

АСТРОМЕТРИЯ

НАБЛЮДЕНИЯ МАЛЫХ ПЛАНЕТ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЙ ЗВЕЗД ФУНДАМЕНТАЛЬНОГО КАТАЛОГА

В. И. Орельская

Координаты звезд фундаментального каталога FK4 предполагается улучшить по наблюдениям малых планет. Экваториальная система координат, составляющая основу FK4, определяет положения чисто геометрических образов: экватора и точки весеннего равноденствия, которые фиксируются на небесной сфере с помощью некоторого числа звезд.

Наблюдения астероидов дают возможность, во-первых, определить поправки к положению точки равноденствия и экватора, т. е. к нуль-пунктам каталога, и, во-вторых, улучшить координаты звезд, расположенных в экваториальной области. До настоящего времени для нахождения этих поправок использовались наблюдения Солнца, Меркурия, Венеры, Марса и Луны. Опубликовано большое число значений поправок к нуль-пунктам каталога, полученных из указанных наблюдений. Однако до сих пор в литературе существует путаница в знаках, с которыми нужно брать как поправки к положению точки весеннего равноденствия и экватора, так и постоянные поправки прямых восхождений и склонений звезд каталога. Эта путаница начата Ньюкомом, который в одном случае [1] под поправкой положения точки весеннего равноденствия понимал изменение самого нуль-пункта, а в другом [2] — поправку прямого восхождения, отсчитываемого от этого нуль-пункта.

Положения звезд FK4, как и всякого фундаментального каталога, подвержены систематическим ошибкам, которые принято представлять в виде

$$\left. \begin{aligned} \Delta\alpha &= \Delta\alpha_0 + \Delta\alpha_\alpha + \Delta\alpha_\delta, \\ \Delta\delta &= \Delta\delta_0 + \Delta\delta_\alpha + \Delta\delta_\delta, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $\Delta\alpha_0$, $\Delta\delta_0$ — постоянные ошибки соответственно системы прямых восхождений и склонений звезд, а остальные члены — $\Delta\alpha_\alpha$, $\Delta\alpha_\delta$, $\Delta\delta_\alpha$ и $\Delta\delta_\delta$ — зонные периодические ошибки. Искомые постоянные поправки ΔA , ΔB соответственно к системе прямых восхождений и склонений звезд каталога FK4 имеют вид

$$\left. \begin{aligned} \Delta A &= -\Delta\alpha_0, \\ \Delta B &= -\Delta\delta_0. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Значение $\Delta\alpha_0$ условно можно рассматривать как поправку к геометрическому положению точки весеннего равноденствия. Поправка $\Delta\alpha_0$ к равноденствию каталога есть разность между действительным положением средней точки весеннего равноденствия, через которую проходит пересечение средних плоскостей экватора и эклиптики, и началом отсчета прямых восхождений каталога на его экваторе. Значение $\Delta\delta_0$ также условно можно рассматривать как поправку к геометрическому положению экватора. Эта поправка есть разность между действительным положением среднего экватора и экватором, зафиксированным системой склонений звезд каталога.

Условные уравнения для определения элементов ориентации каталога имеют вид [3]

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^6 \frac{\partial \alpha}{\partial E_i} \Delta E_i + \sum_{i=1}^5 \frac{\partial \alpha}{\partial E_i'} \Delta E_i' + \Delta \alpha_0 &= \Delta \alpha, \\ \sum_{i=1}^6 \frac{\partial \delta}{\partial E_i} \Delta E_i + \sum_{i=1}^5 \frac{\partial \delta}{\partial E_i'} \Delta E_i' + \Delta \delta_0 &= \Delta \delta, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $\Delta E_i, \Delta E_i'$ — поправки к элементам орбит планеты и Солнца; $\Delta \alpha_0, \Delta \delta_0$ — поправки к положению равноденствия и экватора каталога; $\Delta \alpha, \Delta \delta$ — разности между наблюдаемыми и вычисленными значениями координат планеты. В условных уравнениях (3) значения $\Delta \alpha_0, \Delta \delta_0$ являются поправками к положению равноденствия и экватора каталога, а в соотношениях (1) — ошибками системы прямых восхождений и склонений звезд каталога. Решение условных уравнений (3) по способу наименьших квадратов дает поправки $\Delta \alpha_0, \Delta \delta_0$ и как побочный продукт — поправки к элементам планеты, Солнца, в том числе и наклон эклиптики к экватору. Поправки, которые нужно придать всем прямым восхождениям и склонениям звезд улучшаемого каталога, определяются соотношениями (2).

