



УДК 523.4

Анализ солнечных фазовых функций спутника Юпитера Каллисто

В.И. Шавловский

Главная астрономическая обсерватория НАН Украины

Используя долговременные фотоэлектрические наблюдения автора и Lockwood et al. для солнечных фазовых углов α от 0 до 12 град, были получены параметры Хапке w , g , h , B солнечных фазовых функций для ведущего и ведомого полушарий спутника Юпитера Каллисто. Набор параметров, полученных для длины волны λ 0.540 мкм по наземным наблюдениям в ограниченном диапазоне фазовых углов α (0–12 град), хорошо описывает полные фазовые функции обоих полушарий Каллисто, которые получены по космическим наблюдениям Voyager в обширном диапазоне α (8–140 град).

АНАЛІЗ СОНЯЧНИХ ФАЗОВИХ ФУНКЦІЙ СУПУТНИКА ЮПІТЕРА КАЛІСТО, Шавловський В.І. — Використовуючи довготривалі фотоелектричні спостереження автора та Lockwood et al. для сонячних фазових кутів α від 0 до 12 град, були отримані параметри Хапке w , g , h , B сонячних фазових функцій для ведучої та веденої півкуль супутника Юпітера Калісто. Набір параметрів, отриманих для довжини хвилі λ 0.540 мкм по наземним спостереженням в обмеженому діапазоні фазових кутів α (0–12 град), добре описує повні фазові функції обох півкуль Калісто, які отримані за космічними спостереженнями Voyager в широкому діапазоні α (8–140 град).

ANALYSIS OF THE SOLAR PHASE CURVES OF THE JUPITER'S SATELLITE CALLISTO, by Shavlovskij V.I. — Using long-term photoelectric observations by author and Lockwood et al. for solar phase angles α from 0 to 12 degree we have obtained Hapke's parameters w , g , h , B of the solar phase functions for the leading and trailing hemispheres of the Jupiter's satellite Callisto. The curve, with parameters determined from the λ 0.540 μm ground-based observations in the small range of α (from 0 to 12 degree), agrees well with the total solar phase functions for both hemispheres measured in the large interval of α (from 10 to 140 degree) during space probe missions by Voyager.

Ключевые слова: спутник Каллисто; солнечные фазовые функции.

Key words: satellite Callisto; solar phase functions.

На протяжении ряда лет многие авторы [1, 2, 3] использовали фотометрические наблюдения галилеевых спутников Юпитера для определения таких физических свойств поверхностей безатмосферных небесных тел, как пористость, шероховатость, размер частиц поверхностного слоя, их распределение по размерам. Обычно для этого используется теория Хапке [4, 5, 6], которая связывает параметры солнечной фазовой функции с физическими характеристиками поверхностного слоя. Однако характеристики ведущего и ведомого полушарий Каллисто, полученные в рамках теории Хапке [4, 5, 6], плохо согласуются между собой. Это обусловлено малым количеством наблюдений вблизи оппозиции, разнородностью используемых данных, формальной процедурой разделения солнечных и орбитальных вариаций яркости.

На протяжении ряда лет (1980–1985 гг.) автором был получен обширный набор однородных высокоточных фотометрических наблюдений галилеевых спутников Юпитера в 11 участках спектра в интервале длин волн λ от 347 до 792 нм. Наблюдения проводились в условиях высокогорья в астропункте с высокой стабильностью коэффициентов пропускания земной атмосферы (гора Майданак, Республика Узбекистан). Использование собственных наблюдений, которые содержат заметное количество измерений вблизи оппозиции, и наблюдений Lockwood et al. [7] позволило надежно определить значения параметров солнечных фазовых функций противоположных полушарий Каллисто для четырех участков спектра.

При этом для корректного учета орбитальных вариаций яркости автором была предложена четырехпараметрическая фотометрическая модель (в рамках теории Хапке [4, 5, 6]) для ведущего и ведомого полушарий Каллисто. Создан пакет программного обеспечения для разделения солнечных и орбитальных вариаций отражательной способности поверхности с одновременным подбором фотометрических параметров для противоположных полушарий спутника.

