

К-14038
П 296421

ВЕСТНИК

ХАРЬКОВСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

№ 160

[B. 12]

ФИЗИКА ЛУНЫ И ПЛАНЕТ.
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ АСТРОМЕТРИЯ

1 руб.



Физика Луны и планет. Фундаментальная астрометрия, 1977, № 160, 1—9

V.N. Karazin Kharkiv National University



00281306

2

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ВЕСТНИК

ХАРЬКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№160

ФИЗИКА ЛУНЫ И ПЛАНЕТ.
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ АСТРОМЕТРИЯ

ХАРЬКОВ
ИЗДАТЕЛЬСТВО ПРИ ХАРЬКОВСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИЗДАТЕЛЬСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ «ВИЩА ШКОЛА»

1977

БИБЛИОТЕКА
УНИВЕРСИТЕТА

УДК 523.2/521.9

Физика Луны и планет. Фундаментальная астрометрия. Вестн. Харьк. ун-та, № 160. Харьков, издательское объединение «Вища школа», 1977. 94+3 с.

Вестник посвящен фотографической и меридианной астрометрии, службе времени, фотометрии Луны, Марса, Сатурна и солнечной вспышки, а также применению метода пространственной фильтрации с помощью когерентной оптики для улучшения качества фотографических изображений планет.

Предназначен для научных работников и специалистов.

Списки лит. в конце статей.

Редакционная коллегия: В. И. Езерский (отв. ред.), К. Н. Кузьменко (отв. секр.), Ю. В. Александров, К. Н. Деркач, А. Т. Чекирда.

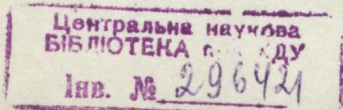
Печатается по решению редакционной коллегии Астрономической обсерватории Харьковского госуниверситета от 2 сентября 1976 г.

Адрес редакционной коллегии: 310022, Харьков, 22, ул. Сумская, 35, Астрономическая обсерватория Харьковского университета, тел. 43-24-28.

Редакция естественнонаучной литературы.

20605—496
В М225(04)—77

© Харьковский государственный университет, 1977.



В. И. Езерский, канд. физ.-мат. наук, *В. И. Мамницкий*,
Н. С. Олифер, *В. А. Псарев*, *А. С. Селиванов*, д-р техн. наук,
М. К. Нараева, канд. техн. наук, *М. И. Бохонов*

О ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ КЛАССИЧЕСКИХ АЛЬБЕДНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА МАРСЕ

В комплект научных приборов, установленных на автоматических станциях «Марс-4» и «Марс-5», входили фототелевизионные устройства (ФТУ), с помощью которых фотографировались отдельные районы поверхности планеты. Они оснащены объективами с фокусными расстояниями 52 и 360 мм, дающими разрешение на поверхности около 1 км и 100 м соответственно. Принцип действия и конструкция фототелевизионных устройств описаны в статье [1].

Некоторые участки поверхности планеты фотографировались ФТУ с короткофокусным объективом «Вега» в трех диапазонах спектра: синем, зеленом и красном. Светофильтры подобраны таким образом, что кривые спектральной реакции ФТУ «Вега» оказались близкими к стандартной фотометрической системе Джонсона и Моргана.

Снимки Марса, переданные с околопланетной орбиты автоматическими станциями «Марс-4» и «Марс-5», дали возможность определить оптические характеристики участков поверхности планеты с высоким разрешением.

Отражательные свойства участков поверхности Марса определяли на основе фотометрических измерений фотографических изображений, полученных с первичной магнитозаписи приема телевизионной передачи бортового негатива. Измерения проводили микрофотометром МФ-4 с размером окошка, охватывающим две—три строки изображения, что соответствует площадке на поверхности планеты размером около $2,5 \times 2,5 \text{ км}^2$, на снимках с короткофокусным объективом. Визуальный контроль позволил исключить части изображения, отягощенные различного рода помехами.

Для осуществления необходимых редукиций в процессе фотометрических исследований фотографических изображений планеты проведено подробное исследование функции светораспределения применявшихся объективов, а также учтено различие спектрального распределения излучения, действующего в канале калибровки и в канале съемки ФТУ, и связанное с ним различие чувствительности фотопленки. Методика обработки измерений изложена в [2]. Полученные значения яркост-

ного фактора пересчитывались на значения нормального альбедо по формуле М. Миннарта:

$$\rho = \rho_0 \cos ki \cos(k-1) \epsilon.$$

Параметр k принимался равным $k=0,8$ при $\alpha=60^\circ$, согласно данным Торпа [3], основанным на статистическом рассмотрении изображений Марса, полученных «Маринером-9».

Контроль полученных значений яркостного фактора проведен путем сопоставления с данными фотоэлектрического сканирова-

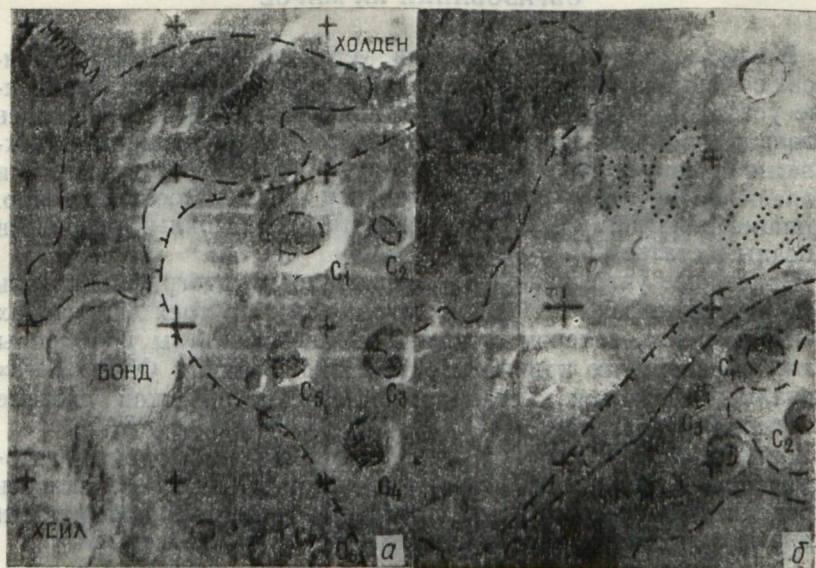


Рис. 1. Снимки исследуемых районов Марса: а — центр кадра на 32° ю. ш., 34° з. д.; б — центр кадра на 36° ю. ш., 74° з. д.; ——— крупные темные альбедные образования; - - - - темные пятна в кратерах: |||| — граница между Эритрейским Морем (море слева) и примыкающим материком по данным наземных наблюдений (а) и между светлой областью Тавмасия и темной областью Босфор (справа) по наземным наблюдениям (б); — облачное образование (б).

ния вдоль трассы полета, выполненного с борта АМС «Марс-5» с помощью прибора ВПМ-1 [4]. Сопоставление показало, что имеет место согласие независимо полученных результатов, которое может служить критерием точности определения значений яркостного фактора.

В настоящей работе рассматриваются предварительные результаты фотометрических исследований двух районов, снятых ФТУ «Вега» через различные светофильтры. Это район Эритрейского моря (рис. 1, а) и Босфор-Тавмасия (рис. 1, б).

Ширина изображенных участков приблизительно равна 500 километрам.

Для Эритрейского Моря проведены измерения снимков в трех фильтрах, для области Босфор—Тавмасия — в красном и зеленом фильтрах. Для обоих участков угол фазы $\alpha = 60 \pm 8^\circ$. На участке Эритрейского Моря профотометрировано около 300 точек, в области Босфор—Тавмасия — около 200.

Статистическое рассмотрение полученной совокупности значений нормального альbedo для измеренных точек показало, что интервал изменения альbedo является наименьшим в синих лучах, увеличивается в зеленых и достигает наибольшего значения в красных лучах, при этом четкой бимодальности в распределении нормального альbedo не было обнаружено. Заметим, что бимодальный характер статистического распределения альbedo отмечен Биндером и Джонсом [5] для длины волны около 1,0—1,2 мкм.

Средние значения и дисперсия альbedo (в процентах) для обоих исследованных районов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Район	Фильтр		
	синий	зеленый	красный
Эритрейское Море	$\bar{\rho}_0 = 3,90$ $\sigma = \pm 0,36$	$\bar{\rho}_0 = 6,80$ $\sigma = \pm 0,49$	$\bar{\rho}_0 = 9,10$ $\sigma = \pm 0,77$
Босфор — Тавмасия	—	$\bar{\rho}_0 = 6,60$ $\sigma = \pm 0,55$	$\bar{\rho}_0 = 12,40$ $\sigma = \pm 1,27$

Увеличение дисперсии $\rho_{ок}$ в области Босфор—Тавмасия отражает различие соотношения светлых и темных деталей в пределах исследованных снимков.

Анализ распределения яркостного фактора по данным наземных наблюдений обнаруживает аналогичную тенденцию — увеличение диапазона изменения яркостного фактора с ростом длины волн. Эта особенность, по всей видимости, объясняется тем, что контраст альбедных образований поверхности больше в красных лучах, чем в синих, что имеет место не только для классических светлых и темных областей, но и для темных образований, выявляемых на снимках высокого разрешения.

Колориметрические характеристики измеренных точек определялись как цветовые избытки, выраженные в шкале звездных величин по формулам

$$CE_{сз} = 2,5 \lg \frac{\rho_z}{\rho_c}; \quad CE_{зк} = 2,5 \lg \frac{\rho_k}{\rho_z}.$$

Диапазон изменения цветовых избытков исследованных участков составляет около $0^m,4$. При этом для участка Эритрейского

Моря $\overline{SE}_{зк} = 0^m,35$, а для области Босфор — Тавмасия $\overline{SE}_{зк} = 0^m,64$, т. е. имеют место цветовые различия в пределах снимка и между снимками. При этом во всех случаях имеет место соотношение $\rho_c < \rho_z < \rho_k$, и различие, следовательно, состоит в том, что некоторые площадки «более красные», а другие — «менее красные». Выявляемые различия цвета по космическим сним-

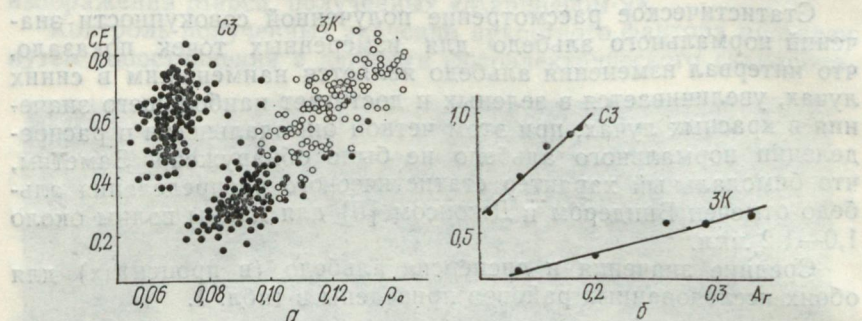


Рис. 2. Соотношение «цветовой избыток — альbedo» по данным АМС «Марс-5» (а) и по данным наземных наблюдений Мак-Корда (б).

кам примерно такой же величины, как и по наземным наблюдениям.

Представляет интерес рассмотрение соотношения цвет — альbedo как зависимости $SE_{сз} \sim \rho_{оз}$ и $SE_{зк} \sim \rho_{ок}$. Такое соотношение дано на рис. 2. Зависимость цветового избытка от нормального альbedo в сине-зеленом (СЗ) и зелено-красном (ЗК) диапазонах спектра для обоих исследованных районов показана на рис. 2, а. Черные кружки относятся к Эритрейскому морю, светлые — к области Босфор — Тавмасия. Сопоставление показало, что в среднем наблюдается увеличение цветового избытка, «покраснение» с увеличением альbedo. Характерно, что зависимость $SE_{зк} \sim \rho_{ок}$ для обоих районов, разделенных значительным расстоянием друг от друга, образует единую последовательность. Данные для более светлой области Босфор — Тавмасия являются как бы продолжением совокупности точек, характеризующих более темный район — Эритрейское Море. Это наводит на мысль о возможном единстве причин, вызывающих «покраснение» с увеличением альbedo как в темных, так и в светлых районах Марса. Аналогичный характер имеет соотношение альbedo — цвет и по наземным данным. На рис. 2, б представлено соотношение «цветовой избыток — геометрическое альbedo», построенное по данным спектрофотометрических наблюдений Мак-Корда [6] для шести участков диска Марса. В сине-зеленой области спектра изменение цветового избытка происходит более круто с изменением альbedo, чем в зелено-красной области спектра, что имеет место как по на-

земным данным, так и по данным фотометрии с высоким разрешением. Впервые Н. П. Барабашов [7] указал на то, что классические темные образования, «моря» Марса, являются красными, как и светлые «материки», но в меньшей степени.

В целом можно заключить, что отражательная способность поверхности Марса в видимой части спектра имеет примерно одинаковый характер при малом (сотни км) и высоком разрешении (км) и характеризуется отсутствием четкой бимодальности в статистическом распределении альbedo и цвета и наличием довольно тесной корреляции альbedo-цвет, имеющей в основном однопараметрический характер. Вместе с тем имеются данные, свидетельствующие в пользу наличия на Марсе двух типов пород различного состава [5], определяющих отражательные свойства альбедных образований. Согласно исследованиям Биндера [5], на различия между материками и морями по альbedo и цвету влияет состав пород. В работе [14] также сделан вывод, что светлые и темные области различаются минералогическим составом, а окрашивающим материалом, ответственным за красный цвет поверхности Марса, возможно, является гетит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Нельзя полностью исключить также возможность влияния на цветовые и альбедные различия между темными и светлыми деталями дифференциации частиц по размерам, а тем самым, возможно, и разделения частиц по составу, в частности, степени их окисленности. Вполне вероятно также, что отмеченные особенности отражательной способности Марса тем или иным путем связаны с интенсивным перемешиванием и переносом вещества в результате ветровой деятельности, определяющее действие которой в возникновении сезонных и вековых изменений альбедных образований показано К. Саганом и другими авторами из анализа снимков «Маринер-9» [8].

Интересно сравнить полученные данные об отражательных свойствах поверхности с геологическими, топографическими и морфологическими особенностями исследованных районов. На снимках исследованных районов (рис. 1) нанесены границы темных классических образований по карте [9], совмещающей классические альбедные образования и топографию, а также некоторые темные пятна на донях кратеров и в межкратерном пространстве. Район Эритрейского Моря является депрессией, средняя высота которой соответствует условному нулевому уровню на карте [10]. Основной формой рельефа здесь являются кратеры различных морфологических классов и степени сохранности. Характер и плотность распределения кратеров позволяет отнести этот район по классификации Мак-Колли [11] к местности средней кратерной плотности, с отдельными участками, типичными для кратерных равнин. Характерной особенностью района является наличие депрессий. Наиболее крупная из них —

Узбой, протянулась на 800 км с севера на юг между кратерами Холден и Хейл.

Фотометрический анализ снимков показывает, что в данном районе Эритрейского Моря имеются характерные альбедные образования — темные пятна различных размеров и очертаний. Небольшие темные пятна на доньях кратеров имеют овальные формы и нечеткие, размытые границы. Имеются темные пятна и в межкратерном пространстве. Особо выделяется большое темное пятно сложной формы, протянувшееся на сотни километров вдоль долины Узбой. Форма и характер расположения большого темного пятна указывает на его взаимосвязь с линейной депрессией. Пятно по альбедо и цвету неоднородно. Наиболее темная часть пятна с альбедо около 7,5% (в красном участке спектра) расположена на дне долины севернее устья Ниргал. Альбедо постепенно увеличивается при переходе от дна долины к краевым частям пятна на сопредельном с долиной участке, где оно составляет 8—8,2%. Цвет пятна также меняется, оно наименее красное в самой темной части, где $CE_{\text{эк}} = 0^m,22$. Наиболее красные площадки в пределах района ($CE_{\text{эк}} = 0^m,63$) встречаются в его части, соответствующей светлой классической области, примыкающей к Эритрейскому Морю. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что большое темное пятно примыкает к участку между Эритрейским Морем и соседней светлой областью. Это говорит о том, что большое темное пятно является относительно стабильным, и, можно полагать, подобные стабильные, больших размеров темные пятна в основном определяют положение и форму классических альбедных образований.

Другой исследованный район, Босфор—Тавмасия является возвышенностью, средняя высота которой около 4—5 км, согласно карте [10]. Для этого района характерны рассеянные кратеры различных морфологических типов, которые распространены по поверхности неравномерно. Вся эта область в среднем светлее, чем Эритрейское Море. В этом районе имеются темные пятна различных размеров. Встречаются пятна как локализованные в кратерах, так и распространяющиеся в межкратерное пространство. Обращает внимание совокупность темных пятен различной формы и интенсивности, располагающихся вдоль полосы, по форме, близкой к классическому темному альбедному образованию, Босфор, который с одной стороны граничит со светлой областью Тавмасия, а с другой — с полутоновой деталью Огигис. Темный участок в верхнем левом углу снимка соответствует, по наблюдениям Н. П. Барабашова [12], участку перемычки, соединяющей Солнечное Озеро и Босфор. Интересно, что темная полоса в районе Босфора расположена на подветренном склоне хребта, который четко проявляется на альтиметрическом разрезе, полученном по измерениям с борта

«Марс-5» [13]. Светлый участок располагается на возвышенности, а Босфор — ниже на несколько километров, у подножья склона. Темная полоса имеет сложную структуру: она включает отдельные крупные и небольшие темные пятна, а также узкие полосы, являющиеся признаком золотой активности в этом районе, и в целом относительно стабильна. Интересно, что на фотокарте [10] различаются некоторые из темных кратерных пятен, выявленных на снимках «Марс-5». Возможно, что темные области являются обнажениями коренных пород, с которых в результате существующей в данном месте атмосферной циркуляции сдувается светлое мелко-дисперсное вещество и переносится в другие районы.

Представляет интерес рассмотрение спектральных контрастов темных пятен, локализованных в доньях кратеров. В табл. 2 приведены значения контраста темных кратерных пятен обоих исследованных районов (в %). Контраст определялся по соотношению

$$k = \frac{\rho_{\text{св}} - \rho_{\text{т}}}{\rho_{\text{св}}},$$

$\rho_{\text{св}}$ — средний яркостный фактор светлой части дна; $\rho_{\text{т}}$ — средний яркостный фактор темной части.

Таблица 2

Район	Кратер	Фильтр		
		синий	зеленый	красный
Эритрейское Море	C_1	0	3	7
	C_3	2	4	6
	C_4	0	3	5
	C_5	2	3	6
Босфор — Тавмасия	C_1	—	18	20
	C_2		4	10
	C_3		6	14

Из табл. 2 видно, что контраст темных пятен больше всего в красных лучах, меньше — в зеленых и стремится к нулю в синих лучах. Величина контраста различна и достигает 20% для темных кратерных пятен в районе Босфор — Тавмасия. Аналогичное уменьшение контраста при переходе от длинноволнового участка спектра к коротковолновому наблюдается и для крупных темных пятен, расположенных в межкратерном пространстве. Согласно [14] это может означать, что при различном минералогическом составе темных и светлых областей содержание гетита и средний радиус частиц в них одинаков.