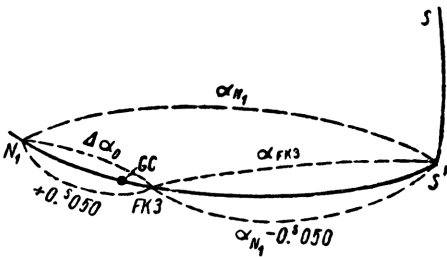


Рис. 1. Относительное положение точек весеннего равноденствия фундаментальных каталогов.

Исходя из многих десятков тысяч наблюдений Солнца, собранных за 119 лет, Ньюком [4] исправил положение точки весеннего равноденствия каталога TR Бесселя на величину $\Delta \alpha_0 = -0^s.016$. В 1931 г. Морган [5] определил из наблюдений Солнца и больших планет поправку к положению точки равноденствия Ньюкома $\Delta \alpha_0 = +0^s.040$ (рис. 1) и установил в точке GC начало отсчета системы прямых восхождений звезд каталога Босса. Каршtedт [6] на основании наблюдений тех же объектов получил поправку $\Delta \alpha_0 = +0^s.050$ к положению равноденствия N_1 и новое положение точки $N_1 + 0^s.050$ принял за начало отсчета системы прямых восхождений звезд FK3. Система прямых восхождений α_{N_1} , отсчитываемая от точки N_1 , была исправлена на величину $\Delta A = -0^s.050$. Соотношение между поправкой $\Delta \alpha_0$ к положению точки равноденствия и поправкой $\Delta A = -\Delta \alpha_0$ к системе прямых восхождений показано на рис. 1.

В 1963 г. Фрикке и Копфф [7] вновь попытались найти из наблюдений Солнца, Луны и планет поправку $\Delta \alpha_0$ к положению точки равноденствия N_1 Ньюкома, но из-за большого разброса результатов (от $+0^s.028$ до $+0^s.073$) решили сохранить равноденствие $N_1 + 0^s.050$ Каршtedта для FK3 без изменений и для FK4. Поскольку дневные наблюдения Солнца проводятся при инструментальных условиях, существенно отличающихся от ночных, а дневные наблюдения Меркурия и Венеры подвержены влиянию дефекта освещенности, точность определения их положений в 2—3 раза меньше точности наблюдений звезд. Несмотря на преимущество Луны — быстрое орбитальное движение и возможность ночных наблюдений — определенная Клокком и Скоттом [8] поправка $\Delta B = +0^{\prime\prime}.436$ к склонениям звезд FK4 по наблюдениям 1925—1968 гг. оказалась неправдоподобно большой. Априорные соображения позволяют думать, что наблюдения малых планет могут дать результаты не только с меньшими случайными, но и с меньшими систе-

матическими ошибками (что очень существенно), чем наблюдения дискообразных тел.