Суть предложенного подхода заключается в следующем. Поверхности ведущего и ведомого полушарий отличаются по своим свойствам, поскольку имеют различные солнечные фазовые функции (см. рис. 1). Поэтому для каждого полушария принимается отдельный набор параметров. Вклад каждого полушария в общий поток отраженного от поверхности излучения изменяется пропорционально проекциям площадей полушарий на картинную плоскость. Он может быть вычислен по уравнениям теории Хапке для принятых наборов параметров и значений солнечного и орбитального углов на момент наблюдений. Значения параметров для каждого полушария были определены из условия наилучшего согласия модельных и наблюдаемых значений отражательной способности. Процедура подбора параметров

Таблица 1. Расчетные параметры для поверхности Каллисто

Полушарие Каллисто	B_0	h	ω	g	λ , мкм
Ведущее	0.900	0.020	0.350	-0.225	0.346
	0.925	0.025	0.400	-0.275	0.540
	1.000	0.040	0.450	-0.200	0.792
	0.950	0.030	0.337	-0.300	0.470
	0.900	0.030	0.375	-0.300	0.550
	0.925	0.025	0.400	-0.275	0.540
Ведомое	0.800	0.055	0.450	-0.150	0.346
	0.975	0.045	0.500	-0.175	0.540
	0.800	0.045	0.600	-0.100	0.792
	0.975	0.055	0.400	-0.225	0.470
	0.900	0.045	0.450	-0.225	0.550
	0.900	0.045	0.500	-0.175	0.540

была облегчена тем, что непосредственно из наблюдений вблизи оппозиции удалось определить значения геометрического альbedo каждого полушария.

Используя долговременные фотометрические наблюдения автора и Lockwood et al. [7] для солнечных фазовых углов 0–12 град в длинах волн $\lambda\lambda$ 0.346, 0.470, 0.540, 0.792 мкм, получены параметры Хапке (альbedo однократного рассеяния ω , фактор асимметрии g индикатрисы Хенни–Гринстейна, полуширина h и амплитуда B оппозиционной волны) фазовых функций для ведущего и ведомого полушарий Каллисто, которые представлены в табл. 1.

Полученные значения фотометрических параметров показывают, что поверхность ведущего полушария Каллисто состоит из частиц, имеющих более сильное обратное рассеяние и более пористое состояние, чем поверхность ведомой стороны.

Наблюдательные данные и модельные кривые для 0.540 мкм представлены на рис. 1 и рис. 2.

Как видно из рис. 3, фазовые функции с параметрами, определенными для длины волны λ 0.540 мкм по наземным наблюдениям в интервале солнечных фазовых углов 1–12 град, хорошо согласуются с фазовыми функциями для обоих полушарий, полученными для интервала фазовых углов 10–140 град по космическим измерениям Voyager [2].

Это свидетельствует о корректности предложенной фотометрической модели, точности наблюдений и

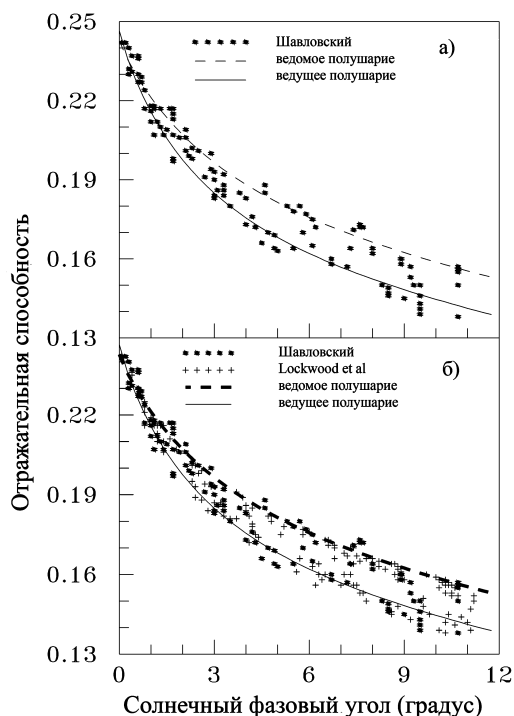


Рис. 1. а) Наблюдаемая отражательная способность (точки) Каллисто для 0.540 мкм как функция солнечного фазового угла. Модельная кривая показана непрерывной (ведущая сторона) и пунктирной (ведомая сторона) линиями. б) То же самое что и а), но для более обширного набора наблюдений.