Г. Фрей [15] с целью изучения природы светлых и темных областей провел сравнение карт деталей альbedo и радиолокационных профилей с телевизионными изображениями, передан-

ными «Маринер-9». В работе поддерживается гипотеза, что на Марсе, как на Земле и Луне, образовались два основных типа корового вещества. Однако отмечается, что окончательного ответа на вопрос о природе светлых и темных деталей альбедо дать нельзя. Для этого недостаточны только сравнения оптических данных с топографией и высотными профилями. Нужны

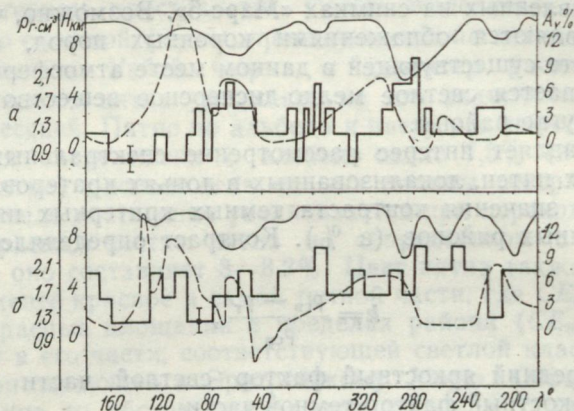


Рис. 3. Профили плотности, отражательной способности и высоты для ареографических широт $\varphi = +10^\circ$ (а) и $\varphi = +22^\circ$ (б).

дополнительные исследования и комплексный анализ всех имеющих в распоряжении данных.

Интересно провести сопоставление оптических характеристик поверхности с результатами определения плотности грунта Марса. Для этой цели нами использована карта плотности грунта Марса [16], составленная Н. Н. Крупенио по данным радиофизических исследований Марса, проведенных вдоль трасс полета межпланетными станциями «Марс-3» и «Марс-5» на длине волны $\lambda_0 = 3,4$ см, и по данным наземных радиолокационных измерений 1965—1971 гг., проведенных на длинах волн $\lambda_0 = 3,8$ и $12,5$ см для широт $\varphi = +22^\circ$, $\varphi = +1^\circ \div +15^\circ$, $\varphi = -14^\circ \div -17^\circ$. При построении карты вычислялись значения диэлектрической проницаемости ϵ , а затем по формуле В. Кротокова $\rho = 2(\epsilon^{1/2} - 1)$ оценивалась плотность грунта. На карте представлены пять градаций плотности грунта: $\rho < 0,9$; $0,9 \div 1,3$; $1,3 \div 1,7$; $1,7 \div 2,1$; $> 2,1$ гсм⁻³.

На рис. 3 даны результаты сопоставления профилей плотности, отражательной способности и высоты для двух ареографических широт: $\varphi = +10^\circ$ и $\varphi = +22^\circ$. По оси абсцисс отложена ареографическая долгота λ . Жирная ломанная линия — плотность по карте Н. Н. Крупенио. Тонкая сплошная линия — фотометрический профиль (альбедо визуальное) по фотометрической

карте Марса, составленной Вокулером [17]. Штриховой линией показаны высоты по топографической карте [18]. Анализ рисунков показывает, что в ряде случаев имеет место антикорреляция профилей плотности и отражательной способности. Максимумы плотности совпадают с минимумами отражательной способности (или близки к ним).

Особенно показателен в этом смысле рис. 3, а. Очень темная область около 285° западной долготы — Большой Сирт является и самой плотной. Другой пример такого соответствия — класси-

ческая темная альбедная деталь Лунное Болото ($\lambda=70^\circ$), которая также отличается повышенной плотностью. Характерно, что эта приподнятая область четко проявляется на гипсометрическом разрезе. С геологической точки зрения она интерпретируется как старая лавовая равнина, похожая на лунные моря [19]. Некоторое увеличение плотности по сравнению с окружающим пространством обнаруживает Цербер ($\lambda=210^\circ$). Напротив, яркий район на Марсе Амазония — Тарсис ($\lambda=90-170^\circ$) характеризуется пониженной плотностью грунта.

Склоны вулканов и пространство вблизи них, как правило, совпадают с минимумами на профиле плотности, что, возможно, связано с отложениями вулканического пепла и пыли в этих местах. Пики на кривой высот около долгот $\lambda=105^\circ$ (рис. 3, а) и $\lambda=135^\circ$ (рис. 3, б) соответствуют пересечению вулканических конусов, а крутое поднятие на долготах $\lambda=200^\circ-220^\circ$ (рис. 3, б) — вулканическому комплексу в районе Элисиум. Однако имеются и исключения из указанной тенденции. Например, повышенная плотность в яркой области на долготе $\lambda=350^\circ$ (рис. 3, б). Аналогичное сопоставление профилей сделано для широты $\varphi=-17^\circ$. Четкой зависимости между плотностью и альбедо для этой широты не обнаружено.

Кроме того, для широт $\varphi=+10^\circ$ и $\varphi=+22^\circ$ проведено сопоставление плотности со средней отражательной способностью, соответствующей участкам с данной плотностью. Для каждого из пяти интервалов плотности находилось среднее значение альбедо по совокупности данных для обеих широт. Аналогичное сопоставление сделано для обоих участков, снятых АМС «Марс-5», которые подвергались детальному фотометрическому исследованию. Данные по двум снимкам также усреднялись. Результаты представлены на рис. 4, по оси абсцисс нанесены

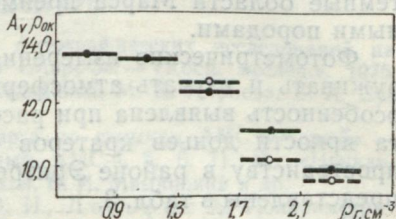


Рис. 4. Зависимость плотность — альбедо:

—●— — результаты сопоставления плотности участков с альбедо по карте Вокулера; —○— — сопоставление плотности участков с альбедо по данным фотометрии снимков, полученных АМС «Марс-5».

интервалы плотности по карте Н. Н. Крупенин, по оси ординат — альbedo визуальное A_v по карте Вокулёра и нормальное альbedo в красном фильтре $\rho_{ок}$ по результатам фотометрии снимков, полученных АМС «Марс-5». Проведенное сопоставление показывает, что имеет место устойчивая тенденция уменьшения отражательной способности с ростом плотности (по крайней мере для исследованных районов). И хотя результаты сопоставления относятся к ограниченной площади поверхности Марса, они все же говорят в пользу предположения о том, что темные области Марса преимущественно сложены более плотными породами.

Фотометрические измерения дают возможность также обнаруживать и изучать атмосферные образования. Так интересная особенность выявлена при рассмотрении спектрального контраста яркости доньев кратеров по отношению к межкратерному пространству в районе Эритрейского Моря (в %). Эти данные представлены в табл. 3.

В этом случае контраст определялся по соотношению

$$k = \frac{\rho_d - \rho_m}{\rho_d},$$

где ρ_d — средний яркостный фактор дна кратера; ρ_m — средний яркостный фактор межкратерного пространства.

Таблица 3

Кратер	Фильтр		
	синий	зеленый	красный
$C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7$	+7 +1	+3 +4	—3 —2

Как видно из табл. 3, донья кратеров C_1 — C_2 несколько темнее межкратерного пространства в красных лучах и светлее в зеленых и синих, в то время как донья кратеров C_6, C_7 в синих лучах относительно межкратерного пространства не выделяются. Это можно объяснить тем, что над кратерами C_1 — C_5 присутствует атмосферная дымка, которая относительно более интенсивна в депрессиях кратеров, что и приводит к увеличению яркости доньев кратеров в синих лучах. Эта дымка, возможно, состоит из кристалликов водяного льда и образовалась в результате радиационного охлаждения при низком положении Солнца над местным горизонтом. Подобные посветления, иногда довольно яркие, часто обнаруживались при наземных наблюдениях на утреннем и вечернем краях диска Марса. Наблюдались светлые пятна и в Эритрейском Море. Еще одно интересное атмосферное образование выявлено на снимке района Босфор — Тавмасия. Здесь вблизи горного хребта обнаружена гряда волнистых обла-

ков. Облака подобного типа возникают обычно над возвышенностями и горными массивами при огибании склонов восходящими атмосферными потоками. Для этого облачного образования контраст яркости составляет всего 3% в красных лучах, увеличивается до 13% в зеленых и, по всей видимости, еще выше в синих лучах, что характерно для марсианских белых облаков.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность В. А. Лихачевой, оказавшей помощь при проведении необходимых расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аппаратура и некоторые результаты фотографических исследований на автоматических станциях «Марс-4» и «Марс-5». — «Косм. исслед.», 1975, т. XIII, вып. 1, с. 60—66. Авт.: А. С. Селиванов, М. К. Нараева, Б. А. Суворов и др.
2. Фотометрия участков поверхности Марса по снимкам АМС «Марс-5». — В кн.: Поверхность Марса (по данным АМС-4, 5, 6, 7). М., «Наука», 1977. Авт.: В. И. Езерский, В. А. Езерская, В. И. Мамницкий и др.
3. Ксанфомалити Л. В., Мороз В. И., Дольфюс А. Поляриметрический эксперимент на борту «Марс-5». — «Косм. исслед.», 1975, т. XIII, вып. 1, с. 92.
4. Thorpe T. E. Mariner 9 photometric observation of Mars from November 1971 through March 1972. — «Icarus», 1973, vol. 20, p. 482—489.
5. Binder A. B., Jones J. C. Spectrophotometric studies of the photometric function, composition, and distribution of the surface materials of Mars. — «IGR», 1972, vol. 74, N 17, p. 3005.
6. Mc Cord, Thomas B., Westphal James A. Mars: narrowband photometry, from 0.3 to 2.5 microns, of surface regions during the 1969 apparition. — «Astrophys. J.», 1971, vol. 168, N 1, part I, p. 141—153.
7. Барабашов Н. П. Некоторые результаты фотометрической обработки снимков Марса, полученных в 1933 и 1939 годах через светофильтры. — Циркуляр астроном. обсерват. Харьк. ун-та, 1951, № 8, с. 3—12.
8. Variable Feature on Mars 2, Mariner 9. Global Results. — «IGR», 1973, vol. 78, N 20, p. 4163—4196. Авт.: C. Sagan, J. Veverka, P. Foxe a.
9. Martian albedo and Topography. — «Mercury», 1973, vol. 2, N 6, p. 10—11.
10. Atlas of Mars. Semicontrolled photomosaic sheets MC-19, MC-26. US Geological Survey, 1973.
11. Preliminary Mariner 9 Report on the Geology of Mars. — «Icarus», 1972, vol. 17, p. 289—327. Авт.: Mc Cauley, M. H. Carr, J. A. Cutts e. a.
12. Барабашов Н. П. О некоторых изменениях на Марсе по наблюдениям в 1920, 1924, 1926, 1930, 1931, 1935, 1939, 1941 и 1950 годах. — Циркуляр астроном. обсерват. Харьк. ун-та, 1951, № 7, с. 1—12.
13. Ксанфомалити Л. В., Кунашев Б. С., Мороз В. И. Давление и высоты по интенсивности полос CO₂ по измерениям с борта АМС «Марс-5» (предварительные результаты). — «Косм. исслед.», 1975, т. XIII, вып. 1, с. 84—86.
14. Мороз В. И. О структуре марсианского грунта по оптическим и инфракрасным наблюдениям. — «Косм. исслед.», 1976, т. XIV, вып. 1, с. 85—96.
15. Herbert Frey. Surface Features on Mars: Ground—Based albedo and Radar Compared With Mariner 9 Topography. — «JGR», 1974, vol. 79, N 26, p. 3907—3916.
16. Крупенио Н. Н. Карта диэлектрической проницаемости вещества поверхностного слоя Марса. Препринт ИКИ, № 275 — 1976.
17. Вокулёр Ж. Усредненная фотометрическая карта Марса в перигелии. — В кн.: Планеты и спутники. Под ред. А. Дольфюса, М., «Мир», 1974, с. 344—346.

18. Topographic map of Mars. M25M 3RMC. Prepared on behalf of the Viking Project Office under NASA contract L-55, 232, the Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology under contract WO-8122, and the Planetary Programs office under NASA contract W-13, 709.
19. Carr M. H., Masursky H., R. S. Saunders, A. Generalized Geologic Map of Mars. — «JGR», 1973, vol. 78, N 20, p. 4031—4036.

УДК 523.3

В. И. Езерский, канд. физ.-мат. наук, *Н. С. Олифер*,
Ю. Г. Шкуратов

КОЛОРИМЕТРИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА УЧАСТКОВ ВИДИМОГО ПОЛУШАРИЯ ЛУНЫ

В настоящее время изучение физической природы Луны возможно лишь при глубоком сочетании дистанционных измерений и детальных исследований на поверхности. Изучение глобального распределения цветовых различий на Луне позволяет формулировать и решать многие задачи селенофизики.

Уитекер [1] применил простой метод, с помощью которого удается получить глобальное распределение колор-ин-

декса $C = \frac{\rho(\lambda_1)}{\rho(\lambda_2)}$ по лунной поверхности. Хотя этот метод об-

ладает рядом недостатков, он в комбинации со спектрофотометрическими данными позволяет получить достаточно надежные количественные оценки цветовых различий.

В данной работе изучаются фотокарты цвета двух участков видимого полушария Луны.

Фотокарты цвета участков лунной поверхности — Моря Дождей и Моря Ясности, Моря Спокойствия, Моря Кризисов составлены методом Уитекера по фотографическим изображениям, полученным в десятиметровом касегреновском фокусе телескопа АЗТ-8 АО ХГУ. Фотографическим изображениям соответствуют эффективные длины волн 0,48 и 0,69 м. Снимки получены при угле фазы $\alpha = -15^\circ$. Критерием качества синтезированных изображений служил разброс точек калибровочных кривых, построенных для этих изображений по данным Мак-Корда [2]. Измерения Мак-Корда проведены фотоэлектрическим методом со светофильтрами. Точность измерений составляет 2—3%. Выбраны измерения Мак-Корда, выполненные при фазах, близких к $\alpha = -15^\circ$.

В результате отобраны синтезированные изображения по одному на каждый участок, разброс точек калибровочных кривых которых не превышал $\pm 4\%$. На рис. 1 приведена калибровочная кривая для фотокарты участка Моря Ясности, Моря Спокойствия, Моря Кризисов. Эта же кривая служит для стандартизации карт.

Синтезированные изображения цветовых различий уже на этом этапе обработки могут быть использованы для решения некоторых задач селенофизики [3]. Заметим также, что сам

Уитекер не производил дальнейшей обработки этих изображений, однако сумел дать им многостороннюю интерпретацию [1]. Дальнейшая обработка синтезированных изображений должна производиться с учетом специфики тех задач, которые необходимо решать с его использованием. Так, например, для исследования колор-индекса по лунной поверхности и получения его корреляции с другими характеристиками необходимы карты с большим числом градаций картируемого параметра. Примером таких карт может служить карта цвета [4], у которой в качестве общеселенографической основы использована сетка селенографических координат. Такой способ представления градаций картируемого параметра обладает рядом недостатков, которые отмечались в [5]. Более удобной и информативной основой является исходное фотографическое изображение. В этом случае области с определенным

интервалом изменения колор-индекса привязываются непосредственно к деталям изображения Луны.

Для изучения особенностей отдельных цветовых регионов представляет интерес выделение их границ. Карты с небольшим числом градаций колор-индекса, которые выделяют границы некоторых цветовых регионов могут оказаться полезными для геолого-морфологических сопоставлений. В качестве примера на рис. 2, а представлена фотокарта цвета Моря Дождей, на которой нанесена белым цветом система границ трех цветовых интервалов $C < 1,36$; $1,36 < C < 1,42$ и $C > 1,42$. Кроме того, на эту же карту нанесены черным цветом контуры эквиректных областей, соответствующих значению яркостного фактора $\rho < 12\%$; $12\% < \rho < 15\%$ и $\rho > 15\%$. Хотя на карте представлены только по три градации каждого параметра, информативная нагрузка карт очень высока. Для удобства чтения фотокарты (рис. 2, а) на рис. 2, б приведено синтезированное изображение того же участка, в том же масштабе, на которое нанесены границы тех же цветовых областей, что и на фотокарте рис. 2, а. В этом случае синтезированное изображение осуществляет полутоновую маркировку границ выделенных интервалов цвета. На рис. 2, б светлым тонам соответствуют «синие» области, а самым темным — самые «красные». Промежуточный серый тон соот-

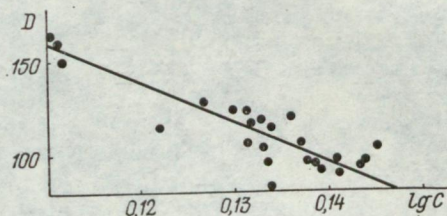


Рис. 1. Калибровочная кривая для синтезированного изображения участка Моря Ясности, Моря Спокойствия, Моря Кризисов (по оси ординат отложен цвет деталей по данным Мак-Корда, по оси абсцисс — нормированная фотографическая плотность тех же деталей на синтезированном изображении).

ветствует промежуточному значению цвета. Дополнением к фотокартам рис. 2, а, б служит фотокарта, приведенная на рис. 2, в. В этом случае границы тех интервалов яркостного фактора, которые представлены на рис. 2, а, нанесены на синтезированное изображение. Приведенные на рис. 2, а, б, в фотокарты не

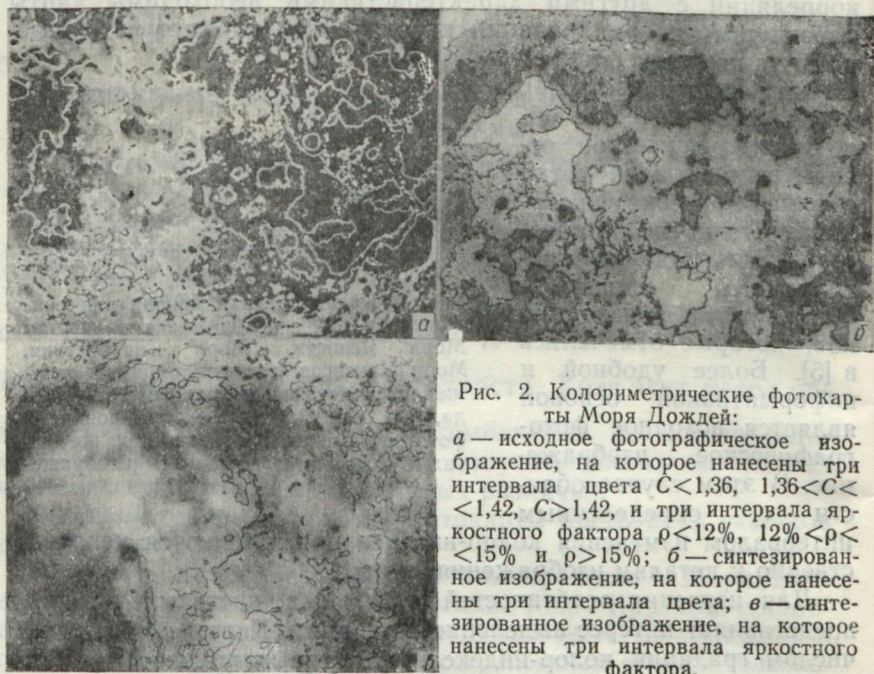


Рис. 2. Колориметрические фотокарты Моря Дождей:

а — исходное фотографическое изображение, на которое нанесены три интервала цвета $C < 1,36$, $1,36 < C < 1,42$, $C > 1,42$, и три интервала яркостного фактора $\rho < 12\%$, $12\% < \rho < 15\%$ и $\rho > 15\%$; б — синтезированное изображение, на которое нанесены три интервала цвета; в — синтезированное изображение, на которое нанесены три интервала яркостного фактора.