Для определения систематических ошибок звездных каталогов проводятся специальные фотографические и меридианные наблюдения избранных малых планет. Поскольку меридианные наблюдения не требуют перевода положений астероидов на однородную систему координат, есть возможность непосредственного использования их для определения элементов ориентации каталога. Однако работы Ясуды [9] и Джексона [10, 11] дали неудовлетворительное значение поправки равноденствия, полученной из меридианных наблюдений Цереры, Паллады, Юноны и Весты на Вашингтонской, Капской и Токийской обсерваториях: поправка $\Delta\alpha_0$ к равноденствию FK3 имела исключительно широкий диапазон значений от $+0^s.197$ до $-0^s.057$. По-видимому, это объясняется большим разбросом величин $O-C$, иногда доходящим до $2''$ для рядом стоящих дат, как было установлено из проведенного нами исследования. Кроме того, первые четыре малые планеты имели звездные величины соответственно 7.4; 8.5; 9.6 и 6.7, а в качестве опорных были использованы яркие звезды от 1 до 7 звездной величины. Управление яркости, которое особенно значительно для Юноны, и могло исказить результаты.

Для улучшения звездных положений каталогов с 1949 г. проводятся специальные фотографические наблюдения 10 избранных малых планет с номерами 1, 2, 3, 4, 6, 7, 11, 18, 39 и 40. В этой работе участвуют 5 советских и 14 зарубежных обсерваторий. Собрано более 18000 наблюдений астероидов, причем все они проверены, а замеченные ошибки и поправки устранены. Для определения положений астероидов были использованы каталоги Vale, AGK2, FK3, GC, Gordoba, SaO и другие с различными системами отсчета.

В качестве системы координат, подлежащей улучшению по наблюдениям малых планет, нами выбрана система FK4, которая в настоящее время наилучшим образом фиксирует астрономическую систему координат на небесной сфере. Для определения элементов ориентации избранного каталога необходимо все имеющиеся положения астероидов перевести на его систему. Однако связь системы звезд сравнения, используемых при фотографических наблюдениях астероидов, с фундаментальной системой отсчета FK4 составляет самую сложную часть работы по улучшению фундаментальной системы координат. Приведение положений астероидов на однородную систему FK4 с помощью AGK3 стало возможным только недавно для планет, склонение которых севернее -2° . Отсутствие улучшенных координат слабых звезд сравнения по склонению для области неба южнее -2° тормозит использование наблюдений астероидов для определения поправок $\Delta\alpha_0$, $\Delta\delta_0$, входящих в формулу (3). Таким образом, из решений, осуществленных в настоящее время, можно получить только предварительные значения поправок к положению равноденствия и экватору.

Периодические ошибки звезд, входящие в формулу (1), искажают координатную систему любого каталога. Система прямых восхождений подвержена этим ошибкам, несмотря на длительное выравнивание относительных положений звезд. Система склонений звезд того же каталога, несмотря на хорошую привязку к полюсам, по мере приближения к экватору все больше искажается из-за накопления ошибок разного рода.

Поскольку малые планеты движутся в большом диапазоне склонений, они являются более подходящими объектами для определения периодических ошибок координат звезд в экваториальной зоне, чем Солнце, Луна и большие планеты. Разности между наблюдаемыми положениями астероидов, отнесенных к звездам в их непосредственной близости, и их вычисленными положениями обеспечивают исправление принятой фундаментальной системы координат. Так, Пирс [12] определил

поправки к положениям звезд зонных Иельских каталогов и GC на основании фотографических наблюдений 15 малых планет, проведенных с 1935 по 1948 г. Область неба $\pm 30^\circ$ по склонению для Иельской зоны была разбита на 54 участка, а для GC — на 60. Для каждого участка неба были получены поправки $\Delta\alpha_i$, $\Delta\delta_i$ к положениям звезд данных каталогов.

Наблюдения 10 избранных малых планет предполагалось использовать для определения периодических ошибок звезд, расположенных в узкой экваториальной зоне. На рис. 2 представлены точки оппозиций

