

Science, 1969, 167, N 3918, p. 707—709. 8. O'Leary B. T., Briggs F. Optical properties of «Apollo-11» Moon samples. — Journ. Geophys. Res., 1970, 75, N 32, p. 6532—6537. 9. O'Leary B. T., Briggs F. Optical properties of «Apollo-12» Moon samples. — Journ. Geophys. Res., 1973, 78, N 5, p. 792—797. 10. Pohn H. A., Radin H. W., Wildey R. L. The Moon photometric function near zero phase angle from Apollo-8 photography. — The Astrophys. Journ. 1969, 157, N 3, p. 193—195. 11. Wildey R. L. The Moon in Heiligenschein. — Science, 1978, 200, N 4347, p. 1265—1267. 12. Псарев В. А. Построение численной модели лунной индикатрисы. — Депон. в ВИНТИ, 25 сент., 1980, № 4222—80. — 32 с. 13. Boyce I. M., Johnson D. A. Ages of flow units in the far lastern maria and implications for basin-filling history. — Proc. 9th lunar and planetary science conference. Houston, Texas, 1978, 3, p. 3275—3283. 14. Soderblom L. A., Lebofsky L. A. A technigue for rapid determination of reletive agesof lunar areas from orbital photography. — Journ. Geophys. Res., 1972, 77, N 2, p. 279—297. 15. Лаврова Н. П., Псарев В. А. Фотометрическое картирование Луны по материалам АМС «Зонд-6» и «Зонд-8». — Депон. ВИНТИ, № 1655—81, 13 апреля. 16. Псарев В. А. Лунная фотометрическая функция при малых углах фазы. II. Астроном. циркуляр АН СССР, 1979, № 1067, с. 5—7.

Поступила в редколлегию 25.05.81.

УДК 523.4

Ю. В. АЛЕКСАНДРОВ, В. П. ТИШКОВЕЦ

ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ ГЛОБАЛЬНОЙ ПЫЛЕВОЙ БУРИ НА МАРСЕ В 1971 г. С УЧЕТОМ НЕСФЕРИЧНОСТИ ЧАСТИЦ

Определение физических характеристик атмосферы Марса в периоды глобальных пылевых бурь весьма важно для изучения динамики атмосферы планеты. Кроме того, информация о размерах частиц пылевой бури, их составе дает возможность получить характеристики поверхности Марса. В настоящее время из-за отсутствия удовлетворительной теории рассеяния света на несферических частицах задачи теории переноса излучения в подавляющем большинстве случаев решаются в рамках теории Ми. Насколько нам известно, несферичность частиц при определении их размеров по оптическим характеристикам атмосферы Марса в периоды пылевых бурь не учитывалась. В то же время, как показывают экспериментальные данные, оптические свойства несферических частиц существенно отличаются от свойств сферических частиц [8, 9, 11, 12], что может приводить к значительным ошибкам при решении обратных задач.

Остановимся на некоторых результатах исследований глобальной пылевой бури на Марсе в 1971 г., полученных различными методами (подробный обзор работ см. в [4, 6]).

Из анализа изменения контрастов во время бури в работе [5] был получен интервал изменения альбеда однократного рассеяния частиц ω примерно $0,6 \div 0,95$ при изменении длины

волны света λ от 0,4 до 0,7 мкм, а анализ времени оседания частиц пыли в атмосфере дал значения среднего радиуса частиц для пылевой бури в 1924 г. в пределах 1 мкм $\leq r_0 < 10$ мкм. По результатам инфракрасной спектроскопии с КА «Маринер-9» в работе [14] получено содержание SiO_2 в частицах пыли $60 \pm \pm 10\%$. В рамках теории рассеяния Ми в работе [4], по данным поляризационных наблюдений, были получены действительная часть показателя преломления частиц $n=1,59$ и нижний предел среднего радиуса частиц $r_0 \geq 8$ мкм. В предположении силикатной природы частиц и сферичности их формы в работе [1] средний радиус частиц пыли оценен ~ 10 мкм. В стадии затухания пылевой бури размер частиц составил примерно 1 мкм [6].

Как видно, оценки, сделанные разными методами, хорошо согласуются между собой. Однако вопрос о том, насколько сильно изменится размер частиц, если учитывать их несферичность, не ясен. Что касается оценок по времени оседания пыли, то без достаточно корректного учета турбулентности атмосферы результаты могут оказаться сильно заниженными.

При определении размеров частиц мы воспользуемся данными работы [1], где получены значения видимого альбеда Марса A_B в период максимального развития пылевой бури в 1971 г. для разных длин волн (угол фазы $\alpha = 40^\circ$):

$\lambda_{\text{мкм}}$	0,366	0,433	0,536	0,654	0,717
A_B	0,027	0,052	0,108	0,219	0,256

Для атмосфер большой оптической толщины видимое альбеда можно представить в виде

$$A_B(\alpha) = \frac{2}{\pi} [\omega \chi(\pi - \alpha) C(\alpha) + \Delta G(\tilde{\omega}, \tilde{x}_1, \alpha)], \quad (1)$$

где $\chi(\pi - \alpha)$ — индикатриса рассеяния, причем

$$\frac{1}{2} \int_0^\pi \chi(\gamma) \sin \gamma d\gamma = 1, \quad (2)$$

$C(\alpha)$ — фазовая функция Ломмеля — Зеелигера

$$C(\alpha) = \frac{\pi}{16} \left(1 - \sin \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \ln \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{4} \right), \quad (6)$$

$\Delta G(\tilde{\omega}, \tilde{x}_1, \alpha)$ — фазовая функция для рассеяния высших порядков, затабулированная в работе [3]. Здесь $\tilde{\omega}$ и $\tilde{x}_1$ — эффективные значения параметров рассеяния, связанные с ω и коэффициентами разложения индикатрисы в ряд по полиномам Лежандра x_i соотношениями [2]:

$$v = 1 - \frac{x_2}{5}; \quad \tilde{\omega} = \frac{v\omega}{1 - (1-v)\omega}; \quad \frac{v\tilde{x}_1}{3} = \frac{x_1}{3} - (1-v). \quad (4)$$

Предположим, что частицы пылевой бури много больше длины волны видимого света, случайно ориентированы и показатель преломления их в коротковолновой части спектра $m = 1,55 - i 10^{-3}$. Выбор показателя преломления сделан в соответствии с результатами работы [13], где приведены значения показателя преломления для земных базальтов. В частности, при $\lambda = 0,34$ мкм $m = (1,52 \div 1,58) - i 0,93 \cdot 10^{-3}$.

Для вычисления правой части выражения (1) воспользуемся результатами измерений относительных индикатрис рассеяния света случайно ориентированными крупными несферическими частицами, приведенными в работе [9] (стекло, $n = 1,51$, частицы почти монодисперсные и волновые параметры их

$\rho = \frac{2\pi r_0}{\lambda}$ заключены в интервале $253-1440$, $5^\circ \leq \gamma \leq 175^\circ$) и в работе [8] (песок, $n = 1,56$, распределение по размерам частиц близко к нормально-логарифмическому закону со средним волновым параметром $\rho \leq 750$, $4^\circ \leq \gamma \leq 175^\circ$). В ряде работ (см., например, [11, 12]) показано, что индикатрисы рассеяния света случайно ориентированными несферическими частицами с различными функциями распределения по размерам, разных форм, размеров и состава в области больших углов рассеяния γ весьма похожи друг на друга, а при малых углах рассеяния незначительно отличаются от индикатрис для сферических частиц. Поэтому вне углов дифракции света для всех длин волн можно положить $\chi(\gamma) = \beta \chi_0(\gamma)$, где β — некоторый нормирующий множитель, зависящий от размеров и показателя преломления частиц; $\chi_0(\gamma)$ — измеренные в работах [8, 9] индикатрисы рассеяния.

Предположим также, что пылевые частицы, образованные в результате многократных дроблений, не слишком сильно вытянуты или сжаты. При этом альбеда однократного рассеяния для них незначительно отличается от ω для сферических частиц. Это утверждение справедливо в силу следующего обстоятельства. Известно, что приближение Г. ван де Хюлста [10] дает хорошие результаты для коэффициентов ослабления K_{oc} и поглощения K_n сферическими частицами. Есть основания считать, что это приближение справедливо и для несферических частиц [7]. Так, для трехосного эллипсоида получаются следующие выражения:

$$K_{oc} = \frac{\pi \Phi^3 abc}{k_0^2} \operatorname{Re} \left\{ \frac{1}{(m-1)^2} \left[1 + \frac{2k_0^2 (m-1)^2}{\Phi^2} - e^{-ik_0(m-1)\frac{2}{\Phi}} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times (1 + ik_0(m-1)\frac{2}{\Phi}) \right] \right\}; \\ K_n = \frac{\pi \Phi^3 abc}{8k_0^2 x^2} \left[\frac{8k_0^2 x^2}{\Phi^2} - 1 + e^{-k_0 x \frac{4}{\Phi}} \left(1 + k_0 x \frac{4}{\Phi} \right) \right], \quad (5)$$

где $m = n - ix$; $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$; $\Phi = \sqrt{\frac{g_{13}^2}{a^2} + \frac{g_{23}^2}{b^2} + \frac{g_{33}^2}{c^2}}$;

a, b, c — полуоси эллипсоида; g_{ij} — элементы матрицы перехода от системы координат в главных осях эллипсоида к системе координат, связанной с падающей волной. Тогда альбеда однократного рассеяния

$$\omega = \frac{\bar{K}_{oc} - \bar{K}_n}{\bar{K}_{oc}} = \frac{\bar{K}_p}{\bar{K}_{oc}}, \quad (6)$$

где черта над K означает усреднение по ориентациям эллипсоида. Обозначим a_s — радиус шара с поперечным сечением,

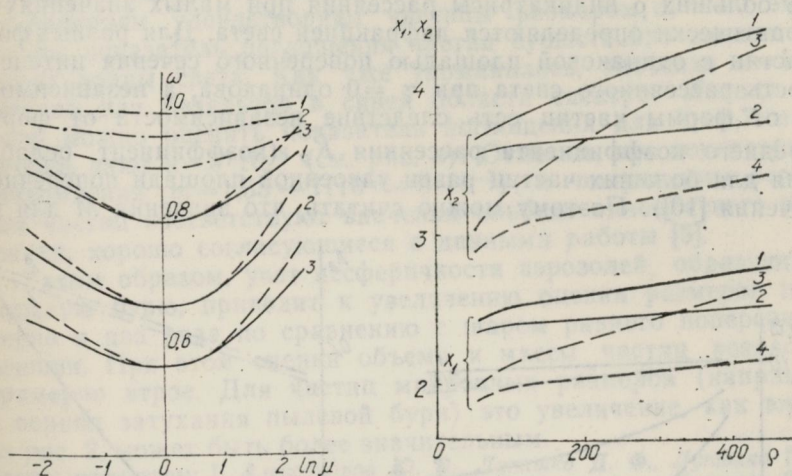


Рис. 1. Альбеда однократного рассеяния для эллипсоидов вращения: 1 — $\rho = 20$; 2 — $\rho = 50$; 3 — $\rho = 100$; $m = 1,5 - ix$; — $\kappa = 10^{-3} (r_0 = a_v)$; — — $\kappa = 10^{-2} (r_0 = a_v)$; — · — $\kappa = 10^2 (r_0 = a_s)$.

Рис. 2. Зависимость коэффициентов x_1 и x_2 от ρ : 1 — $\kappa = 10^{-3}$; 2 — $\kappa = 5 \cdot 10^{-5}$; 3, 4 — соответственно для несферических частиц.

равным среднему поперечному сечению случайно ориентированных несферических частиц, a_v — радиус шара эквивалентного объема. Некоторые результаты проведенных нами расчетов на основе формул (5), (6) для эллипсоидов вращения $a = b = \mu c$ с различными значениями μ , a_v и a_s приведены на рис. 1. Как видно, для $0,5 \leq \mu \leq 2$ и не слишком больших показателей поглощения величина ω практически не зависит от формы частиц.

Учитывая, что $\cos \gamma$ и $\cos^2 \gamma$ в интервале $0^\circ \leq \gamma \leq 4^\circ$ меняются мало, выражения для коэффициентов разложения индикатрисы в ряд по полиномам Лежандра x_i запишем в виде

$$x_1 = \frac{3}{2} \int_{4^\circ}^{180^\circ} \chi(\gamma) \cos \gamma \sin \gamma d\gamma + \frac{3}{2} M; \quad x_2 = \frac{5}{4} \left\{ 3 \int_{4^\circ}^{180^\circ} \chi(\gamma) \cos^2 \gamma \times \right. \\ \left. \times \sin \gamma d\gamma + 3M - 2 \right\}, \quad (7)$$

где $M = \int_{0^\circ}^{4^\circ} \chi(\gamma) \sin \gamma d\gamma$,

а $\chi(\gamma)$ удовлетворяет условию нормировки (2). Для достаточно больших ρ индикатрисы рассеяния при малых значениях γ практически определяются дифракцией света. Для разных форм частиц с одинаковой площадью поперечного сечения интенсивность рассеянного света при $\gamma = 0$ одинакова, а независимость ω от формы частиц есть следствие независимости от формы среднего коэффициента рассеяния $\bar{K}_p$ (коэффициент ослабления для больших частиц равен удвоенной площади поперечного сечения [10]). Поэтому можно считать, что значения M для не-

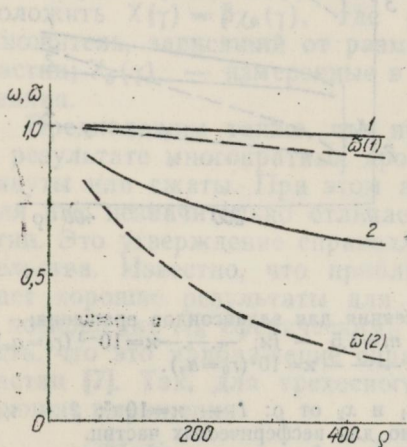


Рис. 3. Зависимость альбедо однократного рассеяния от ρ : 1— $\kappa=5 \cdot 10^{-5}$; 2— $\kappa=10^{-3}$.