являются окончательными вариантами и требуют факторной и структурной генерализации. Однако по этим фотокартам можно делать качественные и количественные выводы о связи цвета и альбедо. Так, например, из рисунков видно, что «синие» области в Море Дождей хорошо коррелируют с альбедо, в то время как «красная» граница пересекает береговую зону и охватывает области моря и материка.

Как уже отмечалось, для решения некоторых задач необходимы карты с большим числом градаций картируемого параметра. Такие карты могут быть заменены либо серией карт, аналогичных представленным на рис. 2, а, б, в, либо цифровыми картами. В случае цифровых карт удобно цифровую нагрузку также наносить на фотооснову. Цифровая информация о распределении колор-индекса двух участков Луны, Моря Дождей и Моря Ясности, Моря Спокойствия, Моря Кризисов получена в результате обработки синтезированного изображения на микрофотометре МФ-4. Синтезированное изображение сканировали

на микрофотометре МФ-4 с шагом и окошком, соответствующими в центре лунного диска расстояния 24 км и площади $4,5 \times 4,5$ км. Полученные цифровые фотокарты цвета использованы для построения статистического распределения цветовых различий в Море Кризисов (а), Море Ясности (б), Море Дождей (в) и Море Спокойствия (г). Данные по статистическому распределению представлены на рис. 3.

Бимодальность статистического распределения цвета в Море Кризисов, вероятно, связана с процессом транспортировки вещества. В самом деле, северная часть этого моря, как это видно

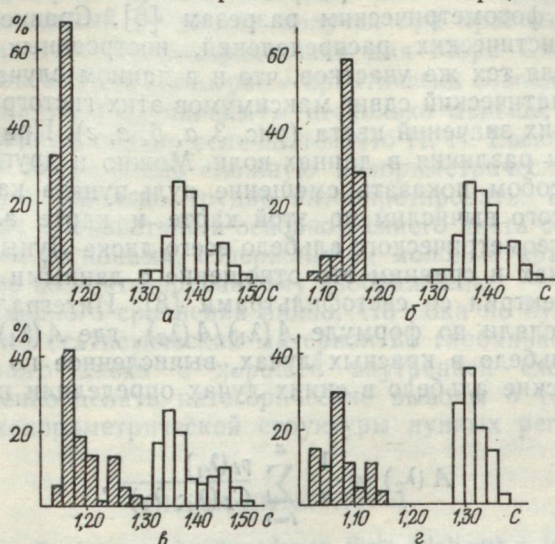


Рис. 3. Статистические кривые по данным карты цвета [9] (штриховка) и статистические кривые по нашим данным.

из фотографий, пересечена лучами кратера Прокл. На синтезированном изображении северная часть Моря Кризисов краснее, чем южная. Это, очевидно, и подтверждается статистическим распределением, приведенным на рис. 3, а. Для Моря Ясности гистограмма статистического распределения (рис. 3, б) асимметрична, причем преобладает вещество с «красным» цветом, что хорошо согласуется с данными многих авторов об избытке красного цвета в центральной части этого моря. В Море Дождей преобладает вещество двух цветов (рис. 3, в). Обращаясь к синтезированному изображению, приведенному на рис. 2, б, в, можно прийти к тому же выводу. Море Спокойствия, в отличие от Моря Ясности, содержит больше «синего» вещества. Этот факт подтверждается асимметрией гистограммы (рис. 3, г). Несмотря на то что рассматриваемые в настоящей работе фотокарты цвета построены по методу Уитекера, который использовали и при

построении карты цвета [4], имеет смысл провести их сопоставление. Во-первых, потому что, как указывалось выше, метод Уитекера может приводить к некоторым ошибкам и, кроме того, калибровку и стандартизацию карт осуществляли различными методами по различным данным. В нашем случае абсолютную привязку проводили по кривой, построенной с учетом фотоэлектрических данных Мак Корда по нескольким десяткам точек (рис. 1). В случае карты цвета [4] стандартизацию производили лишь по одной точке, для которой Юнкиным получены спектрофотометрические данные при различных углах фазы, а калибровку — по фотометрическим разрезам [6]. Сравнение гистограмм статистических распределений, построенных по карте цвета [4] для тех же участков, что и в данном случае, показывает систематический сдвиг максимумов этих гистограмм в сторону меньших значений цвета (рис. 3, *а, б, в, г*). При сравнении карт учтены различия в длинах волн. Можно и другим независимым способом показать смещение нуль-пункта карты цвета [4]. Для этого вычислим по этой карте и карте альбеда [7] отношения геометрического альбеда всего диска Луны в красных и синих лучах и сравним это отношение с данными интегральной фотоэлектрики со светофильтрами [8]. Интегральный цвет Луны вычисляли по формуле $A(\lambda_1)/A(\lambda_2)$, где $A(\lambda_1)$ — геометрическое альbedo в красных лучах, вычисленное по карте [7]. Геометрические альbedo в синих лучах определяли по формуле

$$A(\lambda_2) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\rho_i(\lambda_1)}{C_i(\lambda_1; \lambda_2)},$$

где $\rho_i(\lambda_1)$ — альbedo i -й точки в красных лучах, $C_i(\lambda_1; \lambda_2)$ — цвет i -й точки. В результате получено, что интегральный цвет по Лейну и по Ирвину равен 1,60, а по карте цвета [4] — 1,23. Сдвиг нуль-пункта карты [4], вычисленный по интегральным данным, приблизительно соответствует смещению нуль-пункта по статистическим кривым и равен примерно 25%. Смещение нульпункта шкалы карты цвета может быть вызвано проведением стандартизации по данным Юнкина [10] лишь по одной опорной детали, для которой показатель цвета как отмечено и в работе [9], оказался меньше, примерно на 30%, чем по результатам Маккорда. Различие результатов Юнкина и Маккорда, вероятно, связаны с различием данных о распределении энергии в спектре Солнца, использованных этими авторами.

Кроме определения общего смещения нуль-пункта карт представляет интерес сравнить формы гистограмм статистических распределений. Например, из рис. 3, *в* видно, что формы обеих гистограмм, построенных для Моря Дождя, примерно совпадают. В обоих случаях есть бимодальность распределения, харак-

тер асимметрии почти одинаков, однако интервал цветовых различий по нашим данным более широк, что сказывается на соотношении величин максимумов обеих кривых. По карте [4] Море Ясности расцвечено слабо. Однако формы гистограмм и в этом случае близкие. Для Моря Кризисов (рис. 3, а) различия максимумов также велики и формы гистограмм совершенно не соответствуют друг другу. По данным Н. Н. Евсюкова, Море Кризисов практически монохроматично, в то время как по нашим картам оно обладает сложной колориметрической структурой (бимодальность), которая была интерпретирована выше. Неожиданный результат получен при сравнении гистограмм статистического распределения для Моря Спокойствия. Величины максимумов гистограмм практически совпадают, хотя, по данным карты [4], максимум несколько меньше, при этом формы гистограмм сильно отличаются. По Н. Н. Евсюкову Море Спокойствия имеет очень сложную колориметрическую структуру, которую довольно трудно интерпретировать. По нашим данным, Море Спокойствия в основном синего цвета со слабыми красноватыми регионами, содержащими молодые кратеры. Это хорошо видно по синтезированному изображению.

Из приведенного сравнения видно, что пока не будет накоплен обширный статистический материал по глобальной колориметрии лунного диска с хорошей внутренней сходимостью, преждевременно делать категорические выводы о тонких особенностях колориметрической структуры лунных регионов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Whitaker E., Lunar color Boundaries their relationship to topographic features: a preliminary survey *Astron. J.* v. 76, N 5, 1971, p. 221.
2. Mc Cord T. B., Charette M. P. Lunar Spectral types. — *J. Geophys. Res.*, vol. 77, 1972, p. 1349.
3. Стром Р. Гряды, кальциевые гребни и вулканические кольцевые комплексы лунных морей. В кн.: Луна. Под ред. С. Ранкорна и Г. Юри. М., «Мир», 1975, с. 93.
4. Евсюков Н. Н. Карта цвета видимого полушария Луны. Киев, «Наукова думка», 1973.
5. Бурба Г. А. Рецензия. Серия карт оптических характеристик лунной поверхности. — *«Астроном. журн.»*, 1975, т. 52, № 1, с. 210.
6. Евсюков Н. Н. Методы составления карт оптических характеристик лунной поверхности. — *«Астроном. вестн.»*, 1975, вып. 9, № 1, с. 87.
7. Евсюков Н. Н. Карта альbedo видимого полушария Луны. Киев, «Наукова думка», 1973.
8. Lane A. P., Irvin W. M. Monochromatic phase curves and albedos for lunar disk. — *«Astron. J.»*, vol. 78, N 3, 1973, p. 267.
9. Евсюков Н. Н. О колориметрическом представлении лунных спектрофотометрических данных. — *«Вестн. Харьк. ун-та. Астрономия»*, 1975, вып. 10, с. 61.
10. Younkin R. L. Optical reflectance of local Areas, *«Astron. J.»*, vol. 75, N 17, 1970. 131 p.

Ю. В. Александров, канд. физ.-мат. наук, В. П. Тишковец

О ФОТОГРАФИЧЕСКОМ МЕТОДЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНДИКАТРИС РАССЕЯНИЯ

Интерпретация фотометрических и поляриметрических наблюдений Земли и других планет, имеющих атмосферы, требует знания оптических свойств аэрозолей. Коэффициенты рассеяния и поглощения, индикатрисы рассеяния, степень поляризации рассчитываются на основе теории Ми, т. е. предполагается, что аэрозоли являются однородными сферами. В то же время реальные твердые аэрозоли — пылевые частицы, кристаллы, образующие конденсационные облака в высоких слоях планетных атмосфер, могут иметь форму и строение, весьма отличающиеся от сферичности и однородности. Теоретическому исследованию поддаются лишь простейшие геометрические формы — цилиндры, диски, эллипсоиды. Эти исследования показали, что оптические свойства среды из таких частиц, особенно поляризационные, могут отличаться от свойств сферических частиц такого же объема. Поэтому учет возможного влияния несферичности аэрозолей, особенно в тех случаях, когда возможна их неслучайная ориентация, представляет весьма важную задачу.

Для детального изучения оптических свойств несферических малых частиц тех или иных типов в основном используется экспериментальный метод [1, 2]. Применение для этих целей таких мощных источников света, как лазер, дает возможность резко снизить число рассеивающих центров по сравнению с обычными маломощными источниками света. Последнее обстоятельство позволяет исключить влияние кооперативных эффектов и практически очень важно при отборе частиц нужных размеров и форм.

Покажем, что для измерения индикатрис рассеяния света частицами для достаточно больших углов рассеяния γ может быть применен фотографический метод.

Рассмотрим поле в точке (ξ, η) плоскости наблюдения $[\xi, \eta]$, созданное рассеивающими центрами, находящимися в плоскости $[x, y]$. Пусть поле в плоскости $[x, y]$, сформированное рассеивающими центрами

$$E(x, y) = A(x, y) \exp[i\varphi(x, y)], \quad (1)$$

где $E(x, y)$ — одна из компонент электромагнитного поля. Согласно принципу Гюйгенса — Френеля, поле в точке (ξ, η) определяется интегралом Кирхгофа [3]:

$$E(\xi, \eta) = \iint_S E(x, y) \frac{\exp[ikR]}{R} f(\beta) dx dy, \quad (2)$$

где R — расстояние между точками (x, y) и (ξ, η) ; $f(\beta)$ — коэффициент наклона, описывающий изменение амплитуды вторичных волн в зависимости от направления; S — поверхность, занимаемая рассеивающими центрами; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$; λ — длина волны.

Так как индикатриса рассеяния представляет собой величину $E(\xi, \eta)E^*(\xi, \eta)$ при условии, что источник света и точка наблюдения находятся на бесконечно большом расстоянии от рассеивающих центров, то интеграл (2) можно привести к виду

$$E(\xi, \eta) = C \iint_S E(x, y) \exp[-ik(px + qy)] dx dy, \quad (3)$$

где C — некоторая комплексная постоянная.

Выражение (3) представляет собой преобразования Фурье функции $E(x, y)$ [p, q — пространственные частоты], которое легко реализуется в когерентной оптике [4]. На рисунке изображена схема установки, выполняющей преобразование (3). В плоскости $[\xi, \eta]$ такой установки с точностью до квадратичного фазового множителя получается спектр Фурье поля, формирующегося в плоскости $[x, y]$. Приемник излучения, находящийся в спектральной плоскости, фиксирует величину $E(\xi, \eta)E^*(\xi, \eta)$. Квадрат спектра характеризуется [4] наличием постоянной компоненты, медленно меняющейся составляющей с быстрыми флуктуациями, достигающими 100% величины медленно меняющейся компоненты, которая и является в данном случае искомой индикатрисой рассеяния. Для ее измерения необходимо устранить указанные флуктуации, т. е. произвести сглаживание спектра. Такое сглаживание можно осуществить как в спектральной плоскости усреднением внутри конечного спектрального окна (сглаживание по частоте), так и суммированием значений квадрата спектра от отдельных реализаций процесса (сглаживание по ансамблю). В первом случае более удобным является фотоэлектрический метод измерений, во втором — предпочтение следует отдать фотографическому методу.

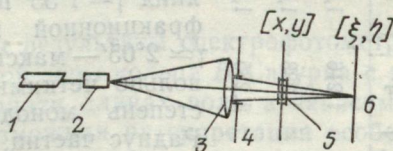


Схема установки, выполняющей преобразование (3):

1 — лазер Л1-38 ($\lambda = 0,63 \mu$); 2 — расширитель пучка; 3 — линза ($F = 157,5 \text{ см}$); 4 — диафрагма; 5 — кювета ($20 \times 20 \times 1,040 \text{ мм}$); 6 —

Последним методом была измерена индикатриса рассеяния ликоподия, частицы которого по форме мало отличаются от

Объект	γ												
	30'	1°	2°	4°	6°	8°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
Ликоподий	3,839	3,443	2,228	1,216	1,056	0,963	0,904	0,716	0,628	0,506	0,394	0,288	0,179
$n=1,5$	—	3,236	2,336	1,333	1,046	0,895	0,818	0,711	0,628	0,545	0,460	0,262	0,045
$n=1,33$	—	3,108	2,216	1,285	1,053	0,936	0,870	0,746	0,628	0,493	0,358	0,067	1,748

сферы и средние размеры которых равны примерно 22μ. Кювета заполнялась этиловым спиртом (показатель преломления $m_0=1,36$) со взвешенными в нем частицами ликоподия. Так как взвешенные в жидкости частицы двигались, фотопластинка суммировала значения квадрата спектра от отдельных реализаций за время экспозиции. Минимальной экспозиции (20 сек) оказалось вполне достаточно для нужного сглаживания флуктуирующей компоненты.

Кювета с частицами последовательно помещалась на расстоянии 150, 80, 45, 20 см от фотопластинки, что позволяло получать различные по углам рассеяния γ участки индикатрисы. Характеристическая кривая фотоматериала определялась по дифракционной картине от квадратного отверстия с известным распределением интенсивности. Для определения влияния дифракции от оптических деталей на одну и ту же пластинку с одинаковой экспозицией была впечатана индикатриса рассеяния ликоподия и картина дифракции от линзы и той же кюветы. Измерения производились на микрофотометре ИФО-451. Оказалось, что при измерении индикатрисы для углов рассеяния $\gamma \geq 30^\circ$ рассеянием на линзе и кювете можно пренебречь. При углах рассеяния $\gamma \approx 1^\circ 35'$ получился первый минимум дифракционной картины от ликоподия, при $\gamma \approx 2^\circ 05'$ — максимум. Кольца оказались довольно четкими, что указывает на высокую степень монодисперсности системы частиц. Радиус частиц, определенный по ним, равен 10—11μ. Таким образом, волновой параметр

$$\rho = \frac{2\pi am_0}{\lambda} = 140-150.$$

В таблице даны в логарифмической шкале полученная индикатриса рассеяния ликоподия и рассчитанные в работе [5] индикатрисы рассеяния при $n=1,33$ и 1,5 для $\rho=150$ и дисперсии натурального логарифмического размера частиц $\sigma^2=0,01$. Для сопоставления все индикатрисы приведены к значению индикатрисы с $n=1,33$ при $\gamma=20^\circ$.

Анализ таблицы показывает, что измерен-

ная индикатриса рассеяния удовлетворительно согласуется с индикатрисой рассеяния на сферической частице с радиусом $\approx 11\mu$ и относительным показателем преломления $n=1,3 \div 1,5$.

Таким образом, описанная методика может быть применена для определения индикатрис рассеяния света реальными частицами.

Авторы благодарят В. Н. Дудинова и В. А. Кришталя за полезные дискуссии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Любовцева Ю. С., Моисеенко Г. С., Плахина И. Н. Влияние ориентации несферических рассеивающих частиц на матрицы рассеяния света средой. — «Изв. АН СССР», ФАО, 12, 1976, № 5, с. 506—513.
2. Измерение матрицы рассеяния света гидрозолею. — «Изв. АН СССР», ФАО, 6, 1970, № 12, с. 1255—1261. Авт.: Г. В. Розенберг, Ю. С. Любовцева, Е. А. Кадышев и др.
3. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М., «Наука», 1973. 719 с.
4. Гудмен Дж. Введение в Фурье-оптику. М., «Мир», 1973. 364 с.
5. Яновичский Э. Г., Думанский З. О. Таблицы по рассеянию света полидисперсной системой сферических частиц. Киев, «Наукова думка», 1972. 124 с.

УДК 523.45

А. М. Грецкий

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ КОЛЕЦ САТУРНА (1970—1972 гг.). ЧАСТЬ ВТОРАЯ

В работе [1] приведены результаты спектрофотометрического сравнения наиболее яркой зоны кольца В Сатурна с центром диска планеты в восемнадцати длинах волн в зависимости от угла фазы и проведена возможная интерпретация особенностей полученных кривых. Напомним, что фазовые кривые обнаружили: а) зависимость величины опозиционного эффекта от длины волны; б) наличие слабого вторичного максимума интенсивности света, рассеянного кольцом В вблизи угла фазы 4° . В координатах «звездная величина — угол фазы» этот максимум выглядит как депрессия на фазовой кривой.