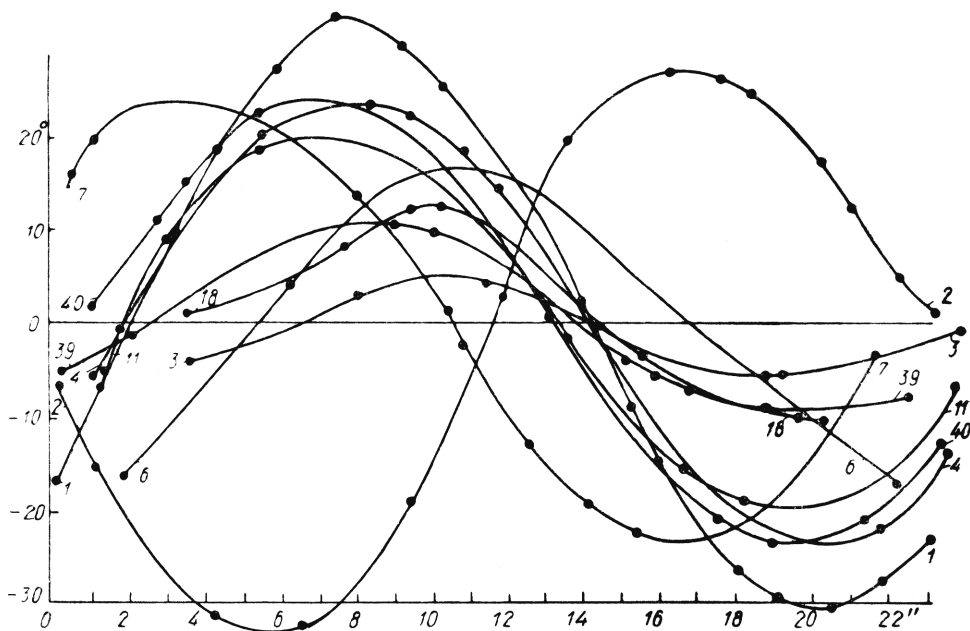


Рис. 2. Точки оппозиции избранных астероидов.

всех избранных астероидов для периода наблюдений 1949—1971 гг. Действительное распределение наблюдаемых геоцентрических мест лучше, чем распределение точек оппозиций, так как планеты при своем движении описывают петли вблизи каждой оппозиции, часто перемещаясь в широких пределах по склонению. Тем не менее оказалось много пробелов, в которых отсутствуют положения планет.

На 19-й астрономической конференции СССР (Москва, июнь 1972 г.) был поставлен вопрос о создании нового списка малых планет для улучшения положений звезд, расположенных в области $\pm 30^\circ$ по склонению.

Чтобы установить пробелы, которые образуют при своем движении 10 избранных малых планет за период с 1974 по 1990 г., были вычислены геоцентрические положения и по ним построены траектории, представленные на рис. 3. За данный промежуток для каждой планеты существовало около 12—13 оппозиций. В начале и конце пути указан номер планеты, а в середине его приведен год оппозиции. Как видно из рис. 3, в рассматриваемой области неба $\pm 30^\circ$ остались места, незаполненные положениями избранных планет. Из-за большого числа астероидов, приведенных в сборнике «Эфемериды малых планет», оказалось довольно трудно выбрать такие планеты, которые своими положениями заполнили бы пробелы на рис. 3.

Список дополнительно выбранных планет с их элементами, которые в ближайшее время должны быть улучшены, приведен в таблице. Для них были вычислены геоцентрические положения с 1974 по 1990 г.

Номер планеты	Название планеты	m_0	g	Эпоха 0 ^h Е.Т.	M_0	Эклиптика и равноденствие 1950.0			φ	μ	a	Литература
						ω	Ω	i				
25	Phocaea	11.7	9.1	34 12 29	289.996	89.430	214.421	21.575	14.808	953.846	2.4008	[12]
148	Gallia	12.2	8.8	56 11 23	173.506	252.018	145.118	25.332	10.728	769.547	2.7702	[13]
389	Industria	12.4	9.3	68 05 24	190.075	266.461	282.214	8.126	3.772	842.168	2.6086	"
480	Hansa	13.2	10.0	51 12 20	77.493	212.076	237.355	21.299	2.597	824.948	2.6448	"
532	Herculina	11.4	8.0	34 12 29	248.324	173.978	108.334	16.338	10.081	768.189	2.7735	[12]
568	Cheruskia	14.1	10.4	57 06 11	138.628	72.293	250.020	18.359	9.553	724.243	2.8846	[13]
582	Olympia	13.6	10.5	57 06 11	82.270	309.758	155.664	29.967	12.952	840.966	2.6111	"
594	Mireille	17.0	13.8	49 09 01	44.707	76.799	155.240	32.641	20.451	831.556	2.6307	"
704	Interamnia	11.6	7.6	62 12 02	269.671	94.052	280.720	17.297	8.902	663.905	3.0568	"
1301	Yvonne	15.3	11.9	43 04 06	31.471	301.565	161.693	33.933	16.045	771.886	2.7646	"

