

## ДИСТАНЦИОННЫЕ ОЦЕНКИ ПОРИСТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ НЕКОТОРЫХ АСТЕРОИДОВ

Ю.Е.Навроцкий

*Черниговский национальный педагогический университет имени Т.Г.Шевченко*

*г. Чернигов ул. Гетьмана Полуботка 53, 14013, Тел. 3-36-10*

*В предположении, что индикатриса рассеяния поверхности астероидов такая же, как и у Луны, и используя фазовые зависимости блеска некоторых астероидов при фазовых углах  $\alpha < 5^0$  получили значения пористости в пределах  $0,469 < p < 0.894$ .*

*ДИСТАНЦІЙНА ОЦІНКА ПОРИСТОСТІ ПОВЕРХНІ ДЕЯКИХ АСТЕРОЇДІВ  
Ю.Є.Навроцький - Зробивши припущення, що індикатриса розсіювання поверхні астероїдів така ж сама, як і у Місяця, і використовуючи фазову залежність блиску для кутів  $\alpha < 5^0$  для деяких астероїдів отримали значення пористості в межах  $0,469 < p < 0.894$ .*

*Remote evaluation porous top layer of the surface some asteroids Yu.E.Navrotsky -  
It has been suggested that the surface of the asteroid scattering function is the same as that of the moon, and using phase depending shine some asteroids at phase angles  $\alpha < 5^0$  were porosities in the range  $0,469 < p < 0.894$ .*

### **Введение и основные формулы.**

Исследования космических тел базируются, в основном, на дистанционных методах анализа отраженного ими, или собственного электромагнитного излучения, без непосредственного контакта с ними. Из

всего спектрального диапазона в котором производятся исследования лидирующее место занимает фотометрия..

Астероиды имеют малые угловые размеры. Поэтому все оптические свойства астероидов можно получить из интегрально отраженного излучения. При этом информация о пористости поверхности содержится в фазовых зависимостях блеска.

Блеск астероидов в основном меняется линейно с изменением фазового угла  $\alpha$  от  $6^0$  до  $30^0$ , и нелинейно для  $\alpha < 6^0$ . Нелинейное увеличение блеска, обнаруженное Герелсом и Коффеном [3], получило название "оппозиционный эффект".

В настоящее время для анализа поверхности безатмосферных тел часто используется более точная теория Хапке [6-9] которая содержит пять параметров. И для того, что бы получить совпадение наблюдательных данных с теоретическими нужно оперировать одновременно с пятью параметрами, что приводит к неоднозначности их значений.

Для анализа фазовых зависимостей безатмосферных тел (Луна, астероиды, некоторые спутники планет) мы будем использовать формулы полученные Мороженко и Яновицким [1] для интегральной Луны, для получения этих формул авторы использовали модель поверхности Хапке [4,5].

Применим эту формулу из таких предположений:

- что поверхность астероидов имеют такую же индикатрису рассеяния, что и Луна;
- частицы полностью непрозрачны ( $k=1$ ).

Исходя из наших предположений неизвестным остается только один параметр  $g$  – фактор упаковки.

Если учесть, что в работе [1] показано, что добавка в интенсивности за счет многократного рассеяния практически не влияет на форму эффекта оппозиции, то для упрощения расчётов мы будем учитывать только однократное рассеяние, тогда интегральная формула отражения имеет следующий вид.

$$h(\alpha) = \frac{\lambda}{4} \cdot \chi(\pi - \alpha) \cdot G(\alpha, g) \quad (1)$$

Где левая часть

$$h(\alpha) = \frac{\pi}{2} \cdot \left( \frac{r_1 \cdot \Delta}{R \cdot a} \right)^2 \cdot 2,512^{m_{\ominus} - m(\alpha)} \quad \text{- берется из наблюдений}$$

$$G(\alpha, g) = e^{\frac{1}{\pi} \left( \frac{g}{2} \right)^{\frac{3}{2}}} \cdot \int_{\alpha - \frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{\eta \cdot \zeta}{\eta + \zeta} d\omega \int_0^{\pi} J(y) \cdot \text{Cos}(\psi) d\psi$$

$$J(y, \kappa) = y \cdot \int_0^1 e^{-y \cdot s(x, \kappa)} dx + e^{-y}$$

$$y = \frac{3}{8 \cdot \sqrt{2}} \cdot g^{\frac{3}{2}} \cdot \kappa \cdot \left( \frac{1}{\zeta} + \frac{1}{\eta} \right) \cdot \left( 1 + \zeta \cdot \eta \cos ec^2 \frac{\alpha}{2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$s(x, \kappa) = \left( 1 - \frac{\kappa}{2} + \frac{\kappa \cdot \arcsin x}{\pi} \right) \cdot x + \frac{\kappa}{3 \cdot \pi} \cdot \sqrt{1 - x^2} \cdot (2 + x^2)$$

$\chi$  – индикатриса рассеяния частицы

$\zeta, \eta$  – косинусы углов падения  $\iota$ , и отражения  $\varepsilon$  соответственно

$g$  – фактор упаковки

$\kappa$  – поперечник ослабления, который указывает, какая часть светового потока, попавшая внутрь контура частицы, уходит из параллельного пучка, поглощаясь и рассеиваясь в стороны (для полностью непрозрачных частиц  $\kappa=1$ ).