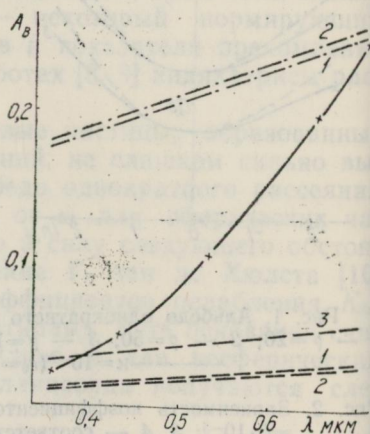


Рис. 4. Сравнение видимого альбедо с расчетами: 1— $r_0=10$ мкм (сферические частицы); 2— $a_s=20$ мкм; 3— $a_s=10$ мкм. —.—— $\kappa=5 \cdot 10^{-5}$; — — — $\kappa=10^{-3}$.

сферических частиц в нашем случае такие же, как и для сферических частиц радиусом a_s . Задавая, например, нормально логарифмический закон распределения частиц по размерам

с определенной дисперсией σ^2 , можно определить ω , M и β . Наши расчеты выполнены для дисперсии $\sigma^2=0,1$. Отметим, что альбедо однократного рассеяния и M слабо зависят от σ^2 (точнее, коэффициент x_1 , определяющий индикатрису рассеяния при малых значениях γ , и факторы эффективности $K_{oc}/\pi r_0^2$ и $K_p/\pi r_0^2$ слабо зависят от ρ). При этом оказалось, что параметры рассеяния, определенные по данным работ [8, 9] (данные [9] были экстраполированы до $\gamma=4^\circ$) мало отличаются друг от друга и в дальнейшем были приняты их средние значения. На рис. 2, 3

приведены результаты расчетов x_i , ω и $\bar{\omega}$, а параметр $0,34 \leq x_1 \leq 0,40$ — для приведенных значений ρ и m . Так как фазовая функция $\Delta G(\bar{\omega}, x_1, \alpha)$ в интервале $0 \leq x_1 \leq 0,5$ практически не

зависит от x_1 [13], мы приняли $x_1=0,5$. Результаты расчетов видимого альбедо A_B приведены на рис. 4, откуда следует, что наблюдениям удовлетворяют частицы размером $a_s \approx 20$ мкм, причем показатель поглощения частиц существенно зависит от длины волны света. Как уже упоминалось, значение $\kappa=10^{-3}$ типично для базальтов в синей области спектра. Исходя из этого можно оценить показатель поглощения для $\lambda=0,7$ мкм. Оценки дают $\kappa=5 \cdot 10^{-5}$ (см. рис. 4). Отметим, что показателям преломления $m=1,55 - i(10^{-3} \div 5 \cdot 10^{-5})$ и полученным размерам частиц соответствуют значения альбедо однократного рассеяния, хорошо согласующиеся с данными работы [5].

Таким образом, учет несферичности аэрозолей, образующих пылевую бурю, приводит к увеличению оценки размеров примерно в два раза по сравнению с шаром равного поперечного сечения. При этом оценки объема и массы частиц возрастут примерно втрое. Для частиц микронных размеров (например, в период затухания пылевой бури) это увеличение, как видно из рис. 2, может быть более значительным.

Список литературы: 1. Александров Ю. В., Луишко Д. Ф., Луишко Т. А. Абсолютная фотометрия Марса в 1971, 1973, 1975 годах. — Харьков: Вища школа, 1977. — 125 с. 2. Бирюков Ю. Л., Титарчук Л. Г. К определению поля излучения в оптически плотной среде с сильно анизотропным рассеянием. — Космич. исследования, 1972, 10, вып. 3, с. 400—410. 3. Результаты лабораторных фотометрических измерений искусственных планет/О. И. Бугаенко, И. К. Коваль, В. Д. Кругов и др. — Астрометрия и астрофизика, 1971, 14, с. 33—48. 4. Оптические параметры атмосферы и поверхности Марса II. Пылевая буря/О. Дольфус, Ж. М. Длугач, А. В. Мороженко и др. — Астроном. вестн., 1974, 8, № 4, с. 211—222. 5. Мороженко А. В. Некоторые свойства атмосферы Марса во время пылевых бурь. — Астроном. циркуляр, 1972, № 683. 6. Мороз В. И. Физика планеты Марс. — М.: Наука, 1978. — 351 с. 7. Сухачева В. И., Творогов С. Д. Коэффициент ослабления света системой хаотически ориентированных эллипсоидов. — Изв. АН СССР. ФАО, 1973, 9, № 12, с. 1320—1322. 8. Тишкова В. П. Применение ОКГ для моделирования процесса рассеяния света в атмосферах планет. — Астрометрия и астрофизика. 1978, 36, с. 52—57. 9. Федорова Е. О. Изучение индикатрис рассеяния света крупными прозрачными частицами сферической и произвольной форм.— Тр. ГОИ, 1957, 25, вып. 151, с. 1—71. 10. Хюлт Г. ван де. Рассеяние света

малыми частицами. — М.: Изд-во иностр. лит., 1961. — 536 с. 11. Zerull R., Giese R. H. Microwave analogue studies. — Planets, stars and nebulae studied with photopolarimetry. Tucson, Arizona, 1974, p. 901—915. 12. Holland A. C., Gagne G. The Scattering of Polarized Light by Polidisperse Systems of Irregular Particles. — Appl. Opt., 1970, 9, N 5, p. 1113—1121. 13. Pollack J. B., Toou O. B., Khare B. N. Optical properties of some terrestrial rocks and glasses. — Icarus, 1973, 19, N 8, p. 372—389. 14. Investigation of the Martian environment by infrared spectroscopy on Mariner-9/P. Hanel, B. Conrath, W. Havis. et all. — Icarus, 1972, 17, N 2, p. 423—442.

Поступила в редколлегию 21.04.81.

УДК 523.4

Д. Ф. ЛУПИШКО, И. Н. БЕЛЬСКАЯ,
Ф. А. ТУПИЕВА, Г. П. ЧЕРНОВА

ФОТОМЕТРИЯ АСТЕРОИДОВ 20 МАССАЛИЯ И 110 ЛИДИЯ

В 1979 г.

Фотоэлектрические наблюдения астероидов 20 Массалия и 110 Лидия проведены в стандартной фотометрической системе *UBV* в мае—июне и августе—октябре 1979 г. на 70-сантиметровом рефлекторе Ин-та астрофизики АН Тадж. ССР. Используемая аппаратура и точность измерений описаны в [1, 2].

В табл. 1 приведены усредненные за ночь данные и результаты наблюдений: дата, момент наблюдений в долях суток, фазовый угол α , значения блеска и показателей цвета астероида, число измерений этих величин в данную ночь и звезда сравнения. Величины блеска и цвета звезд сравнения a , b , c , d (табл. 2) получены в результате привязки их к фотометрическим

Таблица 1

Средний момент наблюдений, UT 1979 г.		α°	$\overline{V(1,\alpha)}$	$\overline{B-V}$	$\overline{U-B}$	n	Звезда сравнения
1		2	3	4	5	6	7
20 Массалия							
Август	5,930	16,0	7,21	0,88	0,53	4	a
	13,886	13,4	7,11	0,87	0,45	4	a
	14,924	13,0	7,07	0,88	0,48	4	a
	17,916	11,8	7,09	0,87	0,47	4	a
	24,835	9,1	6,99	0,86	0,48	4	a
	26,929	8,1	6,99	0,86	0,44	4	a
	30,898	6,4	6,92	0,85	0,46	4	a
	1,898	5,4	6,94	0,86	0,44	4	a
Сентябрь	2,805	5,0	6,80	0,86	0,46	4	a
	3,862	4,5	6,86	0,86	0,46	4	a
	4,855	4,1	6,81	0,85	0,49	4	a

	1	2	3	4	5	6	7
	7,886	2,6	6,71	0,83	0,46	4	<i>a</i>
	8,878	2,1	6,71	0,84	0,45	58	<i>b</i>
	9,871	1,6	6,65	0,84	0,45	4	<i>b</i>
	10,777	1,3	6,63	0,83	—	76	<i>b</i>
	16,830	1,8	6,67	0,84	0,46	6	<i>c</i>
	18,886	2,8	6,80	0,85	0,48	4	<i>c</i>
	19,886	3,3	6,81	0,85	0,48	4	<i>c</i>
	21,814	4,2	6,87	0,83	0,48	2	<i>c</i>
	24,852	5,7	6,94	0,86	0,49	6	<i>c</i>
	25,875	6,2	6,89	0,85	0,49	4	<i>c</i>
	26,863	6,7	7,04	0,86	0,49	2	<i>c</i>
	27,865	7,1	7,08	0,86	0,46	4	<i>c</i>
	28,855	7,6	7,08	0,87	0,49	4	<i>c</i>
	30,892	8,6	—	0,84	0,40	2	<i>c</i>
Октябрь	2,835	9,4	6,98	0,86	0,53	4	<i>c</i>
	3,743	9,8	—	0,83	0,39	4	<i>d</i>
	12,799	13,6	7,10	0,89	0,46	2	<i>d</i>
	13,770	14,0	7,17	0,86	0,49	4	<i>d</i>
	16,713	15,1	7,25	0,89	0,48	2	<i>d</i>
	22,700	17,2	7,30	0,90	0,45	4	<i>d</i>

110 Лидия

Май	22,839	2,8	8,02	0,68	—	6	<i>e</i>
	25,755	4,1	8,13	0,70	—	4	<i>e</i>
	27,758	4,9	8,25	0,67	—	4	<i>e</i>
	28,759	5,3	8,18	0,69	—	4	<i>e</i>
	31,796	6,6	8,39	0,71	—	2	<i>e</i>
Июнь	1,772	7,0	8,32	0,71	—	2	<i>e</i>
	2,741	7,4	8,27	0,68	—	3	<i>e</i>
	5,782	8,6	8,45	0,69	—	4	<i>e</i>
	6,738	9,0	8,52	0,68	—	4	<i>e</i>
	16,762	12,5	8,63	0,72	—	2	<i>e</i>
	23,707	14,7	8,49	0,69	—	4	<i>e</i>

стандартам 19 и 48 Плеяд [3], для звезды *e* использованы значения этих величин из фотометрического каталога [4]. Координаты некаталогизированных звезд *b*, *c*, *d* (табл. 2) на эпоху 1950 г. взяты из [5].

20 Массалия. 8 и 10 сентября проведены длительные наблюдения Массалии, дополняющие друг друга и охватывающие поч-

Таблица 2

Звезда сравнения	<i>U—B</i>	<i>B—V</i>	<i>V</i>
<i>a</i> (HD 2345)	0,27	0,66	9,43
<i>b</i> ($\alpha=23^h22^m$, $\delta=-3^\circ23'$)	0,07	0,61	9,74
<i>c</i> ($\alpha=23^h14^m$, $\delta=-4^\circ31'$)	0,05	0,48	9,26
<i>d</i> ($\alpha=23^h2^m$, $\delta=-5^\circ30'$)	0,06	0,49	9,08
<i>e</i> (HD 136366)	—	1,02	6,16

ти весь период изменения блеска астероида с вращением. Составная кривая блеска (рис. 1) построена с использованием значения периода вращения $P=8^h05^m53^s \pm 1^s$, найденного в работе [6]. Кривая блеска имеет типичную для большинства астероидов форму с двумя парами экстремумов, уровни которых примерно одинаковы.

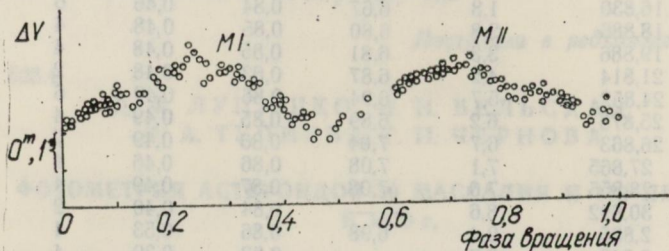


Рис. 1. Составная кривая блеска астероида 20 Массалия.

Ниже приведены моменты экстремумов кривой блеска Массалии в юлианских днях, исправленные за световой промежуток:

Наблюдения кривых блеска Массалин, проведенные при различных эклиптических долготах [6—8], показывают, что ампли-

Дата	λ (1950)	β (1950)	Экстремум	$JD(c)=2444100+$
1979, 8 сент.	350°,4	0°,7	MI	25,374 $\pm$ 0,004
1979, 10 сент.	350,0	0,7	MII	27,228 $\pm$ 0,004

туда (табл. 3) и форма кривых практически не зависят от аспекта наблюдения. Это свидетельствует о том, что ось вращения астероида ориентирована почти перпендикулярно к плоскости эклиптики.