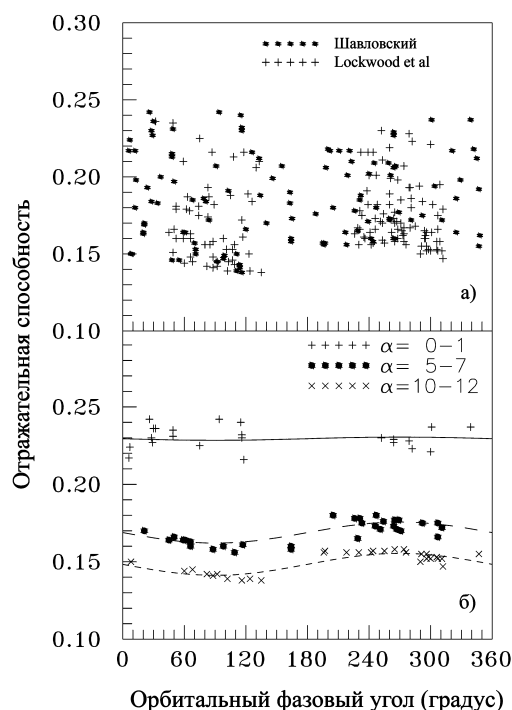


Рис. 2. Отражательная способность Каллисто для λ 0.540 мкм как функция орбитального фазового угла. а) Общий набор наблюдательных данных. б) Наблюдательные данные для нескольких фиксированных интервалов солнечного фазового угла и соответствующие модельные кривые.

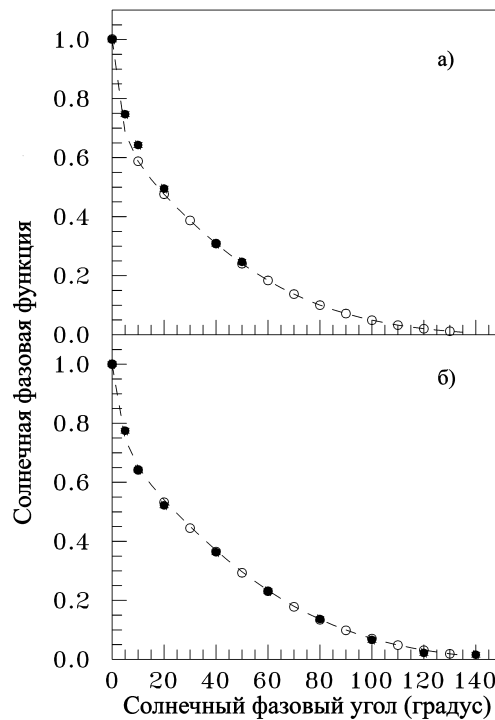


Рис. 3. Солнечная фазовая функция в зависимости от солнечного фазового угла α для ведущей (а) и ведомой (б) стороны Каллисто для λ 0.540 мкм. Модельные кривые показаны пунктиром. Их параметры получены по наблюдениям автора. Параметры модели, представленной светлыми кружками, основаны на совместных данных автора и Lockwood et al. Данные по измерениям Voyager (темные кружки) показаны для сравнения.

надежности определения параметров поверхности Каллисто по наземным исследованиям.

1. *Buratti B.J.* Callisto: New evidence for a hemispheric difference in surface texture // *Bull. Amer. Astron. Soc.* — 1989. — **21**, № 3. — P.983.
2. *Buratti B.J.* Ganymede and Callisto: surface textural dichotomies and photometric analysis // *Icarus.* — 1991. — **92**, № 2. — P. 312–323.
3. *Domingue D., Verbiscer A.* Re-analysis of the solar phase curves of the icy galilean satellites // *Icarus.* — 1997. — **89**, № 1. — P. 49–74.
4. *Hapke B.W.* Bidirectional reflectance spectroscopy. 1. Theory // *J. Geophys. Res.* — 1981. — **86**, № B4. — P. 3039–3054.
5. *Hapke B.W.* Bidirectional reflectance spectroscopy. 3. Correction for macroscopic roughness // *Icarus.* — 1984. — **59**, № 1. — P. 41–59.
6. *Hapke B.W.* Bidirectional reflectance spectroscopy. 4. The extinction coefficient and opposition effect // *Icarus.* — 1986. — **67**, № 2. — P. 264–280.
7. *Lockwood G.W., Thompson D.T.* Photoelectric photometry of Europa and Callisto 1976–1991 // *J. Geophys. Res.* — 1992. — **97**, № E9. — P. 14761–14772.

Поступила в редакцию 25.07.2012