На рис. 4 представлены траектории для вновь выбранных малых планет и 10 ранее избранных. Были выбраны планеты с достаточно хорошими элементами и большим числом наблюдений. Однако траектории планет, как Немауза, Эрос и других не внесли ничего существенного для заполнения имеющихся пробелов. При выборе планеты учитывались также звездные величины астероидов. В настоящее время только немногие обсерватории могут получать положения планет до 20-й звездной величины, большинство же имеют инструменты, для которых доступны астероиды не слабее 12—13-й звездной величины.

Для заполнения пробелов на рис. 3 от +10 до +30° по склонению, от 0 до 4^h и от 20 до 24^h по прямому восхождению выбраны планеты: (25) Phocaea, (389) Industria, (480) Hansa, (568) Cheruskia и (704) Interamnia. Для области неба от —10° до —30° по склонению, от 0^h до 6^h по прямому восхождению используются астероиды: (148) Gallia, (532) Herculina, (582) Olympia, (594) Mireille и (1301) Yvonne. Наиболее равномерно заполнилась область ±25° по склонению и несколько хуже в соседстве с ней. Определение систематических поправок к звездным положениям данной области предполагается провести по наблюдениям выбранных астероидов.

Как видно из рис. 4, в течение 1974 г. особенно важными являются оппозиции следующих планет: 148 (февраль 3), 532 (июль 29), 568 (октябрь 19), 704 (сентябрь 6) и 130 (декабрь 26). В 1975 г. полезными оппозициями обладают планеты 389 (июнь 24), 480 (сентябрь 2), 532 (октябрь 10) и 594 (сентябрь 23). Для остальных лет особо важные оппозиции видны на рис. 4.

Для получения наблюдательного материала, свободного от ошибок и различных промахов в определении положений малых планет, Институт теоретической астрономии АН СССР будет обеспечивать обсерватории ежедневными эфемеридами, которые позволят, на основании полученных значений O—C, контролировать наблюдаемые положения астероидов.

Автор благодарит Н. А. Беляева за предоставление программы по вычислению ежедневных эфемерид малых планет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Newcomb S. — Suppl. Amer. Eph. Washington, 1897.
2. Newcomb S. Compendium of Spherical Astronomy. N.—Y., 1906, 325.
3. Орельская В. И. — Бюл. ИТА, 1959, 7, 5(88).
4. Newcomb S. — Washin. Obs. for 1870. App. 3, 1872.
5. Morgan H. R. — Astron. J., 1931, 41, 969.
6. Kahrstedt A. — Astron. Nachr., 1931, 244, 33.
7. Fricke W., Koppf A. — Verof. Astron. Rech. inst. Heid., 1963, 10.
8. Klock B. L., Scott D. K. — Astron. J., 1970, 75, 7.
9. Yasuda H. — Ann. Tokyo Astron. Obs. Second Series, 1967, 10, 3.
10. Jackson E. S. — Astron. J., 1967, 72, 3.
11. Jackson E. S. — Astron. Pap. Washington, 1968, 20, 1.
12. Pierce D. — Astron. J., 1971, 76, 2.
13. Орельская В. И. Эфемериды малых планет на 1974 год. «Наука», Л., 1973.

Институт теоретической
астрономии АН СССР

Поступила в редколлегию
в марте 1974 г.