Фактор упаковки  $g$  связанный с плотностью рассматриваемой области  $\rho$ , таким соотношением

$$g = 2 \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^{\frac{1}{3}}$$

где

$\rho$  – плотностью элемента объема рассматриваемой области

$\rho_0$  – плотность частицы рассматриваемой области на поверхности астероида.

Зная фактор упаковки  $g$  можно определить пористость верхнего слоя поверхности астероида за формулой,

$$p = 1 - 0,354 \cdot g^{\frac{3}{2}}$$

### **Определение фактора упаковки.**

Каждый астероид имеет свои фотометрические особенности, что в свою очередь говорит об индивидуальных физико-химических свойствах их поверхности, в том числе и разные значения фактора упаковки.

Используя результаты наблюдений фазовых зависимостей блеска астероида, для углов фазы  $\alpha < 5^0$  и сравнивая их с законом отражения (1), для различных значений  $g$ , можно добиться их хороших совпадений, тем самым определить фактор упаковки рассматриваемого объекта.

В настоящей работе для определения фактора упаковки  $g$  было сделано следующее:

1). В формуле (1) принималось, что индикатриса рассеяния частиц поверхности  $\chi$  на всех фазовых углах (включая и область оппозиции  $\alpha < 5^\circ$ ) имеет такие же значения, что и Луна [1].

2). Определялось отношение  $\frac{h(\alpha, g)}{h(\alpha_0, g)}$  где  $h(\alpha, g)$  – зависимость (1) для фазового угла  $\alpha$ ,  $h(\alpha_0, g)$  – значение зависимости (1) для углов фазы  $\alpha_0 = 0^\circ$ .

3). На график наносились значения зависимости (1) отнесенные к нулевой фазе  $\frac{h(\alpha, g)}{h(\alpha_0, g)}$

Добиваясь наилучшего совпадения экспериментальных данных и зависимости  $\frac{h(\alpha, g)}{h(\alpha_0, g)}$  при различных  $g$  для фазовых углов  $\alpha < 5^\circ$ , были определены значения фактора упаковки, для выбранных астероидов.

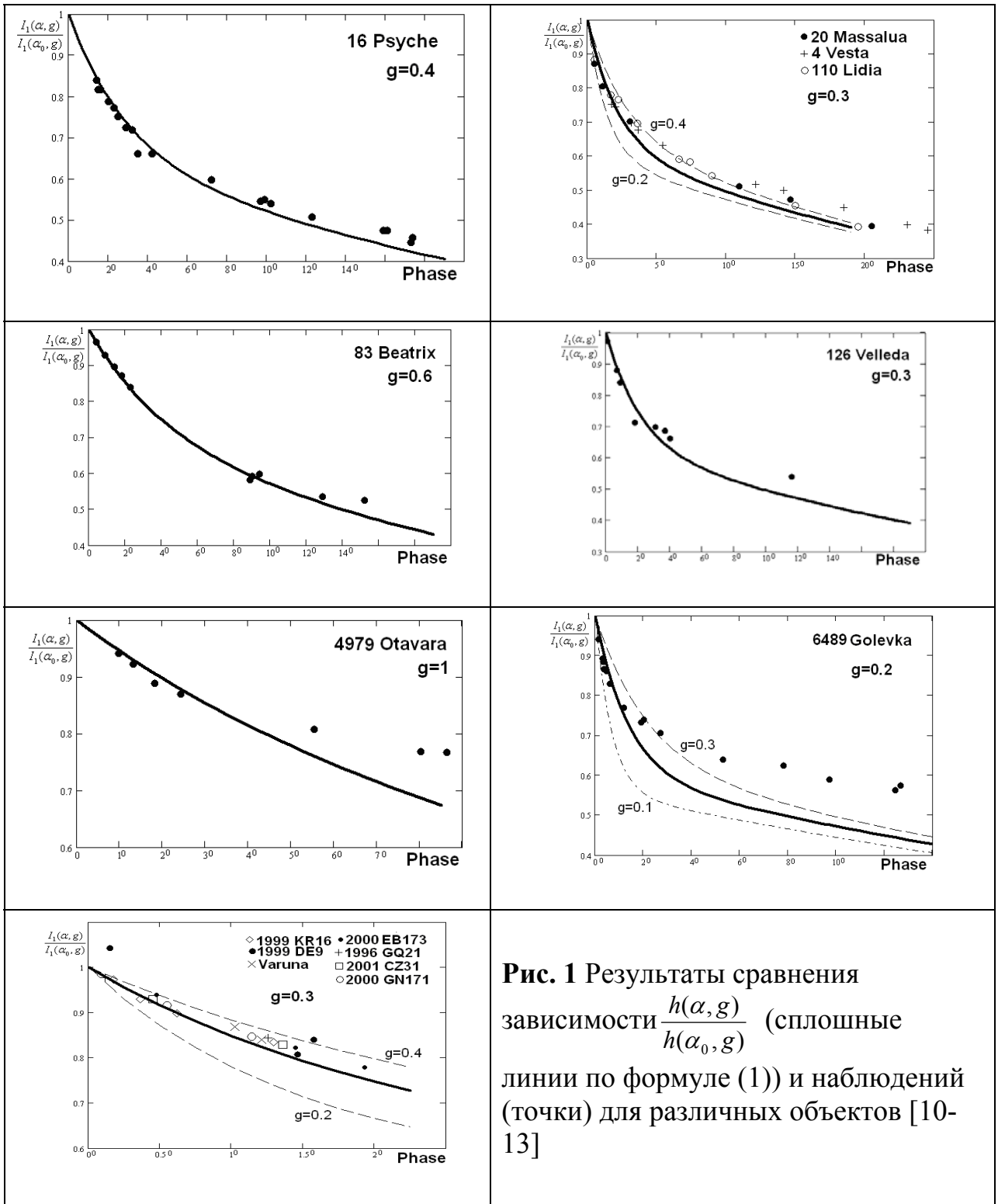
Все расчеты проводились на персональном компьютере с использованием программы MathCad.