Таблица 3

Дата	α°	λ°	β°	$\Delta m_{\max}$
1955, 1 апреля	3,2	183,2	-0,4	0 ^m ,22
1958, 25 января	27,4	48	-1	0 ^m ,24
1962, 9 января	2,2	98,0	-1,2	0 ^m ,24
1979, 18 сентября	2,1	350,4	0,7	0 ^m ,24

На рис. 2 показаны фазовые зависимости блеска и цвета Массалии, которые можно аппроксимировать следующим образом:

$$V(1, \alpha) = 6,52 + 0,108 \alpha - 0,0067 \alpha^2, \quad \alpha < 7^\circ; \quad V(1 \alpha) = 6,78 + 0,029 \alpha, \\ \alpha \geq 7^\circ; \quad B - V = 0,83 + 0,0031 \alpha; \quad U - B = 0,46 + 0,0011 \alpha.$$

Значения $V(1, \alpha)$ соответствуют среднему в пределах периода вращения блеску астероида.

Помимо настоящих наблюдений фазовая зависимость блеска Массалии была получена также Герельсом в 1955 г. в полосе V [6]. Сравнение этих данных с нашими наблюдениями показывает достаточно хорошее их совпадение, что обусловлено раз-

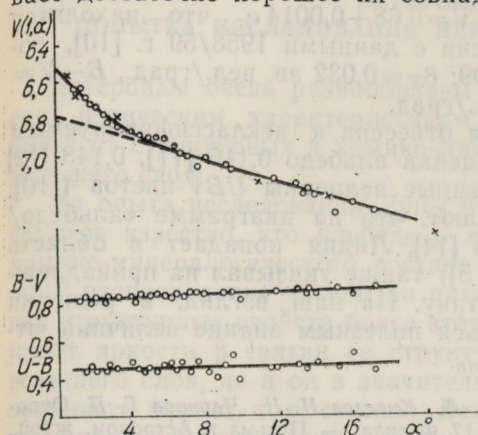


Рис. 2. Фазовые зависимости блеска и цвета астероида 20 Массалия. х — наблюдения 1955 г. [6].

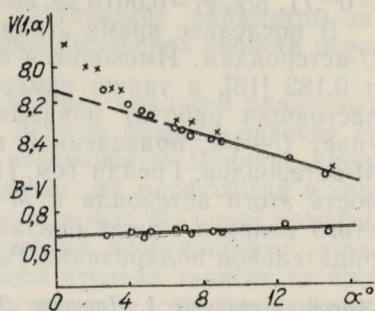


Рис. 3. Фазовые зависимости блеска и цвета астероида 110 Лидия. х — наблюдения 1958/59 гг. [10].

ностью долгот астероида в эти два противостояния, близкой к 180° . Это обстоятельство при условии ориентации оси вращения Массалии почти перпендикулярно к плоскости эклиптики означает, что наблюдения относятся к одной и той же поверхности астероида. Наблюдения при малых углах фазы позволили Герельсу обнаружить у Массалии (впервые для астероидов) эффект оппозиции. Величина его, характеризуемая отношением интенсивности излучения астероида при углах фазы 1° и 5° , не изменилась и составляет $I(1^\circ)/I(5^\circ) = 1,28$, для остальных астероидов с измеренным оппозиционным эффектом, эта величина заключена в пределах $1,25$ — $1,39$ [9].

Возрастание цвета Массалии с углом фазы является типичным для S -астероидов, к которым она относится; изменений цвета с вращением астероида вокруг оси, превышающих ошибку наблюдений, не обнаружено.

110 Лидия. Наши наблюдения этого астероида, к сожалению, охватывают только небольшую часть кривой блеска. По этим данным, амплитуда кривой блеска составляет около $0,^m25$ в отличие от $0,^m20$ в 1958/59 г. и $0,^m11$ в 1969 г. [10]. Учет колебаний блеска Лидии с вращением при построении фазовой кривой $V(1, \alpha)$ выполнен с использованием фазовой зависимости, полученной Тейлором и др. [10]. Заранее можно ожидать, что обе

фазовые зависимости должны быть близкими между собой, поскольку средние долготы Лидии в оппозиции 1958/59 г. и 1979 г., как и в случае Массалии, отличались примерно на 180° .

Полученная фазовая зависимость блеска и цвета астероида представлена на рис. 3. Прямолинейный участок зависимости $V(1, \alpha)$ ($\alpha \geq 6^\circ$, 6) и фазовая зависимость цвета описывается, как $V(1, \alpha) = 8,14 + 0,031 \alpha$; $B - V = 0,68 + 0,0014 \alpha$, что находится в удовлетворительном согласии с данными 1958/59 г. [10], согласно которым $V(1, 0) = 8,^{m}09$; $\beta_V = 0,032$ зв. вел./град., $B - V = 0,^{m}71$, $\beta_{(B-V)} = 0,0016$ зв. вел./град.

В последнее время Лидия отнесена к неклассифицируемым U -астероидам. Имеющиеся оценки альbedo 0,115 [11], 0,143 [12] и 0,182 [13], а также измеренные величины UBV -цветов ([10], настоящая работа) показывают, что на диаграмме «альbedo/цвет $U - V$ », приведенной в [14], Лидия попадает в область M -астероидов. Грейди (см. [15]) также указывал на принадлежность этого астероида к M -типу. На наш взгляд, в решении этого вопроса может оказаться полезным знание величины отрицательной поляризации $P_{\min}$.

Список литературы: 1. Луишко Д. Ф., Киселев Н. Н., Чернова Г. П. Оппозиционный эффект малой планеты 17 Фетида. — Письма в Астроном. журн., 1979, 5, № 4, с. 201—205. Оппозиционный эффект и структура поверхности астероида 16 Психея/Д. Ф. Луишко, Н. Н. Киселев, Г. П. Чернова, И. Н. Бельская. — Письма в Астроном. журн., 1980, 6, № 3, с. 184—188. 3. *Photometry of stars in galactic cluster fields*/A. A. Hoag, H. L. Johnson et al. — Publ. U. S. Naval Obs., 1961, 17, part VII, p. 349—542. 4. *Photoelectric catalogue magnitudes and colors of stars in the U, B, V and U_c, B, V systems*/V. M. Blanco, S. Demers et al. — Publ. U. S. Naval Obs., 1968, 2nd series, 21, 772 p. 5. *Vehrenberg H. Atlas Stellarum* 1950, 0, Northern part, 1970, Trengesell — Verlag, Dusseldorf. 6. *Gehrels T. Photometric studies of asteroids. V. The lightcurve and phase function of 20 Massalia*. — *Astroph. J.*, 1956, 123, p. 331—338. 7. *Chang J., Chang C. Photometric investigations of seven variable asteroids*. — *Acta Astron. Sinica*, 1962, 10, p. 101—110. 8. *Gehrels T., Owings D. Photometric studies of asteroids. IX. Additional lightcurves*. — *Astroph. Journ.*, 1962, 135, p. 906—924. 9. Луишко Д. Ф., Бельская И. Н. Результаты астрофизических исследований астероидов (обзор) I. Астрон. вестн. 1982 (в печати). 10. *Taylor R. C., Gehrels T., Silvester A. B. Minor planets and related objects. VI. Asteroid 110 Lydia*. — *Astron. Journ.*, 1971, 76, p. 141—146. 11. *Hansen O. L. Radii and albedos of 84 asteroids from visual and infrared photometry*. — *Astron. Journ.*, 1976, 81, p. 74—84. 12. *Hansen O. L. An explication of the radiometric method for size and albedo determination*. — *Icarus*, 1977, 31, p. 456—482. 13. *Morrison D., Zellner B. Polarimetry and radiometry of the asteroids*. In *Asteroids*, ed. T. Gehrels, Univ of Arizona Press, Tucson, 1979, p. 783—808. 14. *Taxonomy of asteroids*/E. Bowell, R. Clark et al. — *Icarus*, 1978, 35, p. 313—335. 15. *Gehrels T., Tedesco E. F. Minor planets and related objects. XXVIII. Asteroid magnitudes phase relations*. — *Astron. Journ.*, 1979, 84, p. 1079—1087.

Поступила в редколлегию 09.07.81.

Д. И. ШЕСТОПАЛОВ, Ю. Г. ШКУРАТОВ

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ И ЯРКОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
АСТЕРОИДОВ.

ПОПЫТКА ИССЛЕДОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ

Астероиды очень разнообразны по физическим и, в частности, оптическим характеристикам. Оптические параметры зависят от структурных и химико-минералогических свойств отражающего слоя.

Из опыта исследований Луны и земных аналогов планетных грунтов известно, что альbedo ρ в первую очередь зависит от химико-минералогического состава поверхности. Влияние вариаций распределения частиц по размерам, их морфологии и других структурных свойств более второстепенно. Фазовый коэффициент яркости β связан со структурными особенностями отражающего слоя, но и он в значительной степени зависит от прозрачности частиц, т. е. состава. Величина наклона фазовой кривой поляризации в точке инверсии h тесно коррелирует с альbedo (эффект Умова), тем не менее есть экспериментальные основания считать, что h в какой-то мере характеризует пористость отражающего слоя. Отрицательная поляризация $P_{\min}$ наиболее загадочная характеристика. До сих пор не существует общепринятой физической модели возникновения отрицательной поляризации. Из лабораторных экспериментов известно, что характеристики отрицательной поляризации зависят от микроструктуры поверхности, однако количественно эти эффекты почти не поддаются оцениванию. О влиянии состава на $P_{\min}$ также мало информации. Известно, что отрицательная ветвь поляризационной кривой более развита у темных поверхностей.

Описанные параметры ρ , β , h , $P_{\min}$, вероятно, характеризуют различные особенности структуры и состава рассеивающего слоя грунта. В связи с этим представляется содержательным исследование взаимных корреляций этих величин друг с другом.

На рис. 1 и 2 представлены диаграммы $\rho - \Pi(h)$; $P_{\min} - \rho$; $P_{\min} - \beta$, построенные в основном по данным каталога TRIAL [1]. Прежде чем анализировать эти диаграммы, изложим некоторые соображения, касающиеся природы величин h , $\Pi(h)$, $P_{\min}$.

Положительная поляризация. Для астероидов максимальная степень поляризации $P_{\max}$ недоступна наблюдениям с земной поверхности. Поэтому принято использовать параметр h , который хотя и не имеет прямого физического смысла, но количественно характеризует положительную поляризацию. От свойств отрицательной поляризации h также зависит, однако считается,

что в более слабой степени. Величины $P_{\max}$ и h тесно коррелируют с альбедо. Пользуясь данными работ [2, 3], можно найти

$$P_{\max} = k \cdot h^{1.29}, \quad (1)$$

где k — некоторая постоянная. Формула (1) позволяет использовать измерения h для оценки величины $P_{\max}$, которая может

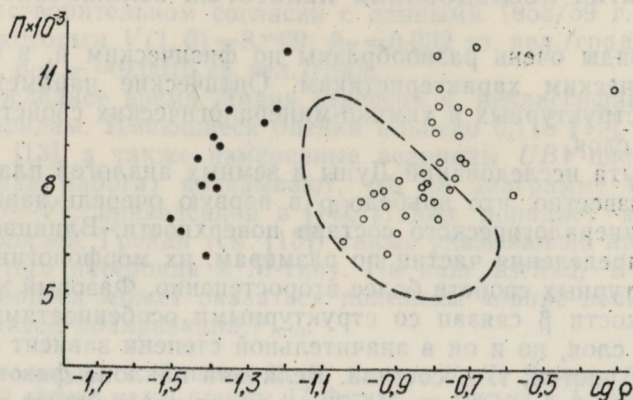


Рис. 1. Диаграмма взаимосвязи альбедо и поляризационной характеристики P . $\circ$ — астеронды S-типа, $\bullet$ — C-типа; — — область, занимаемая лунными измерениями.

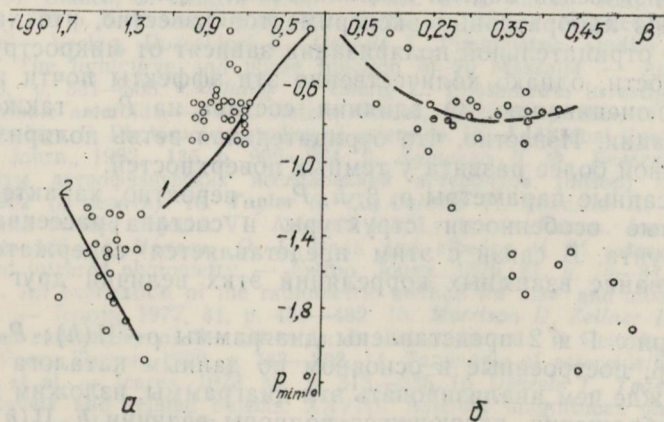


Рис. 2. Взаимосвязь альбедо и величины минимальной поляризации (а). Взаимосвязь фазового коэффициента яркости и минимальной поляризации (б). $\circ$ — S-тип; $\bullet$ — C-тип астерондов.

