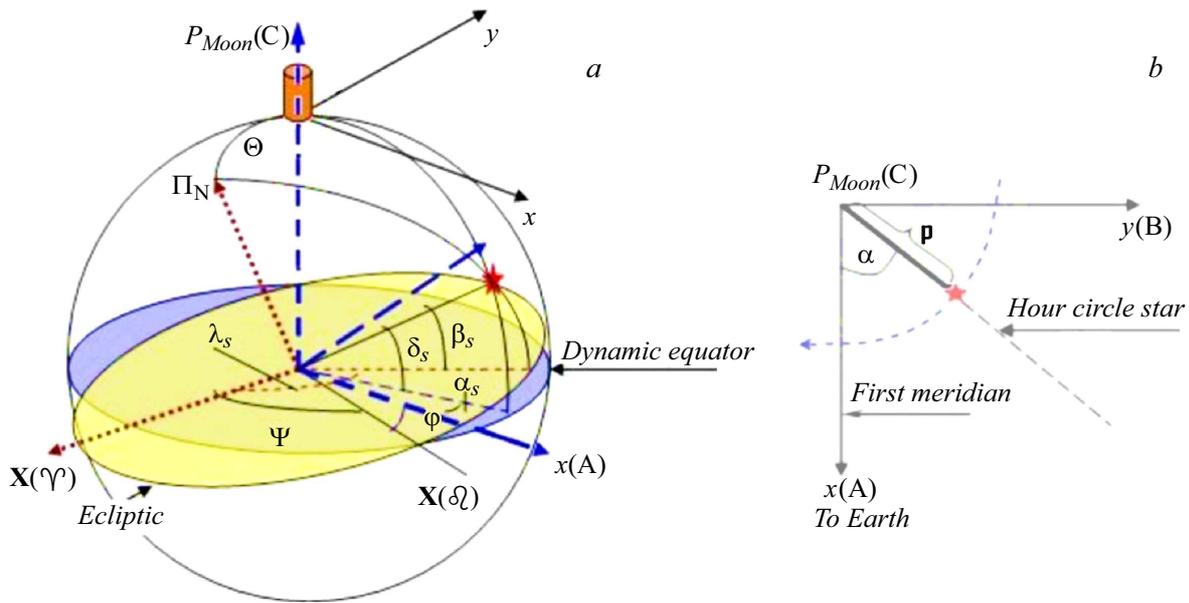


Рис. 1. *a* — положение ДСК относительно инерциальной эклиптической системы координат $(\bar{X}\bar{Y}\bar{Z})$. Задается классическими углами Эйлера — Ψ, Θ, φ . *b* — положение звезды в поле зрения полярного телескопа описывается или полярным расстоянием p и часовым углом α или прямоугольными координатами x, y . Параметры вращения Луны — углы $\tau(t), \rho(t), \sigma(t)$ — это своего рода редуцированные функции для приведения равномерного вращения Луны к ее реальному движению.

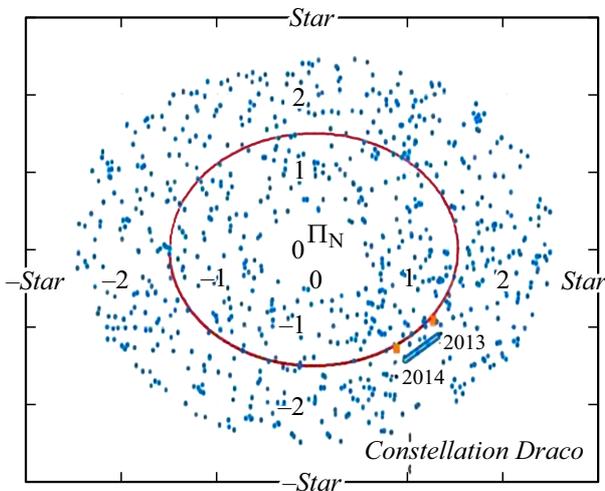


Рис. 2. Точками обозначены звезды, которые в эклиптической системе координат располагаются в окрестности прецессионного движения лунного полюса относительно полюса эклиптики Π_N . Его движение с 2013 по 2014 гг. показано стрелкой.

вал времени, но и для любой модели гравитационного поля. Поскольку полярные звезды двигаются медленно, расчет можно было проводить с интервалом в 3–5 дней без потери значимых эффектов в либрационном вращении Луны. На рис. 2 показано прецессионное движение северного полюса с января 2013 по январь 2014 года. В этот период в поле зрения телескопа попало 48 звезд.

В результате нам удалось получить треки этих звезд и проанализировать их поведение. В отличие от наблюдений с Земли звезды при наблюдении с Луны движутся по спиралям, а часть звезд показывают петлеобразные треки (рис. 3), это обусловлено медленным вращением Луны и относительно быстрым прецессионным движением лунного полюса.

Не менее важным исследованием было изучение чувствительности измеряемых координат звезд к параметрам динамической модели Луны, а именно к значениям ее моментов инерции и коэффициентов Стокса, числовые значения которых получались из различных гравиметрических измерений. Нами были исследованы динамические модели, построенные на основе данных спутников Clementine, Lunar Prospector и SELENE (Kaguya). Выяснилось, что точность измеряемых координат звезды x, y существенно зависит от выбранной модели гравитационного поля Луны [4].