Интерпретация особенностей фазовых кривых может основываться на предположении о наличии в материи кольца относительно крупных сферических частиц с существенным показателем преломления, близким к 1,80. Подобное предположение приводит к возникновению таких оптических явлений, как радуга с главным максимумом вблизи угла фазы $\alpha \approx 4^\circ$ и глории вблизи $\alpha = 0^\circ$. Дана также оценка содержания подобных прозрачных

частиц в материи кольца и указано, что для согласия с наблюдаемой величиной оппозиционного эффекта достаточно, чтобы их суммарное сечение составляло весьма незначительную долю, приблизительно 1% от суммарного сечения всех прочих частиц кольца. Однако на детальном сравнении предлагаемой модели формирования фазовой кривой кольца В Сатурна за счет эффектов внутреннего отражения мы не остановились, ограничившись оценкой распределения интенсивности в радуге для монодисперсной среды и в глории при наличии дисперсии частиц по размерам.

В настоящей работе приведены результаты более детального сравнения предлагаемой модели с наблюдениями.

Задачу можно сформулировать следующим образом: сколь значительна может быть роль крупных сферических частиц с показателем преломления $m \approx 1,80$ в формировании закона отражения света кольцом В Сатурна в зависимости от угла фазы? При этом рассмотрим крайний случай и выясним, не может ли при определенных условиях фазовая кривая кольца быть сформирована исключительно за счет эффектов внутреннего отражения света и как много соответствующих частиц для этого потребуется.

Отправным пунктом дальнейших рассуждений послужит следующий факт. Свет, рассеянный относительно крупными сферическими частицами с показателем преломления близким к 1,80, достигает значительной концентрации и обладает особенностями индикатрисы рассеяния лишь в области углов фазы, меньших 6° (имеется ввиду полусфера, обращенная к наблюдателю). Поэтому будем считать, что при углах фазы, больших 6° , наблюдаемая яркость кольца обусловлена некими достаточно большими (радиус $a > \lambda \cdot 10^4$) частицами произвольной формы с произвольными показателями преломления и поглощения. Этот класс частиц для отличия от прозрачных частиц с $m \approx 1,80$ назовем «непрозрачными» (хотя последнее необязательно). Для простоты сравнения яркости глории и радуги с яркостью света, рассеянного всей системой «непрозрачных частиц», положим также, что последняя остается постоянной в диапазоне углов фазы, доступном для наблюдения Сатурна с Земли. Для этого необходимо соблюдение по крайней мере двух условий: постоянство фотометрических свойств поверхностного слоя непрозрачных частиц в диапазоне $\alpha = 0-6^\circ$ и отсутствие взаимного затенения между частицами. Первое условие примем за постулат: достаточно близко этому случаю соответствует белый ортотропный шар. Что касается второго условия, то оно будет иметь место, если объемная плотность кольца $D = \frac{vN}{V} < 10^{-5}$ [2]. Здесь V — объем кольца, v — средний объем одной частицы, N — число частиц.

Подобное значение объемной плотности приводит к расстоянию между частицами, равному приблизительно 75 их радиусам. При таких расстояниях интенсивность света, рассеянного поверхностью одной непрозрачной частицы, достигает соседней, уменьшившись, как минимум, на три порядка, что для системы частиц сантиметрового размера делает ненужным учет многократного рассеяния за счет отражения в случае, если каждая из частиц полностью освещается прямыми лучами Солнца. Суммарное сечение $S_{\text{непр}}$ подобных частиц можно определить на основании имеющихся оценок оптической толщины кольца В. Согласно [2], для нормального падения света на наиболее яркую зону кольца В эта величина равна примерно 1, отсюда для угла возвышения наблюдателя над плоскостью колец, равного 25° , получим коэффициент пропускания $p=0,094$. В связи с тем, что сечение рассеяния для больших частиц с учетом дифракции равно двум геометрическим сечениям, отношение суммарного сечения непрозрачных частиц к видимой площади кольца S_k равно $S_{\text{непр}}/S_k=0,453$. Сравнение измерений отношения яркости наиболее яркой зоны кольца к центру диска Сатурна [1] с измерениями коэффициента яркости центра диска, выполненными почти в то же время Л. А. Бугаенко [3, 4], позволяет получить оценки спектрального хода яркостного фактора p . В частности, для угла фазы $\alpha=6^\circ$, 360 величина p получается равной 0,284 для $\lambda=4180 \text{ \AA}$ и 0,446 для $\lambda=6375 \text{ \AA}$. Пренебрежение изменением яркости непрозрачных частиц в диапазоне фазовых углов $0-6^\circ$ дает возможность на основании оценок яркостного фактора кольца, отношения суммарного сечения частиц к видимой площади получить оценку геометрического альбеда A_g средней непрозрачной частицы. Согласно представленным выше данным, несложно получить $A_g=0,627$ для $4180 \text{ \AA}$ и $A_g=0,985$ для $\lambda=6375 \text{ \AA}$.

Большие значения геометрического альбеда указывают на вытянутость индикатрисы рассеяния по направлению к наблюдателю и соизмеримы с геометрическими альбедами некоторых спутников Сатурна [5]. Однако, нас интересуют оценки самих значений, а не причины, приводящие к ним.

В предыдущей работе при рассмотрении глории и радуги широко использована такая характеристика эффективности рассеяния света в заданном направлении, как коэффициент усиления по отношению к изотропному рассеивателю G . Вероятно, имеет смысл пользоваться величиной G и дальше. При этом необходимо связать коэффициент усиления с системой характеристик отражательной способности тела, применяемой в физике планет. Наиболее просто величина G связывается с геометрическим альбедами A_g . Действительно, согласно [6],

$$G = \frac{I(\alpha; r) 4r^2}{I_0 a^2}, \quad (1)$$

где $I(\alpha, r)$ — интенсивность света, рассеянного в направлении, характеризуемом углом фазы α на расстоянии r ; I_0 — интенсивность падающего излучения; a — радиус частицы.

С другой стороны, согласно [7],

$$A_r = \frac{E_p}{E_c} \frac{r^2}{a^2}. \quad (2)$$

Здесь E_p — освещенность от небесного тела в полной фазе в точке наблюдения; E_c — освещенность этого тела Солнцем.

Из сравнения двух последних выражений видно, что для $\alpha=0^\circ$, $G=4A_r$.

Отсюда, в частности, следует, что геометрическое альbedo прозрачной сферической частицы с $m=1,80$ может на два—три порядка превышать аналогичную величину для ортотропного шара [1].

Итак, для построения модели фазовой кривой кольца B , представляющей собой относительное изменение яркости с углом фазы, не имеет значения, какой именно системой единиц пользоваться, поэтому в дальнейшем все величины выражены в коэффициентах усиления G . Для начала приведенные выше геометрические альbedo для непрозрачных частиц выразим в соответствующих величинах, т. е. для $\lambda=4180 \text{ \AA}$ $G=2,508$, а для $\lambda=6375 \text{ \AA}$ $G=3,940$. Напомним, что для белого ортотропного шара $G=2,667$ [6].

Теперь, учитывая приведенные допущения, можно представить суммарный коэффициент усиления G_Σ , описывающий ход фазовой кривой, в виде

$$G_\Sigma(\alpha) = \frac{S_{\text{непр}}}{S_{\text{непр}} + S_{\text{проз}}} G_{\text{непр}} + \frac{S_{\text{проз}}}{S_{\text{непр}} + S_{\text{проз}}} G_{\text{проз}}(\alpha). \quad (3)$$

Подстановка соответствующих коэффициентов усиления позволяет оценить отношение суммарных сечений прозрачных частиц к непрозрачным. Оценки значений $G_{\text{непр}}$ получены выше, с величинами $G_{\text{проз}}$ дело обстоит несколько сложнее.

В области малых углов фазы ($\alpha < 2^\circ$) расчеты можно производить, используя следующие соотношения [1]:

$$G_{1,2} = \pi x \frac{\sin \tau_{\text{гл}} \cos^2 \tau_{\text{гл}}}{\left| 1 - 2 \frac{\sin \tau_{\text{гл}}}{m \sin \tau'} \right|} [\varepsilon_{1,2} \{J_0(u) - J_2(u)\} + \varepsilon_{2,1} \{J_0(u) + J_2(u)\}]^2. \quad (4)$$

Напомним, что здесь $x = \frac{2\pi a}{\lambda}$; a — радиус частицы;

λ — длина волны; $\tau_{\text{гл}}$ — дополнение до угла падения луча, входящего после внутреннего отражения в направлении $\alpha=0^\circ$;

τ' — дополнение до угла преломления; m — показатель преломления; ε_1 , ε_2 — коэффициенты, характеризующие долю энергии падающего на частицы потока, рассеянного в данном направлении; I_0 , I_2 — функции Бесселя первого рода; $u = \frac{2\pi a}{\lambda} \cos \tau_{гя} \times \times \sin \alpha$. Индекс 1 относится к направлению поляризации, перпендикулярной к плоскости падения, индекс 2 — к направлению поляризации, параллельной плоскости падения.

Точность расчетов можно повысить с одновременным расширением диапазона фазовых углов, если в выражение (4) подставить соответствующие каждому конкретному углу фазы значения энергетических коэффициентов ε_1 , ε_2 и углов падения и преломления τ , τ' . При этом придется также учесть отклонение действительной формы волнового фронта вблизи $\alpha=0^\circ$ от правильной параболы, что приводит к изменению положения максимумов и минимумов в интерференционной картине, тем более значительным, чем дальше мы уходим от направления на источник света. Кроме того, для прозрачных частиц с большим показателем преломления явления глории и радуги, строго говоря, нельзя разделить из-за их взаимопроникновения. Действительно, в формировании индикатрисы рассеяния в области $0^\circ < \alpha < 5^\circ$ принимают участие не два, а три луча, испытавших одно внутреннее отражение. Учет третьего луча для монодисперсной среды, хотя и не сложен, но достаточно громоздок из-за необходимости расчета фазы соответствующей волны, меняющейся в зависимости от падающего на нее света. Однако на практике редко приходится иметь дело с монодисперсными средами, а для полидисперсной среды задача значительно упрощается. Если, как и ранее [1], принять в качестве закона распределения частиц по размерам логарифмически-нормальный закон с параметром $\sigma = 1^*$, то, как показывают вычисления, подобной дисперсии более чем достаточно, чтобы полностью «замыть» все дополнительные максимумы как в глории, так и в радуге. Поэтому для построения полной индикатрисы рассеяния света за счет внутреннего отражения в области углов фазы $0-5^\circ,5$ вполне достаточно произвести расчеты по формуле (4) для углов фазы $0-1^\circ,0$ и по теории Эри [6] — для углов фазы $\pm 1^\circ$ от геометрического положения радуги, т. е. при $m=1,80$ для $\alpha=3^\circ,5 \div 5^\circ,5$. Оставшаяся часть индикатрисы ($\alpha=1^\circ+3^\circ$) может быть вычислена просто по геометрической оптике. При этом легко учесть и третий луч, вклад которого практически несущественен при $\alpha=0^\circ \div 0^\circ,5$ и составляет около 10% в главном максимуме радуги, если $a_0=100$ микрон. Подобные расчеты были выполнены для показателя преломления

* Величина σ выбрана произвольно с целью продемонстрировать устойчивость регистрации главного максимума радуги при большой дисперсии распределения частиц по размерам.

$m=1,80$ $a_0=1$ мм, 100 и 50 микрон. Некоторые результаты вычислений представлены на рис. 1. Сплошная кривая относится к $\lambda=4180 \text{ \AA}$, пунктир — к $\lambda=6375 \text{ \AA}$. Подстановка полученных коэффициентов усиления в выражение (3) позволяет получить оценки роли прозрачных сферических частиц в формировании фазовой кривой кольца Сатурна, разумеется, в рамках данной идеализации.

Результаты перебора отношения суммарных сечений прозрачных и непрозрачных частиц представлены на рис. 2, *a, b, c*. Пунктирная кривая относится к предлагаемой модели, сплошная — к расчетам по теневой теории. В качестве последних использованы вычисления М. С. Боброва [2] при следующих значениях параметров: объемная плотность кольца $D=1,6 \cdot 10^{-3}$, углы возвышения Земли и Солнца над плоскостью кольца $B_{\oplus} = B_{\odot} = 25^\circ$, оптическая толщина кольца при нормальном падении света $\tau_0=1$, вклад многократного рассеяния $\Delta b/b=0,07$, фазовый коэффициент отдельной частицы $p_{\text{ф}}=0,024 \text{ м/град}$. Наши оценки показывают, что суммарное сечение частиц с показателем преломления 1,80 для удовлетворительного согласия с наблюдениями должно составлять менее 2% от сечения непрозрачных частиц. Совпадение вычислений с наблюдениями ухудшается при переходе в длинноволновую часть спектра, что может быть связано с вполне естественным уменьшением показателя преломления вещества с нормальной дисперсией при переходе к большим длинам волн. Результаты учета этого замечания представлены на рис. 2, *d, e, f*.

Рассмотрим еще один вопрос: наличие у вещества, из которого состоят прозрачные частицы, слабого коэффициента поглощения.

В дальнейшем будем пользоваться комплексным показателем преломления, который записывается в виде: $m=m(1-i\chi)$, где $m\chi$ — показатель поглощения.

Интенсивность волны в зависимости от глубины проникновения в вещество пропорциональна величине $e^{-2kmxz} = e^{-vz}$,

где $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, а $v = \frac{4\pi m\chi}{\lambda}$ — коэффициент поглощения. Если величина $m\chi$ достаточно мала, то выражение для коэффициентов усиления необходимо домножить на $e^{4\tau a \sin \tau'}$ [6], где $4a \sin \tau'$ — полная длина пути, которую проходит в сферической частице свет, испытавший одно внутреннее отражение.

Нами были выполнены расчеты коэффициентов усиления и поляризации в глории для системы частиц с показателем преломления 1,80. При этом, как и выше, принималось логарифмически-нормальное распределение частиц по размерам с той же дисперсией. Показатель поглощения принимался равным $m\chi=5 \cdot 10^{-7}$, $2,5 \cdot 10^{-6}$, $2,5 \cdot 10^{-5}$, $5 \cdot 10^{-5}$. Это значит, что слой

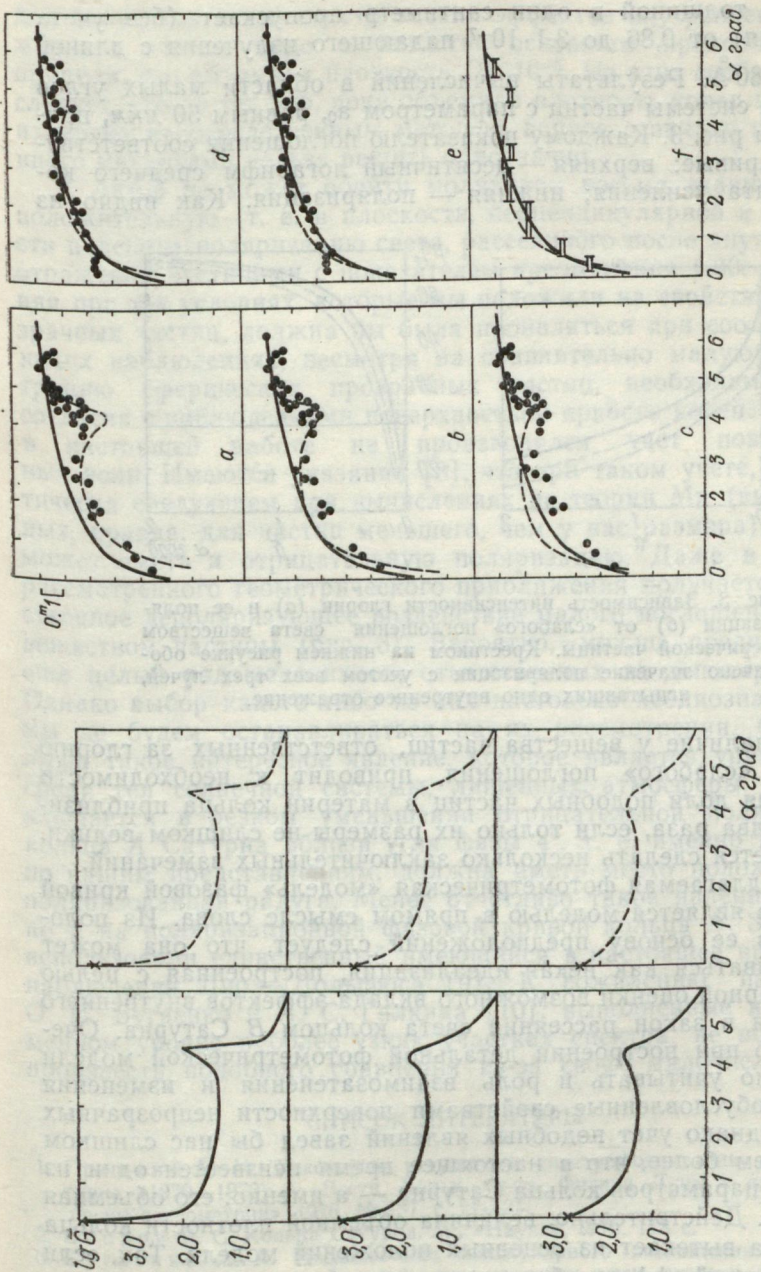


Рис. 1. Коэффициенты усиления по отношению к изотропному рассеивателю, характеризующие суммарную (глюрия + радуга) индикатрису рассеяния света прозрачными частицами с показателем преломления, равным 1,80 (верхняя кривая соответствует $a_0 = 1$ мкм; средняя — 100 мкм; нижняя — 50 мкм).

Рис. 2. Сравнение наблюдаемых данных автора (a, b, c, d, e) и данных Э. Шенберга (1933 г.) (f) с теневой теорией фазовой кривой кольца Сатурна и моделью, предлагаемой в настоящей статье ($a_0 = 50$ мкм): — теневая теория; — — — предлагаемая модель (a, b, c соответствует $\lambda = 4180 \text{ Å}$, d, e, b — $\lambda = 6375 \text{ Å}$).