Результаты сравнения изображены на рисунке 1, где так же указаны значения параметра  $g$ .

По найденным значениям фактора упаковки  $g$  можно определить пористость выбранных астероидов. Все найденные значения пористости  $p$  приведены в таблице 1.

**Таблица 1**

№ п/п		$p$
1	16 Psyche	0.788
2	20 Masslua 4 Vesta 110 Lidia	0.841
3	83 Beatrix	0.681
4	126 Velleda	0.841
5	4979 Otavara	0.469
6	6489 Golevka	0.894
7	Varuna at.al.	0.841



**Рис. 1** Результаты сравнения зависимости  $\frac{h(\alpha, g)}{h(\alpha_0, g)}$  (сплошные линии по формуле (1) и наблюдений (точки) для различных объектов [10-13]

## Литература

1. Мороженко А.В., Яновицкий Э.Г. (1971а), Оптические свойства поверхностного слоя Луны//Астроном.журн.-Т48.-№1.-С.172-183.
2. Le Bras A, Dotto E., Fulchignoni et.al. (2001), The 2000 Rosetta asteroid targets observational campaign: 140 Siwa and 4979 Otawara// A&A 379. 660-663.
3. Gehrels T., Coffeen D.L., Owings D. (1964), Wavelength dependence of polarization.III.The lunar surface//Astron.J.-69.-N10.-P.826-852.
4. Hapke B. A theoretical function for the lunar surface// Geophys.Res.—1963.—68.—N15.—P.4571—4586.
5. Hapke B. An improved the theoretical lunar photometric function//Astron.J.—1966.—71.—N5.—P.333—339.
6. Hapke B. W. Bidirectional reflectance spectroscopy. 1. Theory // J. Geophys. Res.—1981.—86, N B4.—P. 3039—3054.
7. Hapke B. W. Bidirectional reflectance spectroscopy. 3. Correction for macroscopic roughness // Icarus.—1984.—59, N 1.—P. 41—59.
8. Hapke B. W. Bidirectional reflectance spectroscopy- 4. The extinction coefficient and opposition effect // Icarus.—1986.—67, N 2.—P. 264—280.
9. Hapke B. W., Wells E. Bidirectional reflectance spectroscopy. 2. Experiments and observations // J. Geophys. Res—1981—86, N B4.—P. 3055—3060.
10. Krugly Yu.N. , Shevchenko V.G. , Velichko F.P. et.al. (1994), Asteroid 83 Beatrix - photometry and model // Astron. Astrophys. SuppL Ser. 108, 143-149.
11. Mottola S., Erikson A. , A.Harris W.Hahn G. and Neukum G.(1997september), Physical model of near-earth asteroid 6489 golevka (1991 jx) from optical and infrared observations // The astronomical journal. V. 114. N. 3 : P.1234 – 1245.
12. Scott S. Sheppard and David C. Jewitt (2002 September), Time-resolved photometry of kuiper belt objects: rotations, shapes, and phase functions // The Astronomical Journal, 124:1757-1775.

13. Taylor R. C., Gehrels T., and Silvester A. B. (march 1971), Minor Planets and Related Objects. VI. Asteroid (110) Lydia // The Astronomical Journal, V.76, N.2. 141 – 146.