Помимо астрометрических задач, телескоп на лунной поверхности позволит проводить более точные и достоверные астрофизические наблюдения из-за отсутствия атмосферы. Чтобы исключить влияние солнечного света, телескоп можно расположить в полярных лунных кратерах: специфика вращения Луны такова, что Солнце никогда не поднимается выше чем на полтора градуса над горизонтом на северном и южном полюсах Луны, и в результате в районах около полюсов свет никогда не проникает на дно некоторых кратеров.

Большие перспективы открываются также и для изучения экзопланет с биосигнатурами. При наблюдении с

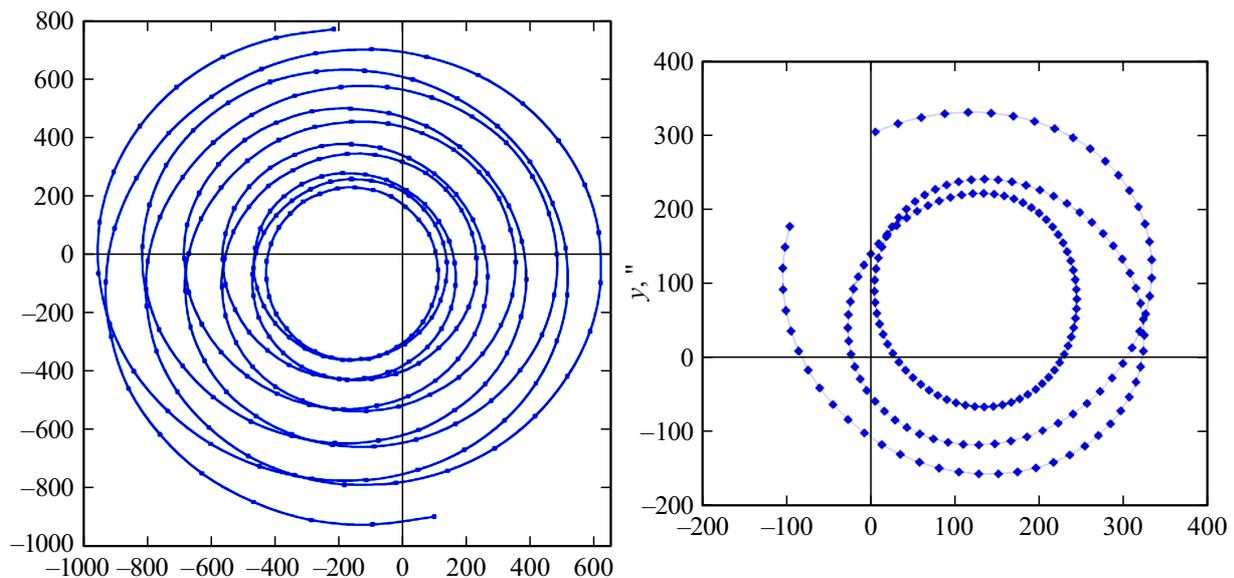


Рис. 3. Треки звезд, получаемые при моделировании наблюдений налунным телескопом.

Земли затруднен спектральный анализ атмосфер экзопланет, налунный телескоп позволит решить эту задачу. Также появится возможность на более высоком уровне исследования сверхмассивных черных дыр [5].

Финансирование работы

Авторы выражают благодарность за поддержку выполненных работ Российскому научному фонду, грант 22-72-10059.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Список литературы

- [1] M. Imai, J. Kurihara, T. Kouyama, T. Kuwahara, S. Fujita, Y. Sakamoto, Y. Sato, S.-I. Saitoh, T. Hirata, H. Yamamoto, Y. Takahashi. *Sensors*, **21** (7), 2429 (2021). DOI: 10.3390/s21072429
- [2] T. Wilson, X. Xiong. *J. Appl. Remote Sens.*, **13** (2), 024513 (2019). DOI: 10.1117/1.JRS.13.024513
- [3] Н.К. Петрова, Ю.А. Нефедьев, А.О. Андреев, А.А. Загидуллин. *Астроном. журн.*, **97** (12), 1042 (2020). [N.K. Petrova, Y.A. Nefedyev, A.O. Andreev, A.A. Zagidullin. *Astron. Rep.*, **64**, 1078 (2020). DOI: 10.1134/S1063772920120094]
- [4] А.А. Загидуллин, В.С. Усанин, Н.К. Петрова, Ю.А. Нефедьев, А.О. Андреев, Т.В. Гудкова. *Астроном. журн.*, **98** (1), 75 (2021). [A.A. Zagidullin, V.S. Usanin, N.K. Petrova, Y.A. Nefedyev, A.O. Andreev, T.V. Gudkova. *Astron. Rep.*, **64** (12), 1093 (2020). DOI: 10.1134/S1063772921010066]
- [5] L.S. Pilyugin, B. Cedrés, I.A. Zinchenko, A.M. Pérez Garcia, M.A. Lara-López, J. Nadolny, Y.A. Nefedyev, M. González-Otero, J.M. Vílchez, S. Duarte Puertas, R. Navarro Martinez. *Astron. Astrophys.*, **653**, A11 (2021). DOI: 10.1051/0004-6361/202141012