быть подвергнута физическому анализу. Рассмотрим некоторые возможности практического использования $P_{\max}$ для определе-

ния свойств отражающего слоя грунтов астероидов. Как показано в работе [4], приближенно справедлива следующая формула:

$$\rho \cdot P_{\max} = \frac{1}{8} G \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 1} \right)^2, \quad (2)$$

где n — коэффициент преломления (действительная часть); G — параметр, зависящий от структурных свойств слоя и угла фазы. Этот параметр характеризует долю микрограней, дающих «блик» в направлении наблюдателя и степень микрошероховатости. Таким образом, в выражении (2) влияние структуры и химико-минералогических свойств разделяются. Как аналог $\rho P_{\max}$ будем использовать параметр $\Pi = \rho h^{1.29}$.

Отрицательная поляризация. Сравнение существующих моделей отрицательной поляризации показывает, что наиболее развита модель, основанная на учете многократного рассеяния. В работе [5] представлена формула, полученная в рамках модели однократного и двукратного рассеяния с учетом теневого эффекта, выражающая зависимость $P_{\min}$ от действительной части коэффициента преломления, альбедо и структурных характеристик (C_1 , C_2 и C_3). Эта формула имеет вид

$$P_{\min} = -\frac{1}{4} \frac{C_3^2 \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 1} \right)^4}{C_1 \left[\frac{(n-1)^2}{\rho n^2(n+1)^2} + C_2 \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 1} \right)^2 \right]}. \quad (3)$$

Коэффициент $C_1 = C_1(G)$, а величины C_2 и C_3 характеризуют долю двукратных отражений по сравнению с однократными и изрытость отражающего слоя (теневую функцию).

Описание и анализ оптических диаграмм

Рассмотрим диаграмму ρ — Π (рис. 1). Тенденция возрастания Π с ростом ρ прослеживается как у астероидов S-типа, так и C-типа. На этом же рисунке пунктиром показана область распределения точек аналогичной зависимости для Луны. Области лунной диаграммы и астероидов S-типа, как и следовало ожидать, перекрываются. Однако характер зависимостей ρ — Π для Луны и астероидов противоположен. Если воспользоваться формулами (1) и (2), считая, что коэффициент преломления у темных поверхностей больше, чем у светлых, то получим зависимость, подобную лунной. Исчерпывающего объяснения отмеченной особенности диаграммы ρ — Π астероидов мы представить не можем. Предположение о том, что изменение альбедо у некоторых астероидов отражает изменение характеристик пористости, причем так, что более темные имеют более пористый

грунт, кажется несколько искусственным. Вероятнее всего, неточности при определении зависимостей $\rho-P_{\max}$; $\rho-h$ [2, 3] исказили показатель степени в формуле (1), что привело к «разбалансировке» произведения ρh^m . Таким образом, диаграмма ρ — P астероидов нуждается в дополнительных исследованиях.

Рассмотрим диаграммы $P_{\min}-\rho$ и $P_{\min}-\beta$ (рис. 2). Корреляция между $P_{\min}$ и ρ для астероидов известна из наблюдений давно, однако до сих пор не было попыток объяснить ее. Примем гипотезу, что зависимость $P_{\min}-\rho$ можно описать только влиянием химико-минералогических характеристик. Обычно у силикатов изменения n коррелируют с изменениями ρ . Если для примера предположить, что изменения следующие:

n	1,30	1,40	1,55	1,60	1,70	2,00
ρ	0,4	0,25	0,17	0,12	0,07	0,03

то, используя формулу (3) и считая C_1, C_2, C_3 постоянными, можно получить отрезок кривой, обозначенный цифрой 1 (рис. 2, а). Как видно, n сильно изменяется. Значения 1,3 и 2,0 для силикатов нереальны. Более широкий диапазон изменения $P_{\min}$ астероидов (при больших $|P_{\min}|$) можно описать, если обобщить формулу (3) на случай отличной от нуля мнимой части коэффициента преломления κ . Обобщенная формула имеет вид

$$P_{\min} = -\frac{1}{4} \frac{|f_1(n, \kappa)|^2 C_3^2}{C_1 \left[\frac{f_2(n, \kappa)}{\rho} + C_2 f_1(n, \kappa) \right]}, \quad (4)$$

где $f_1(n, \kappa)$ и $f_2(n, \kappa)$ — некоторые функции, совпадающие, в частности, с соответствующими выражениями в формуле (3) при $\kappa \leq 0,1$, но весьма громоздкие в общем виде. Численный расчет по формуле (3) показывает, что при $\kappa \approx 1$ и $n=1,8$ получается $P_{\min}$, соответствующее углистым астероидам (см. кривую 2 на рис. 2, а). Более того, при изменении альбеда $P_{\min}$, вычисленное по формуле (4), обнаруживает слабую тенденцию увеличения при возрастании альбеда. Эта тенденция известна из измерений образцов углистых веществ [6]. Несмотря на это, формула (4) при постоянных C_1, C_2, C_3 неудовлетворительно описывает экспериментальные данные. Во-первых, $\kappa=1$ для углистых хондритов велико. Такие значения показателя поглощения свойственны металлам, чистому графиту. Кроме того, случай малых $P_{\min}$ также выпадает из поля зрения этой формулы, так как значения $n=1,3-1,4$ слишком малы для силикатов.

Таким образом, предположение об унифицированности структуры поверхностного слоя астероидов под действием импактных процессов различных масштабов (т. е. постоянство коэффициентов C_1, C_2 и C_3 в формулах (3), (4)), как показывает приведенный анализ, в общем случае неверно. По крайней мере,

этот тезис не оправдывает себя при рассмотрении всего многообразия физических типов астероидов в рамках модели отрицательной поляризации, основанной на учете однократных и двукратных квазифренелевских отражений света между частицами грунта и теневого эффекта.

Примем во внимание при описании диаграммы (рис. 2, а) возможные вариации структурных свойств реголита.

Величина C_1 , согласно определению, зависит от субмикронной шероховатости отражающих граней и относительного числа микроплощадок, дающих «блик» на наблюдателя. Эффект микрошероховатости в масштабах длины световой волны создается при взаимодействии очень мелких метеоритных тел и корпускул солнечного ветра с реголитом. Насыщение при таком взаимодействии наступает довольно быстро ($10^5 - 10^6$ лет). Добавим к этому, что для раздробленных силикатных поверхностей, таких как реголит безатмосферных планет, естественно считать распределение микрограней частиц по углам равновероятным. Эти соображения позволяют считать C_1 постоянным, хотя если реголит некоторых тел моложе 10^5 лет, то это предположение требует коррекции. Рассмотрим величины C_2 и C_3 . Они зависят от изрытости поверхности в масштабах намного больше, чем длина световой волны. Влияние теневого эффекта на параметры C_2 и C_3 при изменении изрытости описать количественно сложно. Однако вариации такой характеристики как отношение числа однократных и двукратных отражений можно исследовать. Будем описывать эти вариации некоторой нормированной величиной ω . Примем, что для Луны эта величина равна единице, а при увеличении ω число двукратных отражений пропорционально возрастает. Формулу (3) перепишем в виде

$$P_{\min} = - \frac{1}{4} \frac{\omega^2 C_3 \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 1} \right)^4}{C_1 \left[\frac{(n-1)^2}{\rho n^2 (n+1)} + \omega C_2 \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 1} \right)^2 \right]}. \quad (5)$$

В таблице представлены результаты вычислений по формуле (5) для $n=1,6$, $\rho=0,1$. Как видно, изменение отношения числа двукратных отражений

относительно однократных существенно сказывается на $P_{\min}$. Интересно отметить, что зависимость

α_{inv} от ω при этом слабая. Таким образом, согласно представленным результатам, реголит астероидов с малым $|P_{\min}|$ имеет мало изрытый грунт.

ω	0,2	0,5	0,7	1,0	1,2	1,5
$P_{\min} (\%)$	0,22	0,60	0,86	1,25	1,51	1,90
α_{inv}	23°,4	25°,8	26°,3	26°,7	26°,9	27°,0

Диаграмму $P_{\min} - \beta$ на рис. 2, б нельзя, к сожалению, однозначно интерпретировать как проявление некоторых структурных свойств реголита астероидов, поскольку на β и на $P_{\min}$ сильное влияние оказывает прозрачность частиц грунта, т. е. альbedo. Однако зависимость $P_{\min} - \beta$ все же интересна тем, что самые темные объекты имеют тенденцию выстраиваться вдоль линии регрессии, соединяющей S и C группы, а S астероиды, возможно, образуют ответвление, показанное на рисунке пунктиром.

Приведенный анализ оптических диаграмм носит предварительный характер, что связано как с недостатком наблюдательных данных, так и со слабостью теоретической (интерпретационной) базы. Однако, этот анализ выявляет большое разнообразие структурных и химико-минералогических свойств поверхностей астероидов внутри S и C групп, что в свою очередь с большой вероятностью свидетельствует об относительной молодости реголитового чехла некоторых объектов, а также указывает на различную эволюцию вещества безатмосферных космических тел различного состава под действием одних и тех же экзогенных факторов.

Список литературы: 1. *Tucson revized index of asteroid data*/D. Bender, E. Bowell, C. Chapman et al. — *Icarus*, 1978, 33, N 3, p. 630—631. 2. *Dollfus A., Bowell E. Polarimetric properties of the lunar surface and its interpretation. Part 1. Telescopic observation.* — *Astron. and Astroph.*, 1971, 10, N 1, p. 29—53. 3. *The asteroid albedo scale I. Laboratory polarimetry of meteorites*/B. Zellner, M. Lacke, T. Lebertre et al. — *Proc. Lunar Sci. Conf. S th*, 1977, p. 1091—1110. 4. Шкуратов Ю. Г. Альbedo Луны. — См. статью в наст. сб. 5. Шкуратов Ю. Г., Мелкумова Л. Я. Формула для расчета отрицательной поляризации света безатмосферных планет. — *Астроном. циркуляр*, 1981, N 1159. 6. *Dollfus A., Zellner B. Optical polarimetry of asteroid and laboratory samples.* — In: *Asteroids* (Ed. T. Gehrels), 1979, p. 170.

Поступила в редколлегию 21.04.81.

УДК 524.3(083.8)

В. А. ЗАХОЖАИ

ДОПОЛНЕНИЯ И ИСПРАВЛЕНИЯ КАТАЛОГА БЛИЖАЙШИХ ЗВЕЗД ДО 10 ПС

После опубликования каталога ближайших звезд [1] вышел ряд работ, посвященных определению звездных параллаксов [2, 3], среди которых имеются объекты с $\pi \geq 0'',100$, не вошедшие в [1]. Были изданы также работы, посвященные определению радиусов, масс и других характеристик ближайших звезд, наличию у них невидимых спутников [4, 5]. В то же время опубликованный каталог звезд ближе 10 пс [1] содержит опечатки, список которых необходимо опубликовать.

№ п/п	Звезда	α_{1950}	δ_{1950}	V	M_V	Sp	π''_{001}	$\mu_\alpha/\text{год}$	$\mu_\delta/\text{год}$	$v_r/\text{км/с}$	M	R	Примечания	Лите- рату- ра
401	G 158—50	0 ^h 12 ^m ,9	—16° 24'	11 ^m ,53	11 ^m ,9		117			—29			AB: 99°, [2]	
402	DM+66°34	A 29,3	+66 58	10,49	10,5	dM3e	100t	+0 ^s ,298	—0'',21	+10	0,4 *		2''3(1924)— [2,8,10]	
403	B 29,3	+66 58	12,4	12,4	M4		100t						142°, [11]	
404	C 29,3	+66 58					100t				0,13 *		3''6(1961)	
405	G 268—110	1 02,4	—18 24	14,4	14,4		100						A — невид. [2]	
406	LTT—1702	3 34,3	—44 40	13,03	13,6		130			—20			комп.-№404C: [2]	
407	DM+18°683	4 40,0	+18 53	9,94	10,0	dM3e	104t	+0,050	—1,08	+29	0,63		P=15 ^m 92, [2—4,11]	
408	G 109—35	6 56,5	+19 26	14,83	15,4		130t						M=0,13 [2, 3]	
409	L 961—1	B 7 49,4	+0 08	16	16		115t						комп. В си- [2]	
410	LTT—3435	9 17,5	—77 37	13,10	13,8		140			0			стемы Zkh — [2]	
411	LTT—3572		42,0	—68 40	12,78	13,3	125			—21			106 AB: θ = [2]	
412	DM+36°2219	11 48,6	+35 33	9,78	10,3	M1Ve	125t	—0,022	+0,26	+4	0,4	0,6	=78°(1974), 3'' [2, 8]	
413	L 1346—53	16 00,7	+20 45	12,55	12,6	M4	100t	—0,069	—1,24				[2, 8]	
414	AC+												[2, 8]	
	+54°1646—56	24,2	+54 25	10,12	11,1	dM2	159t	+0,051	—0,15				[2]	
415	G 19—7		54,4	—04 16	12,33	12,4	105t						[2]	
416	G 154—44	18 04,7	—15 58	13,64	14,3	M5	133t						[2]	
417	G 227—29		22,1	+62 02	13,40	13,8	122t						[2, 3]	
418	G 184—19	A 39,1	+24 44	12,4	13,0	K—M	131t						[2]	
419	B 39,1	+24 44	14,4	15,0	M		131t						AB: θ =187°,84, [2]	
420	G 185—18	19 19,5	+20 48	13,42	13,4		100t						6'',04(1972) [2]	
421	Wolf 1069	20 25,0	+58 24	14,04	14,2		108t						[2]	
422	G 144—25		38,2	+15 19	13,41	13,5	dM4—5	102t					[2]	
423	AY Ind	21 44,6	—72 20	9,80	9,8	M2Ve	100				0,4	0,5	всп. [2]	
424	LP 701—29	22 51,2	—07 02	15,65	16,1	DKp	125t						[2, 3]	
425	LTT 9281		53,4	—60 18	14,08	14,1	100						[2]	
426	G 157—77	23 32,6	—02 39	14,68	15,4		139t			+68			[2, 3]	

В статье помещены пять таблиц. Табл. 1—звезды с параллаксами более $0'',100$, которые не были занесены в список ближайших звезд каталога [1]. В таблице приведены следующие параметры: название звезды или ее обозначение по одному из каталогов; α_{1950} и δ_{1950} —прямое восхождение и склонение звезды на 1950.0; V — стандартная видимая звездная величина; M_V — абсолютная звездная величина; Sp — спектр звезды; π — параллакс (t — тригонометрический, а без индекса другие виды определения параллаксов); μ_α и μ_δ — собственные движения по α и δ соответственно; v_r — лучевая скорость (знак+соответствует движению от Солнца); M и R — масса и радиус звезды в солнечных единицах, которые определялись, как и в работе [1]. В примечаниях приведены: данные о двойных и кратных системах: P — период в годах; M — масса невидимого компонента в массах Солнца, причем если $M \geq 0,07 M_\odot$, то они были занесены как звезды [6, 7]; позиционный угол (θ) и разделение компонентов на приведенную в скобках эпоху; вспыхивающие звезды. Литературные ссылки приведены для каждой звезды (кратной системы).