вещества толщиной в один сантиметр пропускает (без учета отражения) от $0,86$ до $3,1 \cdot 10^{-7}$ падающего излучения с длиной волны $4180 \text{ \AA}$. Результаты вычислений в области малых углов фазы для системы частиц с параметром a_0 , равным 50 мкм , приведены на рис. 3. Каждому показателю поглощения соответствуют две кривые: верхняя — десятичный логарифм среднего коэффициента усиления; нижняя — поляризация. Как видно из

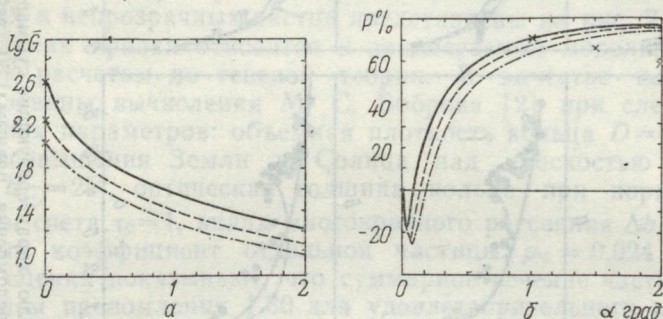


Рис. 3. Зависимость интенсивности глории (а) и ее поляризации (б) от «слабого» поглощения света веществом сферической частицы. Крестиком на нижнем рисунке обозначено значение поляризации с учетом всех трех лучей, испытавших одно внутреннее отражение.

данных, наличие у вещества частиц, ответственных за глорию и радугу «слабого» поглощения, приводит к необходимости увеличения доли подобных частиц в материи кольца приблизительно в два раза, если только их размеры не слишком велики. Нам остается сделать несколько заключительных замечаний.

1. Предлагаемая фотометрическая «модель» фазовой кривой кольца не является моделью в прямом смысле слова. Из положенных в ее основу предположений следует, что она может рассматриваться как некая идеализация, построенная с целью мажоритарной оценки возможного вклада эффектов внутреннего отражения в закон рассеяния света кольцом В Сатурна. Очевидно, что при построении детальной фотометрической модели необходимо учитывать и роль взаимозатенения и изменения яркости, обусловленные свойствами поверхности непрозрачных частиц. Однако учет подобных явлений завел бы нас слишком далеко, тем более, что в настоящее время неизвестен один из основных параметров кольца Сатурна — а именно: его объемная плотность. Действительно, величина объемной плотности кольца В Сатурна вытекает из основных положений модели. Так, если оппозиционный эффект обусловлен взаимным затенением частиц кольца, то для согласования теории с наблюдениями необходимо считать, что объемная плотность $D = 1 \div 5 \cdot 10^{-3}$ [2]. Мы же

для получения возможности оценки эффектов внутреннего отражения в чистом виде в качестве основного предположения приняли, что объемная плотность $D < 10^{-5}$. Из этих соображений следует, что до тех пор, пока объемная плотность колец не будет измерена непосредственным методом, вопрос о вкладе того или иного механизма нельзя решить однозначно.

2. Автор не может обойти молчанием весьма значительную положительную (т. е. в плоскости, перпендикулярной к плоскости падения) поляризацию света, рассеянного после внутреннего отражения частицами с показателем преломления 1,80. Последняя при тех условиях, которые мы наложили на свойства непрозрачных частиц, должна бы была проявляться при соответствующих наблюдениях, несмотря на сравнительно малую концентрацию сферических прозрачных частиц, необходимую для согласия с наблюдениями поверхностной яркости колец. Однако, в настоящей работе не производился учет поверхностных волн. Имеются указания [8], что при таком учете, автоматически следующем при вычислениях по теории Ми (выполненных, правда, для частиц меньшего, чем у нас размера), gloria может иметь и отрицательную поляризацию. Даже в рамках рассмотренного геометрического приближения получается существенное деполяризующее воздействие малого поглощения света веществом частицы (рис. 3). Вероятно, можно предположить еще целый ряд механизмов, ответственных за деполяризацию. Однако выбор какого-либо из них настолько неоднозначен, что мы не будем останавливаться на их рассмотрении. Отметим лишь такое интересное явление, которое является уникальным среди тел солнечной системы, лишенных атмосферы. Оно заключается в резком уменьшении отрицательной поляризации кольца А Сатурна вблизи угла фазы 4° , т. е. именно там, где, по нашим представлениям, должна иметь место положительно поляризованная радуга. Менее отчетливо такое явление заметно и на поляризационной фазовой кривой кольца В. Здесь мы использовали единственный имеющийся в настоящее время ряд наблюдения Лио — Дольфюса [9]. К сожалению, измерения О. И. Бугаенко и Л. С. Галкина [10], выполненные на современном уровне в более узких участках спектра, не позволяют произвести подобного сравнения из-за своей малочисленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грецкий А. М. Некоторые результаты спектрофотометрии колец Сатурна (1970—1972). — «Вестн. Харьк. ун-та. Физика Луны и планет. Вопросы астрометрии», 1976, № 137, с. 21—31.
2. Бобров М. С. Кольца Сатурна. М., «Наука», 1970. 118 с.
3. Бугаенко Л. А. Исследование молекулярного поглощения в атмосферах планет-гигантов. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. физ.-мат. наук. Л., 1973. 12 с.
4. Бугаенко Л. А. Монохроматические коэффициенты яркости планет-гигантов. — «Астрон. вестн.», 1972, т. VI, № 1, с. 19—21.

5. Lewis J. S. Satellites of the outer planets: their physical and chemical nature. — «Icarus», 1971, N 15, p. 174—185.
6. Ван де Хюлст. Рассеяние света малыми частицами. М., Изд-во иностр. лит., 1961. 536 с.
7. Шаронов В. В. Природа планет. М., Гостехиздат, 1958. 552 с.
8. Дейрменджан Д. Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами. М., «Мир», 1971. 165 с.
9. Планеты и спутники. Под ред. Дж. Койпера, Б. Мидлхерст. М., Изд-во иностр. лит., 1963. 520 с.
10. Бугаенко О. Н., Галкин Л. С. Поляриметрические исследования планет-гигантов, ч. II. Фазовый ход поляризации избранных областей диска Сатурна. — «Астроном. журн.», 1972, т. 49, вып. 4, с. 837—844.

УДК 522.52

А. Д. Егоров, Л. И. Чураева

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА

Для астрономических определений времени на пассажных инструментах применяются регистрирующие установки самых различных типов [1—5]. С целью объективной оценки достоинств и недостатков каждой из них целесообразно разработать систему критериев, позволяющих судить о степени их соответствия потребностям службы времени. Эти критерии желательно разделить по степени важности на основные и второстепенные. Наиболее важным, по мнению авторов, является степень реализации потенциальных возможностей оптико-механической части инструмента по следующим показателям:

1) точности регистрации звездных прохождений в систематическом и случайном отношении;

2) широте диапазона блеска наблюдаемых звезд при различных засветках;

3) широте диапазона склонений наблюдаемых звезд.

Второстепенные характеристики связаны в основном с технической реализацией метода, положенного в основу установки. Это надежность, простота контроля, широта рабочего температурного диапазона, степень унификации узлов и т. д.

Следует отметить, что в понятии потенциальных возможностей инструмента содержится некоторый произвол. Правда, это не касается последнего пункта, так как возможный диапазон склонений наблюдаемых звезд для пассажного инструмента определяется линией горизонта и равен 180° . Широта диапазона блеска наблюдаемых звезд при известной засветке также легко оценивается теоретически [6].

Несколько сложнее определить потенциальные возможности инструмента в отношении точности регистрации. Полную ошибку регистрации момента прохождения звезды удобнее разделить на две компоненты: связанную с инструментальными и рефракционными искажениями траектории движения звезды и происходящую из-за неточного определения траектории относительно

но визирной линии инструмента. Так как прямая связь между первой компонентой ошибки и свойствами фотоэлектрической установки отсутствует, при дальнейшем рассмотрении будет приниматься во внимание только вторая компонента. Ее величина зависит от параметров оптической схемы (диаметра объектива, разрешения системы объектив — решетка и т. д.) и может быть определена по измеряемым фотометрическим характеристикам звездного изображения и фона неба.

Целесообразно изучить связь фотометрических и астрометрических характеристик изображений применительно к пассажному инструменту. Для простоты возьмем случай с равномерным распределением яркости по изображению звезды вдоль координаты α . В этом случае из геометрических рассуждений легко получить следующее выражение, связывающее ошибку положения центра яркости $\Delta\alpha$ с точностью фотометрирования:

$$\Delta\alpha = \varepsilon \frac{s}{2}, \quad (1)$$

где s — характерный размер звездного изображения вдоль координаты α ; ε — относительная ошибка фотометрирования, определяющая предел чувствительности инструмента в отношении регистрации слабых звезд. В связи с квантовой природой света этот предел является конечным для идеального фотоприемника и при отсутствии паразитных засветок.

Для численных оценок введем следующие обозначения: γ — телесный угол, занимаемый проекцией изображения звезды в фокальной плоскости объектива на небесную сферу; f_m — частота следования зарегистрированных фотоприемником квантов от звезды m -й звездной величины; f_z — частота следования зарегистрированных квантов, происходящих от участка неба в телесном угле γ .

При этом за время измерения τ может быть достигнута следующая точность фотометрирования:

$$\varepsilon_m = \frac{\sqrt{f_m + f_z}}{f_m \sqrt{\tau}}. \quad (2)$$

Для дециметрового объектива пассажного инструмента характерный размер изображения звезды с учетом аберрации составляет $\sim 5''$. По непосредственным измерениям авторов при использовании фотоэлектронного умножителя с мультиселочным катодом ($200 \mu\text{а/лм}$) величина f_z в телесном угле $5'' \times 5''$ составляет $\sim 1 \text{ кв/сек}$, а $f_5 \approx 5000 \text{ кв/сек}$. Если за предельно допустимую ошибку принять величину $\Delta\alpha = 0''015$, что соответствует 1 мсек на экваторе, то при времени накопления $\tau = 100 \text{ сек}$ возможны наблюдения звезд до 11^m . Вблизи полной Луны и в белые ночи эта граница существенно снизится за счет засветки. Аналогично действие темнового тока, хотя в настоя-

шее время лучшие образцы ФЭУ обеспечивают на выходе частоту следования темновых импульсов несколько герц. Приведенное рассмотрение не является строгим, но его достаточно, чтобы убедиться в том, что существующие фотоэлектрические регистрирующие установки далеки от реализации потенциальных возможностей пассажного инструмента по всем существующим параметрам. Основной

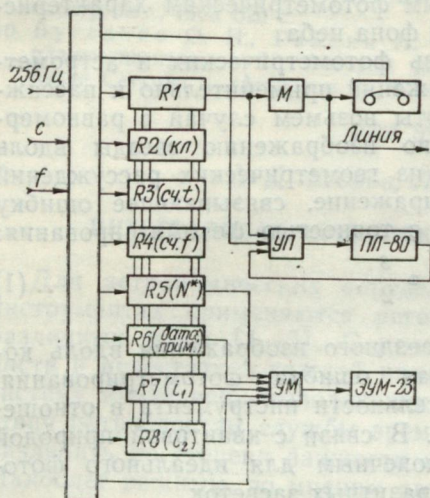


Рис. 1. Блок-схема устройства записи.

причиной этого является трудность создания оптимального аналогового фильтра с устойчивыми фазовыми характеристиками. Гораздо легче и в теоретическом, и в практическом плане реализовать такой фильтр в цифровом виде. Для этой цели можно использовать или сравнительно простое запоминающее устройство, или специализированное вычислительное устройство в сочетании с ЭВМ, реализующей оптимальный цифровой фильтр программным путем. Такое запоминающее устройство создано и опробовано в макетном варианте на Харьковской астрономической обсерватории. Учитывая накопленный во время эксплуатации макета опыт, в ИРЭ АН УССР при сотрудничестве с Астрономической обсерваторией ХГУ создан его рабочий вариант, называемый интегральной фотоэлектрической установкой. Она предназначена для линейной цифровой регистрации кривой фототока и вспомогательной информации с последующим вводом накопленных данных в ЭВМ.

Основным носителем информации является магнитная лента, но возможна запись на перфоленту и непосредственно в оперативное запоминающее устройство машины через канал связи. Запись на магнитной ленте — односторонняя, модуляция — относительная фазовая. Скорость протяжки ленты при записи равна примерно 24 мм/сек при воспроизведении — 190 мм/сек.

Устройство записи состоит из восьми шестнадцатиразрядных регистров $R1 \div R8$, устройства управления УУ, модулятора М, лентопротяжного механизма ЛПМ, устройств управления перфатором УП и пишущей машинкой УМ.

Регистр $R1$ — сдвигающий. Информация из регистров $R2 \div R8$ поступает в него параллельным кодом, а на модулятор М и в устройство управления перфатором УП выдается в по-

следовательном коде. Выход $R1$ соединен с входом, что обеспечивает циркуляцию содержимого при дублировании записи в целях повышения надежности. Тактовая частота сдвигающих импульсов — 256 гц получена от опорного кварцевого генератора.

Регистр $R2$ — запоминающий. Он содержит классификатор массива. При использовании данного устройства для записи разнородных массивов информации необходимо менять классификатор.

Регистры $R3$ и $R4$ — счетные. Они служат для накопления значения текущего времени и измеряемой функции соответственно.

Регистр $R5$ содержит номер наблюдаемой звезды, $R6$ — дату наблюдений и примечания, $R7$ и $R8$ — отсчеты двух концов уровня. Значения регистров $R5$ — $R8$ набираются переключателями на передней панели прибора и распечатываются после прохождения звезды электроуправляемой машинкой ЭУМ-23 в виде аппаратного журнала.

Запись ведется блоками массивов, которые отделяются друг от друга межблочными промежутками (отсутствие записи). Началом блока является последовательность нулей (32 двоичных разряда), которая используется для фазирования демодулятора.

Далее следует классификатор массива, его четыре старших разряда всегда содержат единицы. Эта серия единиц после межблочного промежутка служит сигналом начала ввода информации в ЭВМ. После классификатора записывается начальный момент, массив данных, номер звезды, дата, отсчеты обоих концов уровня и момент окончания записи блока.

Последовательность работы основных элементов схемы следующая. Подачей первого секундного импульса по цепи ВХ 1

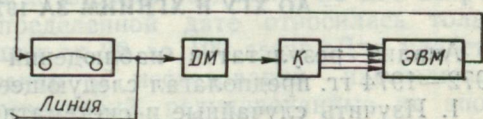


Рис. 2. Блок-схема устройства воспроизведения.

в регистре $R3$ начинается отсчет текущего времени. С появлением звезды на визирной решетке инструмента включается ЛПМ и спустя 0*5 на модулятор начинает поступать информация из регистра $R1$. Сброс регистра $R1$ в нулевое состояние и засылка в него новой информации происходит в моменты времени, кратные 0*125. После занесения классификатора ($R2$) и начального момента ($R3$) из $R4$ поступает массив данных, значения которых определяются интегралом от кривой фототока по интервалам 0*125, а длина — временем прохождения звезды по визирной решетке. За это время наблюдатель должен установить регистры $R5$ — $R8$, содержимое которых последовательно засылается в $R1$, после массива значений измеряемой

функции. Последним числом блока является значение конечного момента времени (показания регистра R_3), после чего идет формирование межблочного промежутка и распечатка содержимого R_5 — R_8 на пишущей машинке.

Запись на магнитной ленте (рис. 2) читается считывающей головкой на демодулятор ДМ и через контроллер К поступает в ЭВМ (в нашем случае «С—1020»). Так как контроллер входит в состав оборудования ЭВМ, его схема и принцип работы здесь не приводятся.

Устройство в основном выполнено на элементах 217-й серии в приборном варианте кассеты для стандартных ячеек; разъемы повышенной надежности с гиперболоидными контактами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов Н. Н. Фотоэлектрическая регистрация звездных прохождений. — «Труды ГАО». Серия 11'', 1946, т. 59, с. 1—130.
2. Брандт В. Э. Фотоэлектрическая установка для регистрации прохождения звезд. — «Труды ЦНИИГА и К.», 1956, № 112, с. 23—110.
3. Hog E. A theory of a photoelectric multislit micrometer. — «Astron. and Astrophys». 1970, vol. 4, N 1, p. 89—95.
4. Бранд В. Э. Фазовая фотоэлектрическая установка для регистрации моментов прохождения звезд. — «Астроном. журн.», 1968, т. 45, № 3, с. 686—690.
5. Штейнс К. А., Огриньш М. П. Устройство и метод регистрации моментов прохождений звезд с учетом выбросов. — «Учен. зап. Латв. ун-та», 1971, т. 148, вып. 6, с. 3—11.
6. Баум У. А. Обнаружение и измерение слабых астрономических объектов. — В кн.: Методы астрономии. М., 1967, с. 9—36.

УДК 522—617

В. И. Туренко, А. Ф. Ванцан, Н. Г. Литкевич

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ СЛУЖБЫ ВРЕМЕНИ АО ХГУ И ХГНИИМ ЗА 1972—1974 годы

Анализ результатов наблюдений всемирного времени за 1972—1974 гг. предполагал следующее:

1. Изучить случайные и систематические погрешности Харьковской службы времени.

2. Определить возможности результатов наблюдений отдельно взятой службы в отношении формирования шкалы всемирного времени и изучения режима вращения Земли.

Для решения этих задач кроме наблюдений Харьковской (Х) службы использовались непосредственные результаты наблюдений двух лучших служб мира — ГАО АН СССР (П) и Херстмонсо (Хм) [1, 2].

Определение всемирного времени. Астрономические определения времени Х службой осуществляли на фотоэлектрическом пассажном инструменте АМП-1 № 540001 ($d=10$ см, $f=100$ см). Моменты прохождений звезд через щели визирной

решетки инструмента регистрировали на печатающем хронографе П-21 с помощью фотоэлектрической установки классического типа.

Из общего списка звезд, обязательных для всех служб времени Советского Союза, X служба наблюдает 445 звезд, видимые места которых определяются по КATALOGу Служб Времени (КСВ). В течение одного вечера наблюдали 2—4 одночасовые группы звезд. В состав группы входило 12—14 близзенитных звезд и 2—4 — экваториальные.

Запаздывание фотоэлектрической установки измеряли в начале и конце каждого вечера наблюдений для сигналов прямоугольной формы, величина его в течение 1972—1974 гг. находилась в пределах 118—123 м/сек.

Наклонность горизонтальной оси инструмента определяли с помощью подвесного уровня с ценой деления 72 мс. Показания уровня снимали с помощью установки дистанционного отсчета; в качестве зрительной трубки использовали трубку АТ-1.

Наблюдения обрабатывали по каждой часовой группе. Азимут горизонтальной оси инструмента определяли из решения системы уравнений, задаваемых группой зенитных звезд и каждой в отдельности экваториальной звездой. Среднее арифметическое из поправок обрабатываемой группы определяло наблюдаемую поправку часов. Средняя квадратическая ошибка наблюденной поправки часов, полученная по внутренней сходимости, равнялась ± 4 мс.

Анализ результатов наблюдений. При исследовании наблюдений X службы использовали поправки часов, усредненные по всем группам за ночь наблюдений. Для Пулковской службы усреднение производили по результатам наблюдений, выполненных на двух пассажных инструментах. Наблюдения Херстмонсо, выполненные на фотографической зенитной трубе, также усредняли, если наблюдения за ночь были разделены на две поправки. Таким образом, к определенной дате относилась только одна поправка, включающая от 20 до 100 звезд. Для удобства последующего сопоставления и исследования наблюденные поправки часов всех обсерваторий, редуцированные на эпоху 12^h всемирного времени и к условному международному началу координат полюса (ОС), были приведены к виду $TUI-ТА+3,0$ мсек/сут.