Таблица 2

№ п/п	Графа	Значения	Примечания
1	2	3	4
1	10	$-2'',33$	
2	7	dM	
6	11	$+13,6$	При наборе смещен столбец
	12	—	
20	2	$DM-68^\circ 41'$	
58	6	$13^m.8$	
71	3	$5^h 43^m.6$	
105	6	$12^m.3 v$	
106	3	$7^h 49^m.4$	
	14	двойная	Компонент В указан в табл. 1 под номером $Zkh-409$
	2	$L 961-1 A$	
	11	$+52$	
118	7	$dM0Ve$	
120	2	$DM-59^\circ 1362$	
	7	MOV	
141	3	$11^h 03^m.0$	
144	10	$-0'',59$	
155	9	$+0'',050$	
158	2	$L 145-141$	
167	7	dMe	
168	9—11	9—11 из $Zkh-169$	При наборе смещена строка
169	9—11	9—11 из $Zkh-170$	При наборе смещена строка
181	3—6		Пропущены наименования величин (часы, минуты и т. д.)
182	4	$+28^\circ 08'$	
203	14	$\dots \div 22'',0(1961)$	

1	2	3	4
213	14	невид. комп.: $P=3^h 72$, $M=0,06 \div 0,08$, $e=0,53$, $a=0'' ,049$	
	7	M3V	
217	7	G01V	
221	12	0,38*	Набрано с лишним знаком «—»
223	6	12 ^m .7	
254	3—6		Пропущены наименования величин (минуты, градусы и т. д.)
	7	DXP	
275	4	—07°46'	
276	4	—07°45'	
282	14	$\Sigma M=0,23$	
284	3—6	ав	Пропущены наименования величин (часы, минуты и т. д.)
	9, 10		
302	14	невид. комп.?	При наборе смещена строка
303	14	—	При наборе смещена строка
307	2	εInd	
314	3	22 ^h 35 ^m ,8	
	5, 6		Пропущены наименования величин (звездные величины)
318	14	A: всп.	
332	2	DM—73°2299	
	14		Фигурная скобка к этой звезде не относится (следует закрыть ее на звездах Zkh—330, 331 AB)
2—4	3	2 ^h 14 ^m ,0	
2—5	8	7	
2—7	14	(0'',060 p)	
2—17	14	общ. собств. движ. с № 67 (табл. 1), раст.: 99"	При наборе смещены строки
		36 U Ma A	
2—25	2	0,7	При наборе смещена строка
2—26	13	—	При наборе смещена строка
2—27	13	—	

Страница	Напечатано	Должно быть
52	пк	пс
76	Guettez H. H.	Guetter H. H.
77	A. R. Klamora	A. R. Klamola

В табл. 2 отражены исправления и дополнения о звездах каталога [1], причем опечатки и дополнительные сведения не разделялись, что могло бы внести путаницу при правке каталога

10 пс и неоправданно привести к увеличению объема статьи. В табл. 2 приведены: номер звезды (или страницы) по каталогу (*Zkh* — [1]), правильные значения указаны в третьем, а графа, подлежащая исправлению, во втором столбцах, дополнительные сведения содержатся в примечаниях.

В табл. 3 приведены радиусы звезд (в солнечных единицах),

Таблица 3

<i>Zkh</i>	$R/R_{\odot}$	<i>Zkh</i>	$R/R_{\odot}$	<i>Zkh</i>	$R/R_{\odot}$
1	0,46	43	0,10	111	0,11
2	0,11	44	1,02	118	0,69
3	0,41	45	0,98	119	0,68
4	0,19	48	2,40	123	0,85
7	0,85	53	0,81	128	0,81
8	1,48	59	1,29	130	0,69
9	0,79	64	0,32	132	0,50
10	0,74	66	0,79	133	0,52
11	1,02	68	0,32	138	0,14
14	0,62	69	1,20	139	0,43
15	0,62	70	0,76	140	0,47
16	0,21	73	1,12	141	0,50
22	0,16	77	0,51	148	0,55
23	0,15	79	0,69	154	0,85
26	0,85	80	0,91	159	0,32
28	0,81	81	0,20	160	0,21
29	0,76	84	0,48	161	1,58
31	0,25	85	1,82	163	0,56
33	0,50	87	1,07	165	0,87
34	0,48	88	0,63	168	0,46
37	0,16	89	0,38	171	1,17
38	0,81	95	0,35	173	0,42
39	0,28	99	2,19	176	0,41
41	0,40	105	0,30	177	0,35
42	0,65	109	0,19	182	0,98
183	0,93	183	0,50	295	0,56
189	0,60	245	0,47	296	0,62
193	0,50	246	0,52	299	0,72
196	0,72	249	1,45	300	1,00
197	0,36	250	0,20	301	0,50
198	1,32	255	0,48	302	0,31
199	0,98	256	1,02	303	0,49
200	0,17	257	0,71	307	0,74
203	0,81	258	2,04	308	0,65
204	0,66	262	0,13	309	0,59
206	0,38	265	0,35	312	0,35
213	0,42	267	0,35	313	0,22
217	2,19	268	0,58	314	0,22
219	0,79	272	0,78	323	0,85
226	0,50	277	1,58	326	1,51
228	0,43	280	1,23	327	0,78
229	0,42	284	0,71	328	0,62
232	0,78	285	0,68	329	0,89
240	0,89	287	0,79	332	0,71
241	0,43	288		333	0,19
		291	0,38	335	0,46

определенные по значениям ($V-R$), согласно [4], которые могут считаться более надежными приведенных в каталоге [1]. В табл. 3 вошли не все значения вычисленных радиусов, приведенных в [4], поскольку некоторые были посчитаны для значений ($V-R$), относящихся к двум компонентам (например, спектрально-двойным звездам), что затрудняет интерпретацию полученных диаметров.

Таблица 4

Zhh	$M/M_{\odot}$	Zkh	$M/M_{\odot}$	Zkh	$M/M_{\odot}$
11	0,89	198	1,15	258	0,69
22	0,12	199	0,93	312	0,27
23	0,11	228	0,28	313	0,16
85	2,09	229	0,28		
99	1,78	257	0,95		

В табл. 4 сведены новые данные о массах 13 звезд [4] (в солнечных единицах) обсуждаемого каталога.

Таблица 5

Zkh	$\pi (0'',001)$		Zkh	$\pi (0'',001)$	
	[1]	[2]		[1]	[2]
65	115	099 ± 003	278	101	094 ± 005
113	116*	085 ± 023	279	101	094 ± 005
134	103*	083 ± 010	310	103*	099 ± 004
192	106	092 ± 009	311	103*	099 ± 004
249	103	092 ± 007			

Новые определения тригонометрических параллаксов звезд ближе 10 пс, как правило, не превосходят пятипроцентного различия приведенных значений в каталоге [1], поэтому их новые определения не приведены. Исключение составляют 9 звезд, новые определения параллаксов которых оказались меньше $0'',100$ [2]. Все же исключение их из списка ближайших звезд может оказаться преждевременным, поскольку граничные звезды ($\pi \sim 0'',100$) могут принадлежать, а могут и не принадлежать десятипарсековому окружению, что, к сожалению, невозможно точно установить в настоящее время современными методами измерения параллаксов, обеспечив более высокую точность их определения. Список этих звезд приведен в табл. 5, где наряду с новыми данными приведены значения параллаксов каталога [1]. Знаком * отмечены параллаксы, относительная вероятная ошибка которых больше 10%; r — среднее значение параллаксов согласно [8].

С выделением класса субзвезд как промежуточных объектов между планетами и звездами [7] укажем, что ряд объектов каталога [1] попадают в интервал субзвездных масс $(0,01 M_{\odot} \leq$

$\lesssim M_{ss} \lesssim 0,07 M_{\odot}$). Светимость таких объектов можно оценить из экстраполяции зависимости $M_V = M_V(M, R)$, взятой, например, из [9], к субзвездным массам. Оценки показывают, что космические тела с $M_V \gtrsim 19^m$, вероятно, уже субзвезды. Тогда в каталоге [1] они находятся под номерами: *Zkh* — 47 ($M=0,05 M_{\odot}$), 104, 112, 222, 273. Спектр излучения субзвезд образует непрерывный ряд со спектром излучения звезд малых светимостей, и их трудно отличить от звезд, не имея информации о массе. Поэтому упоминаемые объекты с субзвездными массами и светимостями мы не сочли возможным исключать из каталога ближайших звезд, не имея о них достаточно надежной информации. Так, например, новые определения масс компонентов двойной системы *Zkh* 22—23 показали отличные значения от предыдущих, что позволяет их считать не субзвездами, а звездами.

Список литературы: 1. *Захожай В. А.* Ближайшие звезды. — Вестн. Харьк. ун-та, 1979, № 190. Физика Луны и планет. вып. 14, с. 52—77. 2. *Gliese W., Jahreiss H.* Nearby star data published 1969—1978. — *Astron. Astroph. Suppl.*, 1979, 38, p. 423—448. 3. *Harrington R. S., Dahn C. C.* Summary of U. S. Naval observatory parallaxes. — *Astron. J.*, 1980, 85, p. 454—465. 4. *Lacy C. H.* Radii of nearby stars: an application of Barnes-Evans relation. — *Astroph. Journ. Suppl.*, 1977, 34, p. 479 — 492. 5. *Lippincott S. L., Borgman E. R.* CC 20,986, a new unresolved astrometric binary. — *Publ. A. S. P. (Astron. Soc. Pac.)*, 1978, 90, p. 226—229. 6. *Kumar S.* The structure of star of very low mass. — *Astroph. Journ.*, 1963, 137, № 4, p. 1121 — 1125. 7. *Александров Ю. В., Захожай В. А.* Что такое планеты. — *Астрон. вестн.*, 1980, 14, № 3, с. 129—132. 8. *Gliese W.* Catalogue of nearby stars. 1969 ed. — *Karlsruhe verl. G. Braun.* 1969. — 118 p. 9. *Аллен К. У.* Астрофизические величины. — М.: Мир, 1977. — 446 с. 10. *Kamp P. van de.* Unseen astrometric companions of stars. — *Annual review of astronomy and astrophys.*, 1975, 13, p. 295—333. 11. *Catalogue of stars within twenty-five parsecs of the Sun/Woolley R., Epps E. A., Penson M. J. e. a.* — *Joint Publications of the Royal Greenwich and Cape Observatories.* 1970, № 5, p. 3—228.

Поступила в редколлегию 20.04.81.

УДК 523.4

Л. А. АКИМОВ, И. И. ЛАТЫНИНА,
Н. П. СТАДНИКОВА

ОПОРНЫЙ КАТАЛОГ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗБРАННЫХ УЧАСТКОВ ЛУНЫ. I

Наблюдения, результаты обработки которых представлены в настоящей работе, были проведены с целью уточнения закона отражения света Луной. К настоящему времени опубликовано уже довольно много каталогов. Авторы их, как правило, старались получить сведения о физических характеристиках кратеров. Однако области, занятые кратерами, обычно неоднородны по рельефу и отражательной способности. Небольшие ошибки

в наведении диафрагмы фотометра на заданную область, неизвестный наклон рельефа приводят к большим ошибкам фотометрии. Поэтому первое требование при выборе областей, измеряемых нами, это однородность по рельефу и альбедо, в пределах 5—10 с дуги на небесной сфере.

Второе требование — удобство в отыскании исследуемых районов как в полнолуние, так и при фазах, когда рельеф за-

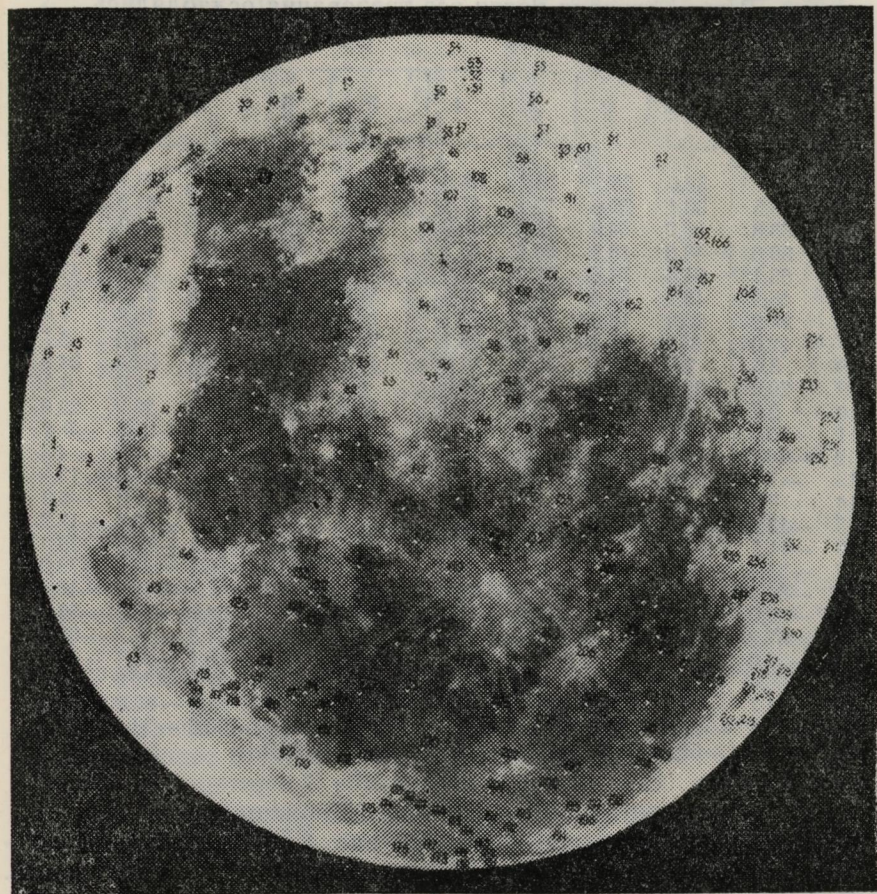


Рис. 1. Расположение фотометрируемых участков на диске Луны. метен отчетливо. И, наконец, эти области должны сравнительно равномерно покрывать видимый диск Луны.

Конечно, выполнить все требования сразу — сложная задача, поэтому иногда допускались компромиссные решения. Например, включены Тихо — неоднородный по рельефу, Платон и Гримальди неоднородные по альбедо. Но их фотометрией

занимались почти все авторы каталогов, поэтому для сравнения с другими наблюдениями их необходимо было включить в программу измерений. На южном материке весьма трудно найти обширные однородные области, поэтому требования к их выбору были ослаблены.

Для сравнения с лабораторными исследованиями лунного грунта были включены многие места, где производился забор грунта. В этих случаях почти все требования ослаблялись.

Таблица 1

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		32,0	56,2	55,2	58,3	42,9	33,8	37,2	33,7	26,0
1	26,5	30,4	32,6	40,0	47,2	60,0	74,6	71,2	83,0	62,8
2	63,8	57,3	54,0	53,7	60,0	66,7	63,5	44,9	44,9	42,1
3	39,6	43,0	48,9	50,6	53,7	56,3	57,5	57,5	65,0	67,8
4	63,1	61,5	54,5	52,0	42,0	38,4	33,0	36,4	38,0	42,2
5	46,9	48,1	52,0	56,2	63,0	51,3	41,0	31,4	27,5	25,2
6	24,2	26,0	10,3	20,0	23,7	17,0	16,1	14,0	13,3	7,0
7	12,0	16,8	20,4	21,8	23,1	28,0	20,8	12,2	8,0	3,1
8	3,6	7,8	13,1	10,4	12,6	14,5	19,5	26,5	32,1	34,6
9	29,9	33,1	36,0	24,0	16,0	6,7	7,0	8,4	4,6	0,2
10	2,7	6,6	8,9	12,7	23,6	31,9	33,3	26,9	29,2	20,0
11	15,0	20,5	-4,1	6,0	0,3	-0,8	-5,0	-8,0	-12,0	-9,4
12	-16,7	-10,6	-8,5	-17,4	-18,0	-21,3	-21,9	-22,0	+0,9	-4,4
13	-7,6	-6,8	-4,3	-1,0	-5,8	-13,4	-18,5	-25,7	-20,3	-13,6
14	-7,2	-4,0	-1,2	-7,4	-1,0	-1,2	-1,8	-0,8	-2,0	-6,0
15	-13,4	-14,9	-16,8	-18,7	-23,4	-17,7	-14,3	-12,0	-16,4	-13,2
16	-11,1	-1,8	-4,2	-13,2	-9,3	-5,1	-6,6	-11,0	-21,8	-28,0
17	-31,4	-26,3	-33,5	-34,5	-49,8	-50,5	-73,4	-68,5	-73,1	-73,0
18	-84,0	-84,5	-75,0	-71,3	-62,7	-58,0	-54,6	-51,4	-48,7	-45,4
19	-37,0	-60,6	-66,1	-63,4	-75,4	-66,2	-71,1	-68,3	-70,5	-56,0
20	-57,2	-51,3	-45,0	-42,6	-38,3	-31,0	-36,5	-34,3	-62,7	-63,0
21	-56,0	-51,3	-71,0	-74,8	-68,3	-73,5	-76,0	-70,4	-68,4	-60,0
22	-56,6	-51,6	-47,0	-43,1	-39,2	-35,0	-39,2	-37,5	-29,5	-27,8
23	-21,7	-26,0	-23,8	-29,4	-39,1	-43,0	-49,1	-50,0	-56,0	-63,0
24	-68,4	-70,0	-55,5	-39,0	-35,9	-37,0	-40,5	-30,0	-34,8	-42,2
25	-53,1	-58,0	-56,1	-47,0	-44,2	-29,6	-28,9			

С таким подходом было выбрано 256 площадок на Луне.

Положение их представлено на рис. 1. В табл. 1 дана селенографическая долгота, в табл. 2—селенографическая широта. Таблицы составлены так, что в верхней строке даны единицы, а в левом столбце — десятки номера точек. На пересечении столбца единиц и строки десятков записана интересующая нас информация для данного номера точки. Координаты определены по «Полной карте Луны», составленной ГАИШ МГУ и Топогеодезической службой СССР.

При нумерации точек Луна была разбита по долготе на 4 области: от 90 до 30° и от 30 до 0° на востоке и от 0 до —30°, от 30 до —90° — на западе. В этих областях номера возрастают

Таблица 2

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		51,5	53,5	47,6	44,8	41,9	41,0	38,2	32,0	33,0
1	30,5	26,3	28,0	26,2	29,0	31,7	36,5	29,2	23,1	21,2
2	18,0	17,2	16,2	13,6	11,1	7,0	7,4	14,2	12,5	11,0
3	8,7	-3,8	-1,7	0,5	1,4	0,7	3,0	4,1	1,3	-10,6
4	-12,0	-15,8	-13,0	-21,5	-19,3	-18,8	-26,4	-29,7	-28,2	-26,5
5	-31,9	-35,4	-36,8	-38,5	-33,0	-48,7	-44,5	-40,2	-34,6	-41,3
6	-43,4	-50,4	-53,1	73,0	58,4	50,1	42,0	36,0	32,6	30,0
7	20,2	27,3	25,0	17,9	16,6	17,7	11,1	14,3	13,3	14,7
8	10,9	9,7	7,8	2,6	0,5	3,9	3,9	14,2	12,4	6,5
9	3,7	1,0	-5,0	0,0	-7,3	-2,0	-4,8	-9,4	-11,5	-16,5
10	-25,5	-24,3	-19,3	-20,0	-15,5	-10,9	-17,7	-20,8	-27,6	-25,6
11	-26,3	-35,1	-41,2	55,0	55,5	45,5	60,0	56,0	53,4	51,4
12	48,5	47,0	44,0	43,0	41,2	41,7	38,4	34,2	40,9	34,2
13	33,4	30,0	29,6	32,0	21,8	24,5	25,4	28,7	19,5	13,5
14	13,5	12,5	8,0	5,5	1,0	-0,6	-2,4	-9,2	-8,0	-6,4
15	-0,6	5,1	7,1	2,0	+3,0	-3,6	-5,7	-14,6	-14,9	-19,2
16	-19,0	-21,3	-30,9	-30,3	-39,2	-48,4	-49,5	-42,4	-48,6	51,7
17	51,4	44,2	46,3	42,3	44,6	47,0	48,3	42,7	43,6	38,2
18	40,0	37,5	37,0	36,5	37,5	38,2	39,0	39,8	40,8	41,6
19	32,0	33,1	30,8	27,4	27,8	23,3	22,0	19,0	17,1	19,0
20	22,2	30,0	24,6	18,0	21,2	9,5	7,4	10,6	11,0	8,8
21	7,7	4,3	-2,0	-4,1	-6,3	-6,6	-11,0	-11,4	-9,5	-3,7
22	-3,2	-1,7	-1,3	-2,4	0,7	2,6	-5,0	-4,4	-2,8	-4,5
23	-9,7	-12,5	-17,8	-16,6	-14,2	-15,1	-18,8	-13,7	-17,4	-17,4
24	-16,6	-27,3	-24,7	-20,2	-21,6	-25,1	-28,7	-32,0	-32,2	-36,8
25	-37,6	-40,0	-44,6	-45,6	-54,4	-48,8	-37,2			

с севера на юг. Такая нумерация удобна при наблюдении Луны при разных углах фазы.

Основной материал для определения альbedo и фазового изменения яркости получен фотографическим способом в красной области спектра ($\lambda_{эфф} = 0,65 \mu$). Красная область спектра выбрана потому, что здесь меньше сказывается изменение прозрачности атмосферы на точность наблюдений.

Фотографический способ наблюдений предпочтителен по причине более точного наведения на исследуемую область в спокойной лабораторной обстановке. Однако, как известно, точность фотографической фотометрии обычно низка. Ошибки нередко достигают 10%, особенно для удаленных точек на снимках, когда лунное изображение 10—12 см в диаметре.

Значительная доля ошибок возникает из-за неоднородности проявления фотопластинок. Поэтому проявитель над эмульсионным слоем интенсивно перемешивался. Использовался стандартный проявитель Чибисова, однако при пониженной температуре 16°C, чтобы удлинить время проявления.

Для фотографирования обычно использовались пластинки ORWO WP-3 или FP-1. Фотографирование производилось на 70-см телескопе АЗТ-8 в касегреновском фокусе со светосилой 1:16.

Калибровка фотопластинок проводилась по фотоэлектрическим измерениям яркости на электрофотометре в том же участке спектра. Такой способ выбран потому, что обычно характеристическая кривая, построенная по маркам трубчатого фотометра или с помощью впечатанного ступенчатого ослабителя, идет круче, чем построенная по лунным деталям.

Обычно наблюдения начинались с фотографирования Луны (6 снимков). Затем в кассетную часть приставки для фотографирования вставлялась головка электрофотометра и начинались относительные фотоэлектрические наблюдения отобранных областей. При этом точка 11 (Лемонье) или точка 223 (Флемстид) была опорной при наблюдении других областей; яркость измерялась после измерения яркости каждой десятой точки. Такая методика позволяет контролировать прозрачность атмосферы.

В ночь наблюдения фотометрировались или все точки или столько, сколько позволяет состояние атмосферы.

Эти фотоэлектрические измерения служат для калибровки фотопластинок и отбора среди них таких, которые наиболее близко соответствуют фотоэлектрическим данным. Обычно для обработки после отбора использовалось 3—4 пластинки. Яркость, полученная по этим пластинкам, усреднялась наряду с фотоэлектрическими данными и поступала в дальнейшую обработку.

Пусть яркость какой-либо точки на Луне с точностью до постоянного множителя описывается выражением

$$B(l, b, \alpha) = A(l, b, \alpha_0) S(l, b, \alpha) L(\lambda, \beta, \alpha), \quad (1)$$

где l и b — селенографические координаты точки — долгота и широта; λ и β — соответственно фотометрическая долгота и широта точки на Луне; α — угол фазы; $L(\lambda, \beta, \alpha)$ — распределение яркости по диску Луны; $L(\lambda, \beta, \alpha) = 1$ при $\lambda = \alpha/2$, $\beta = 0$, т. е. в зеркальной точке; $A(l, b, \alpha_0) S(l, b, \alpha)$ — эквигональная яркость точки, т. е. яркость, которую имела бы при данном угле фазы область с координатами l, b , если бы она была помещена в зеркальную точку на Луне; $S(l, b, \alpha_0) = 1$ при некотором угле фазы α_0 , принятом за стандартный; $A(l, b, \alpha_0)$ — эквигональная яркость точки при стандартном угле фазы. Подробно об этом сказано в работе [1].