Здесь TUI — всемирное время, редуцированное к условному международному началу координат полюса; $ТА$ — шкала атомного времени.

Среднемесячные значения $TUI-ТА+3,0$ мсек/сут, независимо от числа наблюденных поправок часов за месяц, по каждой обсерватории представлены в табл. 1 и графически на рис. 1. Средние квадратические ошибки единицы веса наблюденных поправок часов (σ мс), вычисленные по внешней сходимости

за 1972—1974 гг., для Харьковской службы времени приведены в табл. 2. По данным таблицы большие ошибки присущи наблюдениям в летние месяцы, когда имели место большие колебания и различия дневных и ночных температур. По мнению авторов, это явление вызывалось неблагоприятными условиями, в которых установлен инструмент (центр города), отсутствием температурной защиты инструмента и конструкцией павильона.

Наблюдавшиеся в период исследований изменения в течении шкалы всемирного времени $TU1$

(табл. 1, рис. 1) зафиксированы всеми исследуемыми обсерваториями и относятся к изменению скорости вращения Земли. Сезонная неравномерность вращения Земли ΔT_s , определенная по результатам наблюдений каждой обсерватории и представленная суммой двух компонент (согласно $B1H$) — годовой и полугодовой, за 1972—1974 гг. выражалась такими формулами:

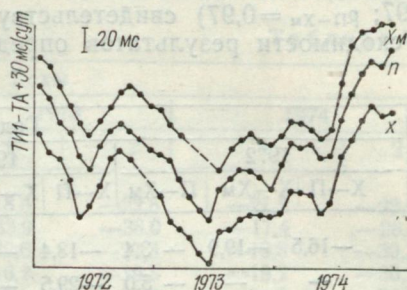


Рис. 1. Среднемесячные значения $TU1 - TA + 3$ мсек/сутки.

$$\Delta T_s(X) = 0,0207 \sin \frac{2\pi}{365} (j + 328,0) + 0,0087 \sin \frac{4\pi}{365} (j + 70,9);$$

$$\Delta T_s(\Pi) = 0,0172 \sin \frac{2\pi}{365} (j + 320,1) + 0,0082 \sin \frac{4\pi}{365} (j + 74,8);$$

$$\Delta T_s(Xм) = 0,0220 \sin \frac{2\pi}{365} (j + 318,8) + 0,0073 \sin \frac{4\pi}{365} (j + 71,4);$$

$$\Delta T_s(Cp) = 0,0201 \sin \frac{2\pi}{365} (j + 322,2) + 0,0079 \sin \frac{4\pi}{365} (j + 71,8).$$

Таблица 2

Месяцы	Годы				
	1972	1973	1974	Среднее	t°
I	$\pm 7,7$	$\pm 8,1$	$\pm 5,5$	$\pm 7,1$	$-11^\circ,9$
II	—	—	10,6	—	$-1,6$
III	10,1	6,6	7,6	8,1	$+0,8$
IV	5,2	3,4	8,1	5,9	$+11,3$
V	8,2	8,4	—	8,3	$+14,9$
VI	9,5	10,4	9,5	9,8	$+17,3$
VII	7,8	15,3	—	11,6	$+20,4$
VIII	6,0	14,5	15,6	12,0	$+19,1$
IX	11,5	8,2	10,2	10,0	$+13,6$
X	5,6	8,7	7,3	7,2	$+10,0$
XI	—	4,6	5,9	5,2	$+0,8$
XII	—	4,7	3,4	4,0	$-4,5$

Приведенные графики и формулы сезонной неравномерности вращения Земли, а также коэффициенты взаимной корреляции между функциями $TU1 - TA + 3,0 \text{ мс/сут}$ трех служб времени, заданными среднемесячными значениями ($\rho_{X-P} = 0,98$; $\rho_{X-X_M} = 0,97$; $\rho_{P-X_M} = 0,97$) свидетельствуют о значительном улучшении сходимости результатов определения всемирного времени,

Таблица 3

Месяцы	Годы								
	1972			1973			1974		
	X-P	X-X _M	P-X _M	X-P	X-X _M	P-X _M	X-P	X-X _M	P-X _M
I	-16,5	-19,9	-3,4	-13,4	-28,5	-15,1	-18,7	-22,6	-03,9
II	—	—	-5,0	-29,5	-37,3	-07,8	-18,7	-15,2	+03,5
III	-17,1	-17,3	-00,2	-17,2	-31,4	-14,2	-18,6	-19,5	-00,9
IV	-22,7	-26,1	-3,4	-11,6	—	—	-22,1	-15,0	+07,1
V	-27,8	-32,2	-4,4	-13,0	—	—	-23,5	-19,2	+04,3
VI	-07,3	-13,5	-6,2	-8,7	—	—	-18,8	-21,2	-02,4
VII	-12,3	-16,4	-4,1	-13,8	-14,2	-00,4	-16,3	-23,4	-07,1
VIII	-05,0	-09,0	-4,0	-21,3	-24,6	-03,3	-18,4	-35,1	-16,7
IX	-00,8	-05,9	-5,1	-17,9	-19,7	-01,8	-17,7	-31,0	-13,3
X	-04,9	-20,2	-15,3	-16,1	-27,6	-11,5	-15,5	-21,2	-05,7
XI	—	—	-20,2	-03,9	-17,4	-13,5	-21,2	-35,7	-14,5
XII	—	—	-13,0	-3,1	-18,4	-15,3	-30,0	-29,4	+00,6

а следовательно, расширяют возможности исследований сезонной и других видов неравномерности вращения Земли по материалам отдельно взятой обсерватории.

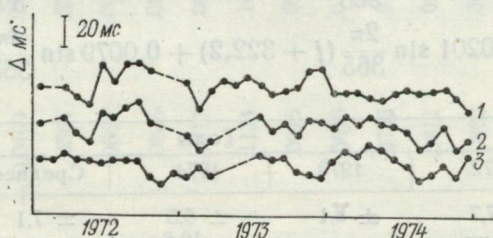


Рис. 2. Взаимные разности среднемесячных значений:
1 — $TU1(X) - TU1(P)$; 2 — $TU1(X) - TU1(X_M)$; 3 — $TU1(P) - TU1(X_M)$.

Взаимные разности среднемесячных значений $TU1(\Delta)$ трех обсерваторий с их среднегодовыми систематическими ошибками (мс) представлены в табл. 3 и на рис. 2. Среднеквадратиче-

ские ошибки среднемесячных определений всемирного времени, разделенные для каждой службы по данным взаимных разностей, соответственно равны $\sigma_X = \pm 6,1$ мс; $\sigma_{II} = \pm 4,1$ м/сек; $\sigma_{XII} = \pm 4,7$ м/сек. Ошибки эти обусловлены, по-видимому,

Таблица 4

Месяцы	Годы					
	1972		1973		1974	
	1	2	1	2	1	2
I	-18,5	-26,7	-18,8	-22,8	-21,2	-29,9
II	—	—	-33,9	-36,0	-17,4	-26,8
III	-14,4	-22,6	-22,6	-27,3	-18,8	-30,3
IV	-25,3	-30,7	-16,2	-19,8	-19,2	-30,2
V	-34,2	-36,2	-18,1	-25,0	-24,5	-37,5
VI	-20,4	-25,3	-24,9	-31,1	-26,0	-39,4
VII	-18,8	-23,7	-23,4	-30,4	-24,6	-36,0
VIII	-09,6	-14,8	-30,6	—	-29,6	-43,9
IX	-11,6	-18,6	-31,4	-34,7	-30,8	-43,6
X	-14,2	-25,5	-27,4	-34,6	-23,8	-39,4
XI	—	—	-16,4	-25,5	-33,0	-44,5
XII	—	—	-15,8	-25,7	-31,8	-40,4

Примечание: 1 — ($TUI_X - TUI_{BIN}$), 2 — ($TUI_X - TUI_{ЭВ}$).

общим для всех служб фактором — рефракционными явлениями. Систематическая ошибка, равная в среднем — 20 мс и присущая наблюдениям Харьковской службы, определялась

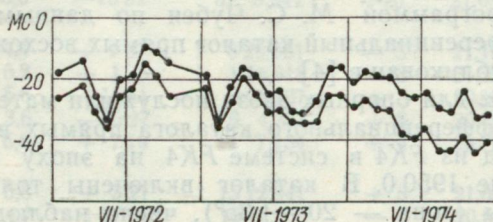


Рис. 3. Среднемесячные значения:
верхняя кривая — $TUI_X - TUI_{BIN}$; нижняя — $TUI_X - TUI_{ЭВ}$

в основном неполным учетом запаздывания фотоэлектрической установки.

Сличение шкалы всемирного времени X службы времени с соответствующими данными Эталонного и Международного бюро времени [3, 4] представлено в табл. 4 и на рис. 3 (среднемесячные значения).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бюллетени ГАО АН СССР. № 208—243. Л., «Наука», 1973—1975. 60 с.
2. Greenwich time report, Royal Greenwich Observatory, 1972—1974. 200 p.
3. Циркуляры «Д», BIN, № 64—99, 1972—1974. 36 с.

4. Эталонное время в средние моменты передач сигналов, М., ВНИИФТРИ. 1972—1974. 900 с.
5. Свешников А. А. Прикладные методы теории случайных функций. М., «Наука», 1968, с. 18—34.

УДК 523.89

К. Н. Деркач

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ КАТАЛОГ ПРЯМЫХ ВОСХОЖДЕНИЙ 544 ЯРКИХ ЗВЕЗД ИЗ FK НА ЭПОХУ НАБЛЮДЕНИЙ И РАВНОДЕЙСТВИЕ 1950.0. (ЗОНА — 20—+35°)

При дифференциальных наблюдениях прямых восхождений 1746 ярких звезд на меридианном круге Харьковской астрономической обсерватории в 1968—1973 гг. автором было проведено около 8400 наблюдений опорных звезд из FK4 [1].

Редукцию на меридиан моментов прохождений звезд за параметры инструмента производили по преобразованной М. С. Зверевым и Д. Д. Положенцевым формуле Бесселя [2, 3]. На ЭВМ «Минск-22» по программе Д. Д. Положенцева вычислены поправки $\Delta\alpha$ к исходным прямым восхождениям не только определяемых звезд из GC Босса, но и опорных из FK4:

$$\Delta\alpha = \alpha_0 - \alpha_c,$$

где α_0 — наблюдаемое прямое восхождение; α_c — видимое место, вычисленное программой М. С. Чубея по данным исходного каталога. Дифференциальный каталог прямых восхождений 1746 ярких звезд опубликован в [4].

Поправки $\Delta\alpha$ для опорных звезд послужили материалом для составления дифференциального каталога прямых восхождений 544 ярких звезд из FK4 в системе FK4 на эпоху наблюдений и равнодействие 1950.0. В каталог включены только зонные опорные звезды (зона — 20—+35°), число наблюдений которых не менее четырех.

В среднем каждая звезда из FK4 наблюдалась 11,2 раза. Средняя квадратичная ошибка одного наблюдения $\pm 0,^s019 \text{ sec } \delta$. Средняя эпоха наблюдений опорных звезд 1971.1.

Каталог 544 звезд содержит следующие графы:

1 — номер звезды по порядку; 2 — номер звезды по FK4; 3 — звездная величина по данным FK4; 4 — приближенное склонение звезды для 1950.0; 5 — наблюдаемое прямое восхождение для равнодействия 1950.0 и эпохи наблюдений; 6 — разность в тысячных долях секунды времени между наблюдаемым прямым восхождением и его значением, вычисленным по данным FK4; 7 — средняя эпоха наблюдений в годах, отсчитанная от 1950.0; 8 — число наблюдений; 9 — средняя квадратическая ошибка положения звезды в тысячных долях секунды времени.

КАТАЛОГ

№ п.п.	№ FK4	m	δ 1950,0	α 1950,0	$\Delta\alpha$ в 0 ^s ,001	Эпоха 1950+	n	σ в 0 ^s ,001
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1002	4,7	— 5 59	0 2 46,505	— 9	20,58	6	8
2	1	2,2	+28 48	5 48,054	— 4	20,92	6	5
3	7	2,9	+14 54	10 39,448	— 3	20,70	23	4
4	1004	4,9	+19 56	12 0,795	— 5	20,72	7	6
5	1006	5,8	+31 14	16 1,293	— 5	21,12	8	5
6	1007	6,9	—17 58	0 17 30,914	+ 8	19,98	4	17
7	9	3,8	— 9 6	16 52,773	+16	20,67	6	10
8	1008	5,6	+ 7 55	18 1,307	— 5	20,98	7	10
9	1010	6,0	+ 1 40	22 50,236	—17	20,66	20	6
10	1011	7,5	—11 56	25 28,331	— 1	20,80	6	5
11	1012	6,5	+16 10	0 25 36,620	+ 5	20,28	4	8
12	13	6,0	— 4 14	27 29,171	— 2	20,81	8	7
13	18	4,5	+33 27	34 12,209	— 3	20,60	6	12
14	19	4,5	+29 2	35 54,066	— 3	20,32	7	6
15	22	2,2	—18 16	41 5,137	— 4	20,27	4	3
16	1019	5,8	+ 5 1	0 45 46,503	+ 5	20,63	6	16
17	1022	4,9	— 1 25	50 27,057	+ 1	20,80	20	6
18	1023	5,6	+28,43	55 7,622	0	21,28	4	16
19	1024	6,7	— 6 9	56 13,729	— 3	21,07	6	5
20	1025	6,6	—16 32	59 9,847	—20	21,08	7	12
21	36	4,4	+ 7 37	1 0 20,581	— 5	21,10	10	6
22	37	6,2	+ 1 6	1 1 14,618	—13	21,52	4	17
23	1028	5,6	+14 41	1 2 26,737	+ 3	20,96	11	8
24	40	3,6	—10 27	6 4,731	+ 8	20,89	4	10
25	1033	5,6	+ 7 19	11 7,134	+ 4	20,72	6	8
26	1034	5,3	+ 3 21	1 15 12,941	+ 3	21,08	23	4
27	45	4,7	+27 0	16 42,736	— 6	20,61	13	6
28	47	3,8	— 8 27	21 31,249	+ 3	21,04	9	5
29	1039	5,6	+18 59	23 59,396	+12	20,79	4	8
30	1041	5,7	—13 19	24 23,492	— 2	21,24	7	9
31	50	3,7	+15 5	1 28 48,233	— 3	20,57	16	4
32	1046	5,6	+11 53	34 26,520	—17	20,15	6	9
33	56	4,7	+ 5 14	38 49,527	+ 2	20,87	16	4
34	1049	5,3	— 3 56	40 11,667	—18	21,22	7	7
35	59	3,6	—16 12	41 42,127	— 5	21,19	12	5
36	60	4,5	+ 8 54	1 42 45,073	+ 5	20,97	15	3
37	1050	5,7	+16 42	45 27,990	+16	20,73	21	4
38	1051	4,8	—10 56	47 7,424	— 6	21,19	9	5
39	62	3,9	—10 35	48 59,509	+12	20,90	11	14
40	64	3,6	+29 20	50 13,469	+13	20,04	4	10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
41	65	4,8	+ 2 56	1 50 57,856	— 6	21,55	7	7
42	66	2,7	+20 34	51 52,472	—11	20,82	4	9
43	74	2,2	+23 13	2 4 21,204	— 2	20,88	19	4
44	75	3,1	+34 45	6 33,847	+17	20,76	5	9
45	1056	5,9	+19 16	7 51,096	+ 3	20,73	16	8
46	1058	4,5	+ 8 37	2 10 20,722	+11	21,61	5	14
47	1059	5,6	+24 49	12 52,040	+ 2	20,92	8	6
48	80	5,7	— 6 39	14 29,382	+ 5	21,30	13	6
49	1061	5,8	+ 1,31	15 25,904	+ 3	21,63	5	5
50	1066	4,9	—12 31	23 31,930	0	21,14	10	4
51	1068	5,4	+29 27	2 25 13,628	— 1	21,28	7	5
52	85	4,3	+ 8 14	25 29,841	+ 1	19,74	15	4
53	1069	6,4	+17 29	28 7,715	+ 4	21,08	7	6
54	1070	5,4	+35 56	29 2,619	0	21,25	4	11
55	1071	4,8	—15 28	29 42,867	+32	21,18	5	6
56	1074	5,7	— 8 3	2 33 32,170	— 5	21,77	5	12
57	89	5,4	+21 45	35 58,255	— 1	20,88	4	12
58	91	4,0	+ 0 7	36 55,015	+18	20,78	15	6
59	94	4,6	+27 30	40 30,655	— 8	20,74	6	12
60	98	4,4	+ 9 54	42 14,524	+10	21,72	4	2
61	100	3,7	+27 3	2 47 2,153	+12	21,12	9	6
62	1079	5,5	+14 53	48 43,693	— 8	21,17	23	4
63	104	4,0	— 9 6	53 59,082	+22	21,48	6	7
64	1080	5,3	— 3 55	54 6,825	— 3	21,12	4	10
65	1081	5,8	+20 28	55 13,526	+ 4	21,35	9	10
66	1083	4,7	+ 8 43	2 57 1,862	—13	21,25	9	6
67	107	2,8	+ 3 54	59 39,717	— 9	21,85	9	6
68	1087	7,2	—13 57	3 4 56,796	—20	21,02	8	6
69	1088	5,6	+28 53	6 35,861	—10	21,24	18	5
70	114	4,5	+19 32	8 46,138	+28	20,96	16	7
71	116	5,1	— 1 23	3 10 13,420	—17	21,74	12	5
72	1089	5,0	+20 52	12 1,277	— 9	21,40	19	6
73	1091	4,9	— 9 0	13 24,124	+ 7	21,18	17	5
74	1093	5,0	+ 3 11	16 44,514	+ 1	21,59	8	5
75	121	3,8	+ 8 51	22 7,038	+16	21,52	11	8
76	123	3,8	+ 9 34	3 24 27,422	+ 9	21,45	26	4
77	125	4,3	+12 46	28 6,531	0	21,56	14	6
78	1097	4,8	— 5 15	28 8,051	+ 8	20,78	7	6
79	1098	5,8	+35 18	29 28,520	+ 4	21,48	4	9
80	127	3,8	— 9 38	30 32,936	— 6	21,35	16	4
81	1100	5,3	—17 38	3 34 0,644	+22	20,59	4	8
82	1101	4,4	+ 0 15	34 18,761	+ 4	21,46	19	5
83	1103	6,2	+25 10	37 46,785	— 6	20,73	14	5
84	135	3,7	— 9 56	40 51,885	— 8	21,13	9	4
85	137	5,1	— 1 19	41 57,932	— 7	20,71	5	1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
86	1104	5,4	+ 5 54	3 43 0,846	+ 4	20,90	4	8
87	139	3,0	+23 57	44 30,470	+15	21,54	10	7
88	142	3,8	+23 54	46 11,069	+10	22,29	6	8
89	1106	6,0	+17 11	50 18,433	- 3	21,44	21	4
90	149	3,2	-13 39	55 41,748	- 6	21,35	10	5
91	148	4,0	+35 39	3 55 42,839	- 9	21,14	10	5
92	150	4,0	+12 21	57 54,362	- 5	21,98	27	4
93	1111	5,2	- 1 41	58 59,876	+ 5	21,59	15	8
94	151	3,9	+ 5 51	4 0 29,582	- 3	21,35	10	7
95	1112	4,5	+21 57	1 44,210	+ 2	21,72	10	7
96	1115	5,7	+19 29	4 6 15,090	- 3	21,71	23	4
97	1116	5,6	+26 21	7 46,782	-13	21,49	15	6
98	154	4,1	- 6 58	9 25,346	+ 1	21,45	14	4
99	1118	4,3	+ 8 46	12 48,980	- 3	21,66	21	4
100	159	3,9	+15 31	16 56,818	- 5	21,44	9	7
101	162	3,9	+17 26	4 20 3,015	+10	21,43	17	4
102	1120	5,2	- 3 52	21 11,235	+ 4	21,51	9	5
103	1125	4,8	+14 44	31 0,607	+18	21,66	14	6
104	168	1,1	+16 25	33 2,985	- 8	21,51	13	7
105	169	4,1	- 3 27	33 49,091	0	21,50	18	6
106	172	4,0	-14 24	4 35 53,162	-32	22,09	4	16
107	1126	5,7	+28 31	38 11,767	- 1	21,52	13	6
108	174	4,3	+22 52	39 14,404	+ 3	21,66	18	6
109	1131	5,9	- 8 36	41 41,037	+11	21,64	13	6
110	176	4,2	- 3 21	43 0,004	- 4	21,24	7	6
111	1134	3,3	+ 6 53	4 47 8,058	+ 2	21,41	15	6
112	1135	5,1	+18 45	48 26,873	- 5	21,57	13	5
113	179	3,8	+ 5 31	48 32,420	+ 4	21,09	8	6
114	1136	5,2	+14 10	49 42,061	+ 6	21,44	12	5
115	180	3,9	+ 2 22	51 38,661	+ 6	21,60	15	4
116	184	4,7	+21 31	5 0 6,333	+ 8	21,60	16	4
117	1140	4,6	+15 20	1 42,568	- 1	21,75	24	3
118	188	2,9	- 5 9	5 23,235	+16	21,79	9	7
119	1142	5,4	+ 9 46	6 34,536	+ 4	21,18	7	9
120	1141	6,0	+27 58	6 36,614	+ 4	21,17	5	10
121	1144	3,3	-16 16	5 10 41,091	+28	21,78	9	7
122	194	0,3	- 8 15	12 7,985	0	21,33	10	9
123	195	3,7	- 6 54	15 10,574	+ 4	22,08	18	6
124	1146	4,3	-13 14	17 16,187	+12	21,82	6	9
125	1147	4,6	- 0 26	19 12,458	- 7	21,58	16	4
126	201	1,7	+ 6 18	5 22 26,818	+ 7	21,66	6	7
127	202	1,8	+28 34	23 7,750	0	21,20	10	6
128	1148	5,3	+17 55	24 14,938	- 4	21,73	10	5
129	204	3,0	-20 48	26 6,063	-14	21,41	5	5
130	206	2,5	- 0 20	29 27,011	- 2	21,67	8	5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
131	1155	6,0	— 4 6	5 46 5,848	+ 1	21,95	11	5
132	1158	4,5	+27 36	50 10,985	— 8	21,48	11	4
133	224		+ 7 24	52 27,826	—20	21,64	14	6
134	226	3,8	—14 11	54 7,485	+ 6	21,74	11	5
135	1161	5,2	+ 0 33	56 15,197	—16	21,53	24	5
136	1163	4,3	+23 16	6 1 4,744	—21	21,78	6	8
137	230	5,7	+ 4 10	2 19,738	—11	21,64	14	7
138	232	4,4	+14 46	4 42,965	+ 8	21,59	23	5
139	1170	5,1	— 7 48	17 18,190	0	22,03	14	6
140	241	3,2	+22 32	19 56,189	+ 7	21,38	10	7
141	243	2,0	—17 56	6 20 29,769	— 1	21,66	6	5
142	244	4,5	+ 4 37	21 7,018	— 3	21,69	18	4
143	246	5,0	— 4 44	25 29,228	— 8	22,20	9	7
144	1173	4,1	+20 15	25 59,621	+ 3	21,36	6	5
145	1174	4,5	+ 7 22	30 11,941	—13	21,98	7	10
146	1175	5,0	— 1 11	6 31 5,555	+ 8	21,63	18	6
147	251	1,9	+16 27	34 49,456	— 5	21,69	21	4
148	254	3,2	+25 11	40 51,359	+ 3	21,64	10	5
149	256	3,4	+12 57	42 28,786	— 8	21,70	11	9
150	1177	5,8	+ 8 38	43 48,753	—11	21,72	3	11
151	258	4,7	+ 2 28	6 45 15,134	— 7	21,42	12	4
152	1179	5,6	— 2 13	46 45,222	—13	21,75	14	4
153	266	4,2	—11 58	51 51,744	+ 5	21,68	5	5
154	1181	5,8	— 8 20	57 59,512	+ 7	22,01	13	6
155	1182	5,2	+24 17	59 22,007	— 9	21,30	5	10
156	269		+20 39	7 1 8,621	+ 6	21,86	8	7
157	271	4,1	—15 33	1 29,685	—19	21,83	4	15
158	1185	5,9	+ 7 33	5 7,282	— 1	21,75	18	6
159	1186	5,0	— 4 9	7 44,610	— 6	21,88	16	5
160	1187	4,1	— 0 25	9 18,597	—10	21,86	16	5
161	1188	5,3	+16 15	7 10 30,045	0	21,55	16	4
162	277	3,6	+16 38	15 13,132	+ 6	21,44	20	4
163	279	3,5	+22 5	17 8,236	+ 9	21,28	11	6
164	1192	5,8	—13 39	22 50,170	+ 9	21,66	9	7
165	285	3,1	+ 8 23	24 26,286	+ 7	21,34	10	7
166	287		+32 0	7 31 24,355	— 5	21,81	7	5
167	1196	4,2	+21 01	32 50,545	— 5	21,31	7	5
168	289	5,2	— 4 0	34 47,389	0	21,64	10	10
169	291	0,5	+ 5 21	36 40,081	—14	21,59	15	14
170	294	3,7	+24 31	41 25,812	+ 3	21,43	8	8
171	1200	5,0	+18 38	7 43 13,712	— 9	22,20	8	5
172	1202	5,1	—14 26	43 38,636	+ 1	21,46	5	9
173	296	5,3	+33 32	44 17,088	0	21,36	6	6
174	1205	5,1	+ 1 54	49 6,369	2	21,14	11	5
175	1207	5,0	+26 54	50 26,307	+ 9	21,37	9	6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
176	1208	6,0	+15 56	7 54 9,146	+ 1	21,79	11	6
177	304	5,1	— 3 33	57 14,168	+ 1	21,27	5	6
178	305	5,0	+27 56	8 0 26,958	— 2	21,40	8	7
179	311	5,0	—15 38	11 1,975	—14	21,69	6	7
180	312	3,8	+ 9 20	13 48,218	+ 2	21,72	7	4
181	1216	6,7	+ 4 22	8 14 40,570	— 3	21,48	5	9
182	1218	6,3	—10 1	16 51,197	+ 2	21,75	5	7
183	1220	5,9	+18 30	20 30,081	— 3	21,14	14	6
184	1222	5,9	+14 23	25 49,995	+ 4	21,55	12	5
185	321	5,5	+20 37	29 49,098	+ 6	20,58	6	6
186	1223	4,2	+ 5 53	8 35 0,510	+12	21,11	6	8
187	1224	4,5	+ 3 31	36 8,627	—17	21,11	6	9
188	325	5,2	—12 18	37 39,157	+ 8	21,41	9	5
189	1228	4,7	+21 39	40 23,535	—12	20,82	6	16
190	326	4,2	+18 20	41 50,722	+19	21,30	7	9
191	328	4,2	+28 57	8 43 40,485	+ 8	20,66	4	1
192	1230	5,2	— 3 15	46 50,907	—10	21,45	11	8
193	334	3,3	+ 6 8	52 44,941	— 6	21,08	4	6
194	337	4,3	+12 3	55 45,298	0	21,38	6	4
195	1235	5,8	— 0 17	59 24,637	— 5	20,75	4	4
196	1236	6,7	— 4 58	9 1 13,858	+ 4	21,01	6	7
197	1238	5,1	+10 52	5 2,382	— 1	21,37	10	5
198	1240	5,8	—12 9	6 47,607	—14	21,56	5	10
199	1242	5,8	—19 33	9 41,137	—13	20,67	5	6
200	347	3,8	+ 2 32	11 46,004	0	20,63	10	5
201	350	6,6	+17 55	9 16 11,378	+ 1	21,32	12	6
202	1244	4,6	+26 24	21 44,716	—13	20,59	9	7
203	1245	5,8	— 4 54	22 53,997	+15	21,52	12	5
204	354	2,2	— 8 26	25 7,758	— 8	20,94	5	9
205	1246	5,1	+11 31	29 14,999	— 4	21,17	9	5
206	1249	4,8	+ 4 53	9 35 50,607	—13	21,11	15	4
207	1250	4,1	— 0 55	37 18,214	— 3	21,24	6	8
208	365	3,8	+10 7	38 28,800	— 9	20,62	6	5
209	1252	5,6	+14 15	41 0,650	+ 9	21,17	15	4
210	367	3,1	+24 0	43 0,929	+ 2	20,87	6	8
211	1253	6,9	+18 55	9 43 5,467	—12	22,14	4	18
212	370	6,0	— 4 0	48 42,859	+21	20,98	8	8
213	373	5,2	—18 46	52 30,511	—15	21,12	7	6
214	376	6,6	+ 3 37	57 7,383	+ 2	21,09	6	5
215	378	4,9	+ 8 17	57 34,306	+18	21,27	4	14
216	1261	4,7	—12 49	10 2 41,239	+ 1	21,12	8	5
217	379	3,6	+17 0	4 36,533	+ 3	21,36	11	6
218	380	1,3	+12 13	5 42,286	0	21,29	4	5
219	381	3,8	—12 6	8 8,652	+12	21,66	4	6
220	1263	5,4	— 7 49	15 8,432	+ 3	20,81	7	8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
221	1266	6,5	+ 2 33	10 18 27,064	-13	21,31	12	7
222	388	6,1	- 3 49	20 54,726	- 4	21,21	7	3
223	389	4,1	-16 35	23 40,023	+ 5	21,23	5	6
224	1270	5,2	- 2 29	26 56,227	- 1	20,95	7	6
225	1271	6,9	+28 50	27 5,705	-16	21,10	7	7
226	1272	5,7	+14 24	10 29 31,665	- 6	21,08	9	6
227	1275	4,8	+32 14	35 54,667	- 6	20,96	4	8
228	404	6,4	- 1 29	38 51,333	- 8	20,81	9	7
229	1278	6,3	+ 6 38	43 29,487	+ 9	20,90	5	6
230	1279	5,6	+19 9	43 43,206	+15	21,09	8	6
231	409	5,3	+10 49	10 46 37,796	+ 6	21,15	8	2
232	1281	5,8	- 8 38	47 47,458	+14	21,04	4	6
233	412	3,9	+34 29	50 31,398	+19	21,34	10	7
234	1284	5,0	+ 3 53	57 58,711	- 9	21,11	5	7
235	1285	7,1	- 3 15	11 0 4,081	+11	20,92	5	4
236	418	4,7	+ 7 36	11 2 25,815	- 6	20,79	6	5
237	1286	6,1	-10 49	3 3,323	+ 1	20,80	6	8
238	1287	5,7	+ 2 14	4 20,617	- 8	21,07	11	5
239	422	2,6	+20 48	11 27,298	- 2	21,16	10	8
240	1292	4,6	- 3 23	14 6,935	-11	21,33	4	7
241	425	3,7	+33 22	11 15 46,894	- 6	21,29	7	6
242	426	3,8	-14 30	16 50,111	+ 2	21,02	7	6
243	427	4,1	+ 6 18	18 33,359	+ 3	20,97	12	4
244	1295	7,2	+27 1	23 6,820	-20	20,88	5	12
245	1296	6,5	+ 3 17	24 12,422	- 3	21,14	7	8
246	1297	5,2	+ 3 8	11 25 21,944	- 8	21,16	15	4
247	1299	4,8	- 9 32	34 8,490	+10	21,41	6	3
248	437	4,5	- 0 33	34 23,255	- 2	21,30	7	6
249	1301	4,9	-18 4	42 13,546	- 3	21,40	6	3
250	1302	4,2	+ 6 49	43 17,314	+ 3	20,82	12	6
251	1304	4,5	+20 30	11 45 24,247	+ 7	20,65	11	5
252	444	2,2	+14 51	46 29,880	- 1	21,12	11	7
253	445	3,8	+ 2 3	48 6,420	+ 5	20,85	8	4
254	1306	5,8	- 5 3	48 28,749	- 3	21,14	5	7
255	1308	5,5	+15 56	53 6,299	+ 2	21,19	8	7
256	1310	6,3	+32 33	11 55 33,079	- 4	21,04	10	7
257	1311	4,6	+ 6 54	58 18,624	+11	21,29	10	5
258	450	4,2	+ 9 1	12 2 39,382	-10	20,94	12	7
259	1313	6,3	+17 05	7 58,726	+11	20,74	9	5
260	457	2,8	-17 16	13 13,602	+ 5	21,50	4	5
261	1315	7,0	- 8 38	12 16 45,591	-22	20,56	4	20
262	460	4,0	- 0 23	17 20,668	0	21,32	9	5
263	1318	4,8	+26 7	19 59,587	-10	21,18	10	9
264	466	5,7	+21 10	27 12,611	+ 4	21,15	7	9
265	465	3,1	-16 14	27 16,081	+17	21,30	6	8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
266	1321	5,8	—12 33	12 30 58,412	+11	21,13	5	9
267	473	5,2	+18 39	32 37,297	0	21,10	9	3
268	1324	5,9	— 5 33	34 12,608	— 1	21,08	16	5
269	475	4,8	— 7 43	36 39,632	— 5	21,29	11	5
270	1326	5,0	+10 31	39 21,295	— 7	21,59	7	6
271	1328	5,2	+ 7 57	12 43 5,265	— 3	20,99	10	5
272	1330	6,7	+ 3 51	45 18,540	0	21,17	17	3
273	1332	5,1	+27 49	49 15,843	+ 2	21,11	10	5
274	1333	6,5	+17 21	49 43,054	+15	21,08	9	9
275	1336	5,9	— 3 33	57 4,747	+ 1	21,38	11	4
276	488	3,0	+11 14	12 59 41,809	— 8	21,06	22	4
277	1339	6,0	+21 25	13 3 54,909	+16	20,90	10	6
278	490	4,5	— 5 16	7 21,423	— 3	21,49	7	5
279	492	4,3	+28 8	9 31,136	— 8	21,49	6	8
280	1344	5,0	+ 5 44	15 4,684	+ 9	21,32	4	12
281	498	1,2	—10 54	13 22 33,230	— 9	21,09	7	7
282	1349	5,2	+14 3	25 58,653	— 5	20,91	13	8
283	1351	4,9	+ 3 55	31 35,819	— 2	20,97	24	2
284	1352	5,8	— 5 9	32 55,044	+14	21,05	11	4
285	1355	5,2	— 8 27	38 58,915	+10	21,14	20	5
286	1357	5,7	—15 56	13 41 47,662	0	21,35	15	5
287	1358	5,9	+25 57	44 23,967	+ 3	20,68	14	4
288	507	4,5	+17 42	44 52,390	— 7	21,10	17	11
289	510	5,1	—17 53	47 8,809	— 6	21,16	6	6
290	1359	6,5	+ 8 39	47 15,011	—17	21,29	12	5
291	513	2,8	+18 39	13 52 18,070	— 4	21,32	22	4
292	1360	6,3	+32 17	53 27,159	+ 6	21,26	11	8
293	1362	6,3	— 3 18	57 13,579	+ 5	21,27	32	3
294	517	6,1	+27 38	58 54,281	0	21,03	16	5
295	516	4,3	+ 1 47	59 5,965	0	21,47	7	4
296	1365	6,4	—14 44	14 1 44,201	— 3	21,15	15	7
297	1366	6,6	— 8 39	3 38,658	+ 2	20,80	12	4
298	522	4,8	+25 20	8 7,016	—14	21,09	6	5
299	523	4,3	—10 3	10 13,467	+ 8	20,90	6	8
300	526	0,2	+19 27	13 21,153	+ 4	20,63	6	5
301	525	4,2	— 5 46	14 13 23,323	— 9	21,38	9	11
302	1369	5,7	—18 29	15 51,913	— 6	21,68	5	5
303	1370	4,8	+35 44	15 52,963	+15	21,06	7	9
304	1371	4,6	—13 9	16 23,936	— 7	20,56	4	8
305	1372	5,3	+13 14	16 51,131	0	20,90	16	4
306	1374	6,3	—11 29	14 20 43,899	+ 4	21,44	13	5
307	1375	5,1	+ 6 3	21 41,775	— 3	20,74	9	5
308	1378	5,4	+19 27	24 7,627	+ 8	21,04	20	4
309	533	5,0	— 2 0	25 37,158	— 4	21,32	13	4
310	534	3,8	+30 35	29 40,271	— 7	21,19	8	6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
311	1380	4,5	+29 58	14 32 30,447	- 1	21,16	14	7
312	1381	6,2	-12 6	34 18,638	- 2	21,36	14	3
313	1382	5,6	+11 53	39 19,033	- 2	21,86	9	5
314	545	4,0	- 5 27	40 25,429	- 3	21,16	14	4
315	1383	4,9	+26 44	41 13,413	- 8	20,95	12	4
316	547	3,8	+ 2 6	14 43 42,914	- 6	21,37	14	5
317	1387	5,3	-15 47	47 54,813	+ 5	21,53	7	8
318	1388	6,7	+ 6 27	51 11,168	+16	21,45	15	6
319	551	5,8	+14 39	53 51,481	+ 6	21,18	29	4
320	1394		- 8 19	58 17,711	- 2	21,28	13	6
321	557	4,7	+27 8	15 2 17,817	- 1	20,92	17	5
322	1396	5,0	+25 4	5 6,496	+ 6	21,43	17	5
323	559	4,7	-19 36	9 21,884	- 6	20,94	15	6
324	562	5,4	+ 5 7	12 42,038	+ 8	21,13	18	3
325	564	2,7	- 9 12	14 18,598	+10	21,92	12	4
326	1400	5,7	+20 45	15 16 9,874	+ 3	21,10	8	5
327	1401	6,7	+10 37	16 17,736	-13	21,15	14	4
328	1405	6,7	-14 57	20 14,165	+10	21,14	10	8
329	1406	6,1	- 0 51	21 8,944	- 4	20,89	10	7
330	570	5,5	+15 36	23 18,093	- 2	20,93	30	4
331	1407	5,9	-16 33	15 25 25,931	- 1	21,27	10	8
332	572	3,7	+29 17	25 45,658	+ 2	20,94	11	8
333	1408	6,5	+ 8 45	28 29,668	- 4	21,15	26	4
334	576	4,2	+31 32	30 54,665	+ 6	21,01	11	6
335	578	2,3	+26 53	32 34,333	- 4	21,40	7	7
336	577	4,0	-14 37	15 35 43,552	-14	21,35	4	9
337	1413	5,0	-19 31	39 3,572	- 7	21,05	6	12
338	582	2,8	+ 6 35	41 48,337	- 6	21,12	8	7
339	583	3,7	+15 35	43 52,750	-18	20,68	4	10
340	584	4,3	+18 18	46 29,139	- 4	20,85	4	9
341	585	3,6	- 3 17	15 47 0,328	+ 8	21,15	8	5
342	588	3,8	+ 4 38	48 19,414	- 6	21,13	12	4
343	1415	5,1	-20 1	50 25,574	-11	20,90	6	13
344	591	3,9	+15 49	54 8,899	0	21,00	28	4
345	1417	4,7	-14 8	55 23,081	+ 3	20,39	8	5
346	593	4,2	+27 1	15 55 30,796	- 8	20,94	18	4
347	1419	5,5	-16 23	57 30,011	- 8	21,15	4	10
348	1420	5,6	- 8 16	58 5,396	-12	21,04	10	4
349	597	2,9	-19 40	16 2 31,480	-18	21,08	14	7
350	1421	5,3	+17 11	5 48,945	+ 3	21,02	10	8
351	1422	6,0	+ 6 31	16 6 43,625	+ 6	21,00	8	6
352	605	3,3	- 4 34	15 40,462	0	21,01	22	5
353	1427	4,8	+ 1 9	19 32,020	- 4	21,03	20	4
354	609	3,8	+19 16	19 42,684	+16	20,98	10	5
355	1428	6,3	+32 27	21 1,256	+36	20,56	4	34