Из наблюдений яркости с помощью (1) можно попытаться получить функции, входящие в это выражение. В первую очередь, мы можем получить $A(l, b, \alpha_0)$. Так как мы полагаем, что $S(l, b, \alpha_0) = 1$, то

$$A(l, b, \alpha_0) = \frac{B(l, b, \alpha_0)}{L(\lambda, \beta, \alpha_0)}. \quad (2)$$

В этом выражении $L(\lambda, \beta, \alpha_0)$ — распределение яркости по диску — в общем-то неизвестная функция, которую еще предстоит, по крайней мере, уточнить. Однако если мы остановимся на малых значениях α , то вблизи полнолуния все предложенные ранее законы распределения яркости по диску Луны дают значения, мало отличающиеся друг от друга. Поэтому естественно для получения $A(l, b, \alpha_0)$ использовать область малых фазовых углов. Для $L(\lambda, \beta, \alpha)$ возьмем закон распределения [2] в виде

$$L(\lambda, \beta, \alpha) = \frac{\cos \left[\frac{\pi}{\pi - \alpha} \left(\lambda - \frac{\alpha}{2} \right) \right] \cos \frac{\alpha}{2}}{\cos \lambda} \quad (3)$$

Поскольку мы задались целью получить точность, приближающуюся к 1%, то при расчете фотометрических условий наблюдения необходимо учесть, что Харьков, в окрестностях которого производились наблюдения, не находится в центре Земли, а Луна — протяженный объект на небесной сфере.

Пусть t — часовой угол Луны в момент наблюдения; δ_c — склонение Луны; ρ — параллакс Луны; $l_\otimes$ — селенографическая

долгота центра Земли (либрация по долготе); $b_\otimes$ — селенографическая широта центра Земли (либрация по широте); $l_\odot$ — селенографическая долгота Солнца; $b_\odot$ — селенографическая широта Солнца; p — угол положения северной проекции лунной оси на небесную сферу относительно круга склонений, проходящего через центр Луны; l_x — селенографическая долгота места наблюдения; b_x — селенографическая широта места наблюдения (Харькова); l — селенографическая долгота точки на Луне; b — селенографическая широта точки на Луне; λ — фотометрическая долгота точки на Луне; β — фотометрическая широта ее; i — угол падения света в эту точку; ε — угол отражения света от нее; α — угол фазы; z — зенитное расстояние Луны; q — угол в подлунной (на Земле) точке между кругом склонений и направлением на телескоп; φ — геоцентрическая широта телескопа.

Расстояние до центра Земли будем считать равным среднему радиусу Земли. Тогда

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta_c + \cos \varphi \cos \delta_c \cos t; \quad \sin q = \cos \varphi \frac{\sin t}{\sin z} \quad (4)$$

Угол положения телескопа по отношению к лунной оси равен $q + p$. Соответственно поправка в либрацию по широте будет параллельна лунной оси, а по долготе — перпендикулярна, т. е. $\Delta l_1 = \rho \sin z \sin(p + q)$; $\Delta b_1 = \rho \sin z \cos(p + q)$, тогда $l_x = l_\otimes + \Delta l_1$,

$b_x = b_\otimes + \Delta b_1$ есть селенографическая долгота и широта телескопа. Если r — радиус Луны, видимой с Земли в угловой

мере, l и b — координаты фотометрируемой точки, то координаты телескопа, видимые из этих точек, изменятся на величину

$$\Delta l_2 = r \sin l \cos b, \Delta b_2 = r \sin b, r = \rho \frac{r_c}{r_\odot}; \text{ и тогда } l_x = l_\odot + \Delta l_1 - \Delta l_2; b_x = b_\odot + \Delta b_1 - \Delta b_2.$$

Угол фазы вычисляется по формуле

$$\cos \alpha = \sin b_x \sin b_\odot + \cos b_x \cos b_\odot \cos (l_\odot - l_x); \quad (5)$$

угол падения света по формуле

$$\cos i = \sin b_\odot \sin b + \cos b_\odot \cos b \cos (l_\odot - l); \quad (6)$$

угол отражения —

$$\cos \varepsilon = \cos b \cos b_x \cos (l_x - l) + \sin b_x \sin b. \quad (7)$$

Фотометрическую долготу можно найти из соотношения

$$\sin \alpha \operatorname{tg} \lambda = \frac{\cos i}{\cos \varepsilon} - \cos \alpha. \quad (8)$$

Для фотометрической широты $\cos \beta = \cos \varepsilon / \cos \lambda$.

Таким образом, вычисленные фотометрические координаты будут учитывать протяженность Земли и Луны. Однако, подставив эти координаты в формулу (4) и вычислив ее с помощью $A(l, b, \alpha)$, мы получим значение альбеда для углов фазы, меняющихся в пределах диска ($0^\circ, 5$). Для сравнительного анализа необходимо иметь данные при одном угле фазы. Чтобы в какой-то мере внести соответствующие поправки, воспользуемся известным фактом, что вблизи полнолуния фазовые изменения яркости происходят в среднем со скоростью 5% на градус или в 3 раза на радиан. Если α — угол фазы для центра диска, а $\alpha(l, b)$ — угол фазы для наблюдаемой точки, вычисленный по формуле (5), то, умножая $L(\lambda, \beta, \alpha)$ на величину $[1 - 3(\alpha - \bar{\alpha})]$, мы в какой-то мере учтем влияние изменения угла фазы по диску, на результаты измерений, α — в радианах.

Основной объем наблюдений с элан осенью 1976 года.

Для определения величины альбеда вблизи полнолуния использованы данные: 8 сентября 1976 г. Три пластинки, $\bar{\alpha} = 4^\circ, 3$; 7 октября 1976 г. Три пластинки, $\bar{\alpha} = 6^\circ, 0$; 6 ноября 1976 г. Четыре пластинки, $\bar{\alpha} = 2^\circ, 8$. В результате усреднения получено среднее значение альбеда для каждой точки при среднем фазовом угле $\bar{\alpha} = 4^\circ, 3$.

С помощью общих точек, наблюдаемых В. В. Шароновым [3] и К. Пикоком [4], а также с учетом распределения энергии по спектру по опорному спектрофотометрическому каталогу [5], были получены абсолютные значения коэффициента яркости исследуемых районов для угла фазы $\bar{\alpha} = 4^\circ, 3$. Эти величины,

Таблица 3

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		9,80	10,59	10,97	10,21	12,26	11,60	9,52	9,40	8,50
1	7,62	7,98	11,79	13,78	15,00	13,65	12,33	14,00	14,23	8,89
2	7,53	8,06	8,70	8,49	8,17	7,63	8,15	11,84	11,15	6,96
3	7,10	8,08	7,67	7,84	6,75	7,25	11,36	12,68	8,22	12,53
4	11,57	9,75	9,26	14,40	12,01	8,27	15,73	14,28	13,76	13,27
5	14,97	14,87	16,93	14,40	13,84	13,29	15,27	13,30	14,09	14,37
6	14,72	15,33	15,15	13,70	10,05	13,41	12,73	7,91	7,10	8,83
7	7,46	8,53	8,53	7,60	6,89	7,21	7,04	7,17	7,89	8,29
8	7,36	6,44	11,66	16,35	13,00	11,59	8,09	6,75	6,89	6,87
9	7,42	12,41	11,83	7,77	13,87	14,30	13,51	13,30	11,84	12,71
10	18,27	13,22	12,33	13,93	16,91	10,07	9,72	14,90	14,53	12,96
11	12,86	13,71	19,00	10,36	11,69	14,60	9,22	12,39	12,14	8,18
12	8,53	9,24	8,80	8,73	7,49	7,26	7,19	7,30	10,60	8,61
13	7,68	8,77	9,80	10,97	9,29	8,38	7,31	7,70	8,09	11,63
14	8,98	6,37	10,72	6,21	9,08	8,93	11,07	10,89	11,91	12,20
15	8,71	6,95	10,49	9,53	8,07	10,86	8,71	7,88	8,02	7,02
16	9,04	13,62	17,52	9,81	18,19	18,45	15,71	19,82	14,68	12,35
17	12,38	8,18	8,78	8,83	8,35	8,52	9,58	8,34	8,37	8,07
18	13,00	13,00	8,15	7,83	7,98	8,40	7,74	8,22	7,69	11,23
19	7,66	7,35	7,09	7,09	8,79	7,56	7,99	7,15	7,33	6,95
20	7,96	7,71	10,03	7,97	7,71	8,62	12,23	6,74	7,07	7,07
21	7,04	7,65	14,78	13,55	7,53	14,08	15,33	14,07	12,98	6,71
22	6,98	7,30	6,88	6,36	7,56	8,18	7,27	6,86	7,85	8,02
23	8,22	7,39	9,38	7,18	11,56	11,06	12,07	7,94	11,77	11,97
24	12,96	14,18	14,14	6,97	7,27	7,46	7,44	8,42	12,60	9,82
25	12,94	12,63	12,88	11,66	10,65	13,04	13,49			

приведенные в табл. 3, до известной степени могут быть эквивалентом нормальной яркости. Использование их на практике

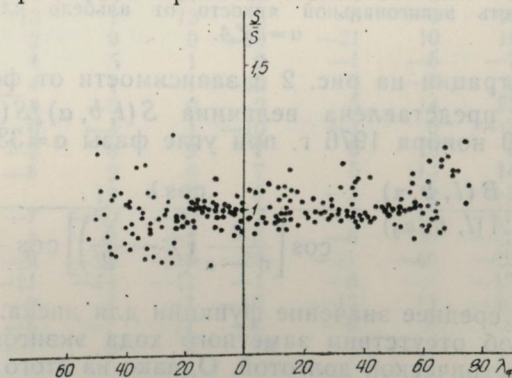


Рис. 2. Распределение по долготе отношения наблюдаемой яркости к вычисленной по формуле (10) для угла фазы $\alpha=33^\circ,4$.

более рационально; нужно напомнить, что нормальная яркость для лунных образований получается в результате экстраполяции фазовой зависимости в области, где фазовая кривая меняется нелинейно.

Имея значение эквигональной яркости вблизи полнолуния, можно уточнить закон распределения яркости по диску при фиксированном угле фазы, если предположить, что нет глобальной асимметрии в распределении по диску отклонения от среднего значения функции $S(l, b, \alpha)$:

$$L(\lambda, \beta, \alpha) S(l, b, \alpha) = \frac{B(l, b, \alpha)}{A(l, b, \alpha_0)}.$$

Проверка в диапазоне углов фазы до 60° показала, что закон относительного распределения яркости по диску в форме (3) удовлетворительно описывает наблюдаемое распределение.

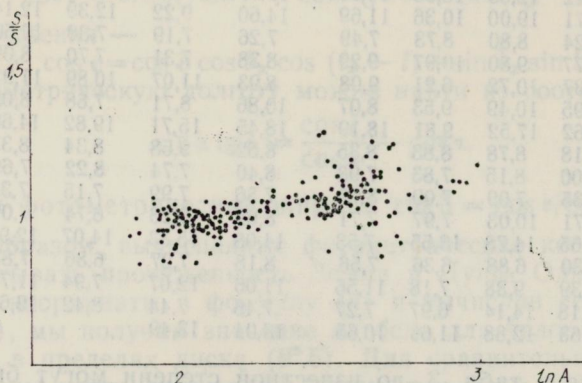


Рис. 3. Зависимость эквигональной яркости от альbedo для угла фазы $\alpha = 33.4^\circ$.

Для иллюстрации на рис. 2 в зависимости от фотометрической долготы, представлена величина $S(l, b, \alpha) / \bar{S}(l, b, \alpha)$ для наблюдений 10 ноября 1976 г. при угле фазы $\alpha = 33.4^\circ$, где

$$S(l, b, \alpha) = \frac{B(l, b, \alpha)}{A(l, b, \alpha_0)} \frac{\cos \lambda}{\cos \left[\frac{\pi}{\pi - \alpha} \left(\lambda - \frac{\alpha}{2} \right) \right] \cos \frac{\alpha}{2}}, \quad (10)$$

а $\bar{S}(l, b, \alpha)$ — среднее значение функции для диска. Рис. 2 свидетельствует об отсутствии заметного хода эквигональной яркости с фотометрической долготой. Однако из этого же рисунка видно, что точки вокруг единицы разбросаны далеко за пределы точности, т. е. фазовая зависимость яркости заметно различается для различных образований на Луне.

В работе [1] подробно обсуждался вопрос о фазовой зависимости яркости и о параметрах, ее определяющих. Там же обсуждалось влияние отражательной способности на фазовую кривую. Из рис. 4, где по оси абсцисс отложен $\ln A(l, b, \alpha_0)$, а по оси

ординат $S(l, b, \alpha)$, заметное изменение эквигональной яркости в зависимости от альбеда, что приводит к изменению показателя фазового роста яркости μ [1] на величину $\sim 3 A(l, b, \alpha_0)$. Если исключить эту зависимость и вычислить только отклонения от нее для всех точек для данного угла фазы, то можно получить отклонение Δh от среднего значения показателя шероховатости h , если фазовая зависимость $S(l, b, \alpha)$ описывается выражением [1]

$$S(l, b, \alpha) = m(l, b) l^{-h(l, b)\alpha + km(l, b)\alpha} + g(l, b) l^{-\gamma\alpha}, \quad (11)$$

где m — альбеда диффузного рассеяния; g — интенсивность оппозиционного пика; h — коэффициент шероховатости; γ — крутизна оппозиционного пика ($\gamma = 13$); k — коэффициент, учитывающий влияние альбеда на фазовую функцию ($k = 3$).

Таблица 4

100 Δh										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		-5				9	20	-18	-7	7
1	-1	-2	-2	0	19					
2								-20	-12	9
3	18	9	8							
4					30	18	20	36	24	
5								24	24	40
6	20	40	36	-22	-12	5	1	2	-7	-8
7	-2	-3	-9	-10	23	15	24	0	-4	-4
8	3	20	2	13	2	0	3	23	5	0
9	22	-24	14	27	10	4	-8	5	4	7
10	13	13	1	13		3	-6	18	4	16
11	7	2	9	0	-34	-21	10	10	7	6
12	5	4	5	1	0	-1	-5	-7	0	-2
13	8	4	1	-1	-30	0	-5	0	-3	4
14	-1	0	-5	0	-2	5	14	25	2	-4
15	0	0	-4	1	-10	-1	0	-3	-0	0
16	3	-2	8	9	7	8	10	0	13	4
17	-2	-8	2	6	7	5	13	14	8	3
18			12	6	6	-2	0	-1	2	10
19	-5	-7	-10	-10	12	-8	-5	-12	-6	-13
20	4	1	-9	-2	-5	-8	-20	-22	-12	-15
21	-12	-9	-25	-10	-23	-11	-40	-20	-18	-18
22	-11	-11	-14	-11	-1	-6	-9	-12	-7	-4
23	-4	-9	-7	-7	-15	-12	13	-20	-2	-25
24	-22	-8	-7	-11	-3	-6	2	5	-9	1
25	-4	-7	3	2	8	-2	-2			

В табл. 4 приведено Δh для измеренных точек. При этом $h = \bar{h} + \Delta h$, т. е. положительное значение Δh указывает на большую степень шероховатости, по-видимому, на больший экспозиционный возраст грунта, при условии равенства всех прочих свойств и, в первую очередь, механической прочности грунта, температуры и теплоты плавления.

Подробный анализ результатов будет проведен в дальнейшем, здесь укажем лишь, что Море Спокойствия имеет самый большой показатель шероховатости среди морских районов, а западная часть Океана Бурь — наименьший.

Для материковых районов наибольшее значение h отмечено для точек вблизи южного полюса, а наименьшее — для юго-западного района, окружающего Море Восточное.

Эти данные не противоречат стратиграфическим исследованиям Луны.

В дальнейшем предполагается уточнить стандартизацию для альбедо, что может привести к уменьшению всех данных табл. 3 на постоянную величину, отличающуюся от единицы не более, чем на 6%.

Для уточнения величины h и определения величин m и g в формуле (11) будет продолжена обработка имеющегося наблюдательного материала при различных углах фазы. Для уточнения показателя цвета предполагается провести фотоэлектрические измерения. Наконец, желательно для этих точек определить максимальную степень положительной и отрицательной поляризации и глубину полосы поглощения пироксенов в инфракрасной области.

Список литературы: 1. Акимов Л. А. Изменение яркости лунных образований с фазой. См. статью в наст. сб. 2. Акимов Л. А. О влиянии мезорельефа на распределение яркости по диску планеты.—Астроном. журн., 1975, 52, вып. 3, с. 541—635. 3. Сытинская Н. Н., Шаронов В. В. Исследования отражательной способности лунной поверхности. — Уч. зап. Ленингр. ун-та, 1952, № 153, с. 114—154. 4. Peacock K. Multicolor photoelectric photometry of the Lunar surface. — Icarus, 1968, 9, с. 16—66.

Поступила в редколлегию 25.05.81.

СОДЕРЖАНИЕ

Деркач К. Н., Кирпатовский В. М., Павленко П. П., Шутьева Р. М. Наблюдения покрытий звезд Луной в 1978—1980 гг. Экспедиция по наблюдениям касательных покрытий в 1977 г.	3
Измайлов С. Р., Кирпатовский В. М., Литкевич Н. Г. Сравнение двух программ наблюдений всемирного времени и методов их обработки	8
Измайлов С. Р., Станкевич Д. Г. Наблюдения покрытий звезд Луной на Юношеской астрономической обсерватории г. Харь- кова в 1977—1978 годах	10
Акимов Л. А. Изменение яркости лунных образований с фазой	12
Шкуратов Ю. Г. Альbedo Луны	22
Псарев В. А. Численный анализ первых лунных фотометрических каталогов	31
Псарев В. А. Относительная хронология лунной поверхности по фотометрическим данным	39
Александров Ю. В., Тишковец В. П. Оценка размеров частиц глобальной пылевой бури на Марсе в 1971 г. с учетом несферичности частиц	48
Луишско Д. Ф., Бельская И. Н., Тупиева Ф. А., Черно- ва Г. П. Фотометрия астероидов 20 Массалия и 110 Лидия в 1979 г.	54
Шестопалов Д. И., Шкуратов Ю. Г. Поляризационные и яр- костные характеристики астероидов. Попытка исследования некоторых взаимосвязей.	59
Захожай В. А. Дополнения и исправления каталога ближайших звезд до 10 пс	64
Акимов Л. А., Латынина И. И., Стадникова Н. П. Опор- ный каталог оптических характеристик избранных участков Луны. I	70

**ВЕСТНИК
ХАРЬКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

№ 232

Астрометрия и физика Солнечной системы

Редакторы *Л. Ф. Кизилова, Н. И. Верховская*
Художественный редактор *В. Е. Петренко*.
Технический редактор *Л. Т. Момот*
Корректоры *В. Л. Максименко, В. В. Николаева*

Информ. бланк № 7392

Сдано в набор 14.01.82. Подп. в печать 14.05.82.
БЦ 09216. Формат 60×90/16. Бумага типогр. № 1.
Лит. гарн. Выс. печать. 5,25 усл. печ. л. 5,5 усл. кр.-отт.
6 уч.-изд. л. Тираж 1000 экз. Изд. № 1027. Зак. 105.
Цена 85 к.

Издательство при Харьковском государственном уни-
верситете издательского объединения «Вища школа»
310003, Харьков-3, ул. Университетская, 16

Харьковская городская типография № 16,
310003, Харьков-3, ул. Университетская, 16

РЕФЕРАТЫ

УДК 521.852

Наблюдения покрытий звезд Луной в 1978—1980 гг. Экспедиция по наблюдениям касательных покрытий в 1977 г. Деркач К. Н., Кирпатовский В. М., Павленко П. П., Шутьева Р. М. — Вестн. Харьк. ун-та, 1982, № 232. Астрометрия и физика Солнечной системы, вып. 17, с. 3—7.

Приводятся результаты наблюдений по указанной теме.

Табл. 2.

УДК 522—617

Сравнение двух программ наблюдений всемирного времени и методов их обработки. Измайлов С. Р., Кирпатовский В. М., Литкевич Н. Г. — Вестн. Харьк. ун-та, 1982, № 232. Астрометрия и физика Солнечной системы, вып. 17, с. 8—10.

Излагаются результаты обработки наблюдений службы времени методом наименьших квадратов и методом, использующим экваториальные звезды для получения азимута инструмента.

Табл. 1. Библиогр.: 2 назв.

УДК 521.852

Наблюдения покрытий звезд Луной на Юношеской астрономической обсерватории г. Харькова в 1977—1978 годах. Измайлов Р. С., Станкевич Д. Г. Вестн. Харьк. ун-та, 1982, № 232. Астрометрия и физика Солнечной системы, вып. 17, с. 10—11.

Дана сводка результатов наблюдений, выполненных в 1977/78 гг.

Табл. 1.

УДК 523.4

Изменение яркости лунных образований с фазой. Акимов Л. А. — Вестн. Харьк. ун-та, 1982, № 232. Астрометрия и физика Солнечной системы, вып. 17, с. 12—22.

Дается определение эквигональной яркости $S(\alpha)$, диффузного альбедо m , показателя фазового роста яркости μ , интенсивности оппозиционного пика g и показателя роста оппозиционного пика γ .

По различным районам Луны, образцам лунного грунта и земных пород исследованы пределы применимости предложенной формулы.

Табл. 4. Ил. 1. Библиогр.: 14 назв.

УДК 523.3

Альбедо Луны. Шкуратов Ю. Г. — Вестн. Харьк. ун-та, 1982, № 232. Астрометрия и физика Солнечной системы, вып. 17, с. 22—31.

Исследуется связь френелевской и диффузной составляющих оптического альbedo Луны с физическими и химико-минералогическими свойствами реголита. Предложен приближенный метод определения дисперсии комплексного коэффициента преломления вещества по спектральному ходу альbedo. Показано, что величина диффузной составляющей альbedo Луны зависит не только от содержания железа, но так же определяется наличием в породах титана, когда его больше 2%.

Табл. 1. Ил. 2. Библиогр.: 10 назв.

УДК 523.3

Численный анализ первых лунных фотометрических каталогов. Псарев В. А. — Вестн. Харьк. ун-та, 1982, № 232. Астрометрия и физика Солнечной системы, вып. 17, с. 31—39.

Предложена методика численного анализа лунных фотометрических каталогов с ее применением оценены погрешности каталогов, составленных В. А. Федоренко и Р. Л. Вильдзем и Г. А. Поном. Для каждой детали исследуемых каталогов методом наименьших квадратов найдены значения параметров аналитического описания фотометрической функции, что позволяет вычислять ее значения при заданных условиях освещения и наблюдения соответствующих участков лунной поверхности в диапазоне углов фазы 0—120°.

Табл. 2. Ил. 1. Библиогр.: 8 назв.

УДК 523.3

Относительная хронология лунной поверхности по фотометрическим данным. Псарев В. А. — Вестн. Харьк. ун-та, 1982, № 232. Астрометрия и физика Солнечной системы, вып. 17, с. 39—48.

Проанализирована возможность привлечения фотометрических данных для определения экспозиционного возраста участков лунной поверхности. Получены корреляционные соотношения нормального альbedo и параметра численной модели фотометрической функции участков лунной поверхности с их экспозиционным возрастом. Отмечены основные направления дальнейшего развития нового метода хронологии лунной поверхности.

Ил. 4. Библиогр.: 16 назв.

УДК 523.4

Оценка размеров частиц глобальной пылевой бури на Марсе в 1971 г. с учетом несферичности частиц. Александров Ю. В., Тишковец В. П. — Вестн. Харьк. ун-та, 1982, № 232. Астрометрия и физика Солнечной системы, вып. 17, с. 48—54.

Из сравнения видимого альbedo Марса в период максимального развития пылевой бури и расчетов, выполненных на основе экспериментальных измерений индикатрис рассеяния света системами случайно ориентированных несферических частиц, сделаны оценки влияния несферичности на определение размеров частиц пыли.

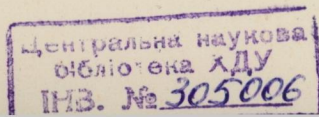
Ил. 4. Библиогр.: 14 назв.

УДК 523.4

Фотометрия астероидов 20 Массалия и 110 Лидия в 1979 г. Лупишко Д. Ф., Бельская И. Н., Тупиева Ф. А., Чернова Г. П. — Вестн. Харьк. ун-та, 1982, № 232. Астрометрия и физика Солнечной системы, вып. 17, с. 54—58.

В результате фотоэлектрических наблюдений в мае—октябре 1979 г. получены фазовые зависимости блеска и цвета астероидов 20 Массалия и 110 Лидия. Отмечено хорошее согласие полученных данных с результатами предыдущих наблюдений.

Табл. 3. Ил. 3. Библиогр.: 14 назв.



УДК 523.4

Поляризационные и яркостные характеристики астероидов. Попытка исследования некоторых взаимосвязей. Шестопалов Д. И., Шкуратов Ю. Г. — Вестн. Харьк. ун-та, 1982, № 232. Астрометрия и физика Солнечной системы, вып. 17, с. 59—64.

По данным каталога TRIAD, исследуются три оптические диаграммы астероидов С и S типов. Представлены результаты интерпретации этих диаграмм.

Табл. 1. Ил. 2. Библиогр.: 6 назв.

УДК 524.3(083.8)

Дополнения и исправления каталога ближайших звезд до 10 пс. Захожай В. А. — Вестн. Харьк. ун-та, 1982, № 232. Астрометрия и физика Солнечной системы, вып. 17, с. 64—70.

Приведены данные о 26 звездах, находящихся не далее 10 пс, не вошедшие в каталог ближайших звезд автора (1979) и список его исправлений. Приведены новые данные о радиусах и массах ближайших звезд, полученные в последние годы, список звезд, новые определения параллаксов которых оказались 0.100.

Табл. 5. Библиогр.: 11 назв.

УДК 523.4

Опорный каталог оптических характеристик избранных участков Луны. I. Акимов Л. А., Латынина И. И., Стадникова Н. П. — Вестн. Харьк. ун-та, 1982, № 232. Астрометрия и физика Солнечной системы, вып. 17, с. 70—80.

Даны координаты и альbedo исследуемых 256 районов видимой стороны Луны. Приводится методика измерений, описываются способы введения поправок, вычисления фотометрических величин.

Табл. 4. Ил. 3. Библиогр.: 4 назв.

уиВ-1^ч