1	2	3	4	5	6	7	8	9
356	1429	5,7	+ 7 44	16 21 44,540	+14	21,22	16	6
357	613	4,5	+14 9	23 6,419	- 6	20,91	21	4
358	1430	5,8	-14 27	26 57,155	- 1	21,30	10	7
359	618	2,8	+21 36	28 3,960	+ 1	20,62	5	9
360	1433	5,9	- 2 13	33 44,310	+ 4	20,79	21	3
361	622	2,7	-10 28	16 34 24,158	+ 5	21,71	10	6
362	1436	6,0	+ 2 9	44 38,314	+ 7	20,85	23	5
363	1438	4,7	-10 42	47 3,982	-17	20,93	5	9
364	1440	5,2	+24 44	49 40,795	- 5	20,92	7	6
365	629	6,4	+15 3	49 48,155	+ 4	20,76	11	6
366	1442	4,3	+10 15	16 51 38,309	- 8	20,83	15	5
367	633	3,4	+ 9 27	55 17,552	+ 9	20,95	17	6
368	634	3,9	+31 0	58 22,389	- 4	20,71	8	8
369	1445	5,0	- 4 9	58 25,174	+16	20,74	18	5
370	635	4,9	+12 48	3 3,513	- 1	21,05	17	5
371	1449	6,1	-17 33	17 5 20,439	-28	20,68	5	6
372	1450	5,6	-10 28	7 1,990	- 9	20,83	6	9
373	1451	6,4	+ 7 57	9 20,479	+ 1	21,00	11	7
374	641	3,2	+24 54	12 58,516	- 4	21,04	14	4
375	1453		+ 1 16	13 59,350	- 2	21,24	13	8
376	1454	5,2	+18 6	17 18 6,541	+ 1	20,79	15	4
377	1458	6,3	- 1 37	23 22,099	+ 2	20,84	11	7
378	647	4,6	- 5 3	23 58,422	+ 8	21,11	5	12
379	1459	4,4	+ 4 11	24 1,890	- 7	20,93	8	6
380	1460	4,5	+26 9	28 42,976	- 2	21,96	14	7
381	1461	5,7	-11 13	17 31 59,379	+15	20,81	6	6
382	656	2,1	+12 36	32 36,858	- 5	20,77	9	11
383	658	3,6	-15 22	34 43,202	- 6	21,29	6	5
384	665	2,9	+ 4 35	40 59,982	- 1	20,99	9	7
385	667	3,5	+27 45	44 29,459	-50	20,97	12	7
386	668	3,7	+ 2 43	17 45 22,997	+12	21,01	18	5
387	1465	5,8	+20 35	46 15,977	+11	20,98	8	5
388	1466	6,8	+ 9 52	47 47,122	+ 8	21,01	24	5
389	1467	6,9	- 7 44	52 14,957	-15	21,13	14	4
390	1468	5,5	+26 3	53 24,047	0	21,28	5	6
391	674	3,8	+29 15	17 55 49,330	-16	21,18	8	7
392	673	3,5	- 9 46	56 16,316	- 3	20,81	14	10
393	1469	4,7	+16 45	57 49,758	- 5	20,94	18	5
394	680	3,7	+ 9 33	4 58,559	- 8	21,08	17	6
395	681	3,8	+28 45	18 5 35,415	- 1	21,24	5	5
396	1472	6,5	-13 57	18 6 52,980	- 6	21,43	5	7
397	1475	6,3	- 9 47	14 38,883	+ 1	20,89	25	4
398	1476	4,9	+ 3 21	18 22,194	- 3	20,99	15	6
399	688	3,4	- 2 55	18 42,503	+ 9	20,88	10	5
400	690	3,9	+21 45	21 34,234	0	20,98	10	8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
401	1478	5,7	+ 8 0	18 23 14,381	+ 4	20,99	17	6
402	1479	5,7	+29 48	24 3,003	— 1	20,98	17	7
403	696	4,7	—14 36	26 20,798	— 7	20,82	16	5
404	1480	5,4	— 2 1	27 4,832	+14	21,18	6	8
405	1481	5,7	+16 54	28 50,861	+ 6	21,10	14	4
406	1482	4,1	— 8 17	18 32 29,072	— 9	20,96	8	11
407	1484	5,4	+ 9 5	34 4,632	+13	20,99	14	5
408	1486	4,7	— 9 6	39 32,124	+ 6	20,92	28	4
409	702	5,1	— 8 20	40 47,841	— 7	21,02	27	4
410	703	4,3	+20 30	43 30,503	+ 8	21,05	16	6
411	1489	4,5	— 4 48	18 44 31,234	+ 6	20,79	11	7
412	1491	4,4	+18 7	44 48,814	+ 6	20,92	5	6
413	705		+33 18	48 13,948	+12	21,24	4	12
414	1495	5,6	—16 26	52 58,132	— 8	20,84	10	7
415	709	4,5	+ 4 8	53 44,045	+ 3	21,30	13	4
416	712	4,2	+15 0	18 57 21,043	0	21,02	18	3
417	716	3,0	+13 47	19 3 6,634	— 4	20,93	26	4
418	717	3,6	— 4 58	3 35,654	— 4	20,56	9	8
419	1497	6,7	— 1 25	3 59,777	—19	21,16	16	4
420	720	3,0	—21 6	6 47,447	— 2	20,76	4	12
421	1500	5,4	— 8 1	19 9 57,985	+11	20,61	19	5
422	725	5,1	+11 30	15 28,104	— 3	20,93	10	5
423	727	4,6	—16 3	18 51,824	—10	21,01	19	4
424	1503	5,2	+11 50	22 36,135	— 2	21,15	15	3
425	730	3,4	+ 3 1	22 58,958	+ 9	20,74	9	5
426	1505	6,0	+19 47	19 24 17,323	—20	21,04	12	8
427	1508	4,6	+24 34	26 37,218	+ 2	20,94	20	4
428	1509	5,2	— 2 54	28 2,936	+ 4	21,04	20	5
429	732	3,2	+27 51	28 42,225	+ 2	20,89	7	8
430	1510	4,8	+34 21	29 54,736	+16	21,57	4	7
431	1511	4,6	+ 7 16	19 31 39,048	— 4	20,82	38	4
432	737	5,0	— 7 8	34 12,076	+ 3	20,90	14	5
433	1512	5,4	—16 25	37 51,657	— 5	21,01	6	9
434	1513	4,4	+17 22	38 48,140	— 2	21,31	30	5
435	1514	5,1	—16 15	39 39,659	— 1	21,20	8	11
436	1515	5,4	+25 39	19 41 38,111	— 4	21,01	24	4
437	741	2,8	+10 29	43 52,931	+ 1	20,93	33	4
438	743	3,8	+18 25	45 9,435	— 4	20,88	25	5
439	744	5,6	—10 54	48 1,706	—12	20,81	21	4
440	745	0,9	+ 8 44	48 20,363	+ 4	21,23	7	7
441	746		+ 0 53	19 49 55,536	0	20,82	38	3
442	1519	5,6	— 3 15	50 41,627	— 5	21,26	7	7
443	749	3,9	+ 6 17	52 51,453	+ 8	21,06	10	6
444	1521	4,0	+34 57	54 25,669	+ 1	21,11	5	8
445	1522	5,0	—15 38	55 6,957	+ 1	20,77	16	5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
446	752	3,7	+19 21	19 56 32,035	0	21,12	19	4
447	1523	4,7	+27 37	59 2,484	-12	21,13	8	8
448	1524	5,6	+ 7 8	20 1 41,764	0	21,01	12	4
449	756	3,4	- 0 58	8 43,535	- 9	21,00	13	6
450	1526	5,0	+15 3	11 57,823	- 7	20,90	25	3
451	760	5,4	+24 31	20 14 38,613	- 9	20,72	11	7
452	1527	4,6	-12 40	14 52,673	- 1	20,92	11	5
453	761	3,8	-12 42	15 16,973	+ 8	20,83	9	8
454	762	3,2	-14 56	18 12,252	- 4	20,46	5	9
455	1531	5,4	+ 5 11	20 41,975	+ 6	20,90	20	3
456	1533	5,1	- 3 3	20 27 2,316	+ 8	20,62	22	9
457	1534	4,1	+30 12	27 21,051	-10	21,45	6	13
458	1536	5,8	-10 1	29 40,041	+ 2	20,89	13	6
459	768	4,0	+11 8	30 49,410	- 5	20,60	10	7
460	1537	6,7	+ 4 44	31 30,567	- 2	20,48	6	6
461	774	3,9	+15,44	20 37 18,963	- 3	20,61	4	9
462	778	4,5	+14 54	41 7,389	+ 4	20,76	39	4
463	1541	4,5	+15 57	44 20,201	+14	20,61	17	5
464	781	3,8	- 9 41	44 58,260	- 4	20,92	7	5
465	1543	4,6	- 5 13	45 5,977	+ 5	20,75	16	5
466	1545	6,5	- 0 45	20 46 42,937	+ 8	20,79	24	5
467	1547	4,8	- 9 10	49 57,530	- 3	20,86	20	4
468	786	5,2	+27 52	52 25,628	- 6	20,97	24	5
469	1548	6,0	-16 14	54 52,867	- 3	20,92	11	5
470	1549	5,6	+22 8	56 2,122	0	20,90	19	6
471	789	6,3	- 4 55	20 57 55,958	+12	20,86	25	4
472	1552	4,2	-17 26	21 3 8,438	+ 1	20,66	7	8
473	1553	7,1	- 0 18	3 59,443	-19	20,90	18	5
474	794	4,5	-11 36	6 52,453	+17	20,52	16	5
475	1555	4,8	+ 9 56	7 54,642	-20	20,79	17	6
476	797	3,4	+30 1	21 10 48,353	- 2	20,85	13	5
477	800	4,1	+ 5 2	13 19,520	+ 1	20,93	22	5
478	1559	4,4	+34 41	15 51,599	+25	21,20	5	7
479	804	4,3	+19 35	19 46,529	+25	21,04	8	4
480	1562	5,5	-13 6	21 27,764	-11	21,00	6	11
481	1564	6,7	+ 7 59	21 25 56,907	- 9	20,67	17	5
482	808	3,1	- 5 48	28 55,678	+ 1	20,85	9	6
483	1569	4,8	- 8 5	35 5,610	- 7	20,78	8	9
484	1570	5,3	+19 6	35 25,087	+ 1	20,91	16	5
485	812	3,8	-16 53	37 19,631	-12	20,67	4	5
486	818	5,4	-11 36	21 43 50,732	+ 6	20,68	8	6
487	1574	5,5	+ 2 27	44 41,834	- 1	20,87	13	8
488	1575	5,0	+29 56	47 37,822	- 2	21,03	8	7
489	1577	5,2	-13 47	50 34,736	- 5	20,52	6	4
490	823	5,0	+25 41	50 47,091	- 6	20,78	10	7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
491	1579	6,6	+21 0	21 54 3,571	+ 6	20,81	17	5
492	1580	6,4	- 4 37	56 18,538	+ 7	20,87	19	5
493	826	5,7	+12 53	58 39,192	+12	20,81	17	6
494	827	3,2	- 0 34	22 3 12,969	0	21,07	10	6
495	828	4,4	-14 7	3 44,360	- 1	20,83	5	10
496	831	4,0	+25 6	22 4 41,276	-13	20,66	5	12
497	833	5,6	+32 56	7 0,391	- 1	20,72	4	25
498	834	3,7	+ 5 57	7 40,986	+ 4	20,80	8	8
499	835	4,4	+32 56	7 45,742	-20	20,91	5	4
500	1582	6,6	-16 4	11 55,871	-10	20,72	9	8
501	843	4,9	+11 57	22 19 3,323	- 4	20,75	13	7
502	842	4,0	- 1 38	19 4,595	- 4	20,76	4	9
503	1585	4,6	+ 1 7	22 43,406	0	20,94	12	6
504	1586	6,4	+18 11	23 15,825	+11	20,90	5	7
505	1588	5,8	+ 8 52	26 38,256	- 8	20,95	7	5
506	1589	6,0	+26 30	22 26 49,498	+ 7	20,66	7	6
507	1591	4,9	-10 56	28 0,107	-17	20,91	5	9
508	850	4,1	- 0 23	32 47,312	-11	20,26	11	8
509	1595	5,3	- 4 29	35 9,929	+ 2	20,71	7	10
510	855	3,6	+10 34	38 58,112	+ 4	20,53	18	5
511	857	3,1	+19 58	22 40 39,279	- 7	21,22	6	7
512	1596	6,4	+19 6	43 2,036	+16	20,60	25	3
513	859	4,1	+23 18	44 7,245	-13	20,23	6	8
514	1598	7,6	- 2 3	44 55,265	-11	20,70	6	6
515	861	4,2	-13 51	46 56,712	-19	20,49	7	13
516	862	3,7	+24 20	22 47 35,414	+ 2	20,48	6	6
517	864	3,8	- 7 51	50 0,390	+ 5	20,56	12	5
518	866	3,5	-16 5	51 59,842	+ 1	20,64	10	8
519	1602	4,6	+ 3 33	23 1 19,889	+ 7	20,57	17	5
520	870	2,6	+27 49	1 21,041	-20	20,47	8	5
521	871	2,6	+14 56	23 2 16,145	- 5	20,33	15	5
522	1603	4,7	+ 9 8	4 29,033	- 3	20,41	13	7
523	1606	5,2	+ 8 27	9 12,600	- 3	20,48	16	3
524	1607	4,4	- 6 19	11 44,033	+ 5	20,55	11	8
525	1608	4,5	- 9 22	13 16,848	- 8	20,58	8	8
526	878	3,8	+ 3 1	23 14 35,404	+10	20,94	14	4
527	1609	5,2	- 9 53	16 21,707	- 3	20,75	7	6
528	880	4,6	+23 28	18 9,558	+ 2	20,89	12	8
529	881	4,6	+23 8	22 53,090	0	20,75	14	4
530	884	4,9	+ 0 59	24 22,201	- 3	20,49	19	2
531	1614	4,4	+ 6 6	23 25 25,640	+ 6	20,85	8	4
532	1615	7,0	+15 44	26 31,107	-13	20,84	13	6
533	888	6,5	- 7 44	32 57,300	+ 6	20,70	10	7
534	892	4,3	+ 5 21	37 23,144	+ 9	21,20	9	9
535	1620	4,6	+ 1 30	39 29,445	- 6	21,28	5	10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
536	1621	5,3	—18 33	23 41 36,604	+11	20,34	5	9
537	1623	5,6	— 3 2	45 22,402	+15	20,69	10	9
538	897	6,1	—10 15	47 40,126	+22	20,75	8	10
539	898	5,2	+18 51	49 56,423	+ 2	20,74	14	5
540	1625	5,4	+10 40	50 3,888	— 6	21,35	4	10
541	1628	6,3	+22 22	23 54 8,333	—14	20,73	4	2
542	1629	4,8	+24 52	55 12,334	+ 8	20,80	9	6
543	900	5,1	— 3 50	56 6,677	—16	20,65	15	4
544	902	4,0	+ 6 35	56 44,700	— 4	20,65	6	5

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Деркач К. Н., Зуев Н. Г., Кузьменко К. Н. Предварительное исследование хода по склонению инструментальных параметров Харьковского меридианного круга. — В кн.: Современные проблемы позиционной астрометрии, 1975, с. 134—137.
2. Деркач К. Н. Результаты наблюдений, произведенных на меридианном круге Харьковской обсерватории в 1968—1973 гг. — «Вестн. Харьк. ун-та. Астрономия», 1974, вып. 9, с. 64—72.
3. Зверев М. С., Положенцев Д. Д. Об одном методе редукции относительных меридианных наблюдений прямых восхождений с использованием ЭВМ. — «Учен. зап. Ленингр. ун-та. Тр. астроном. obs.», 1973, вып. 48, с. 196—201.
4. Деркач К. Н. Дифференциальный каталог прямых восхождений 1746 ярких звезд в системе FK4 на эпоху наблюдений и равнодействие 1950.0 (зона — 16—+30°). — «Вестн. Харьк. ун-та. Физика Луны и планет. Вопросы астрометрии», 1976, № 137, с. 31—65.

УДК 522.982

П. П. Павленко

О СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОШИБКАХ КОРОТКОФОКУСНОГО АСТРОГРАФА ЦЕЙССА

В 1974—1975 гг. продолжено изучение короткофокусного астрографа Цейсса, начатое в 1973 г. [1, 2].

Исследована дисторсия и положение оптического центра методом скользящих звездных пар [3]. В январе 1975 г. получены две пластинки со снимками скользящих звездных пар по α , две пластинки — по δ . На каждой пластинке производилось по 20 экспозиций со сдвигом астрографа по одной из координат. Максимальное расстояние одной из звезд пары до оптического центра достигало 3°. Вычисления проведены по формулам, предоставленным Х. И. Поттером. Для каждой экспозиции составлены уравнения:

$$x + Ay + Bz = L, \quad (1)$$