

УДК 523.45—87

Оппозиционный эффект спутника Юпитера Каллисто для λ 0.407—0.755 мкм

В. В. Аврамчук, В. И. Шавловский

Проведены фотоэлектрические наблюдения спутника Юпитера Каллисто в спектральной области λ 0.347—0.792 мкм с использованием 11 интерференционных фильтров (92 ночи, 1980—1983, 1985 гг.). Получена зависимость оппозиционного эффекта ведущего и ведомого полушарий от длины волны в области λ 0.407—0.792 мкм. Для обоих полушарий значение оппозиционного эффекта увеличивается при уменьшении отражательной способности с уменьшением длины волны. При этом ведущее полушарие спутника имеет больший оппозиционный эффект (0.21—0.29^m) по сравнению с ведомым (0.15—0.18^m) для всей исследованной спектральной области.

THE OPPOSITION EFFECT OF THE JUPITER SATELLITE CALLISTO (0.407—0.755 μ m), by Avramchuk V. V., Shavlovskij V. I.—Photoelectric observations of the Jupiter satellite Callisto were carried out in the spectral region 0.347—0.792 μ m using 11 interference filters during 92 nights in 1980—1983, 1985. The dependence of the opposition effect on wavelength was obtained in the spectral region 0.407—0.755 μ m. The opposition effect for the leading and trailing hemispheres increases as reflectivity falls with a decreasing of the wavelength. In the whole observed spectral region the leading hemisphere has a more significant opposition effect (0.21—0.29^m) than the trailing (0.15—0.18^m) one.

В работе [9] впервые установлено, что у спутника Юпитера Каллисто наблюдается заметный оппозиционный эффект, т. е. избыток яркости при небольших фазовых углах по сравнению с линейным ходом фазовой кривой [1], и ведущее и ведомое его полушария имеют разные пики яркости в оппозиции (при одинаковом линейном ходе фазовой кривой для $\alpha=6-12^\circ$). Величина оппозиционного эффекта ведущего полушария (для орбитального фазового угла $\theta=0-180^\circ$) достигает $\Delta m=0.32^m$, а ведомого ($\theta=180-360^\circ$) — составляет $\Delta m \approx 0.12^m$ [3]. Эти наблюдения выполнены с помощью широкополосного фильтра, центрированного на длину волны $\lambda=0.45$ мкм.

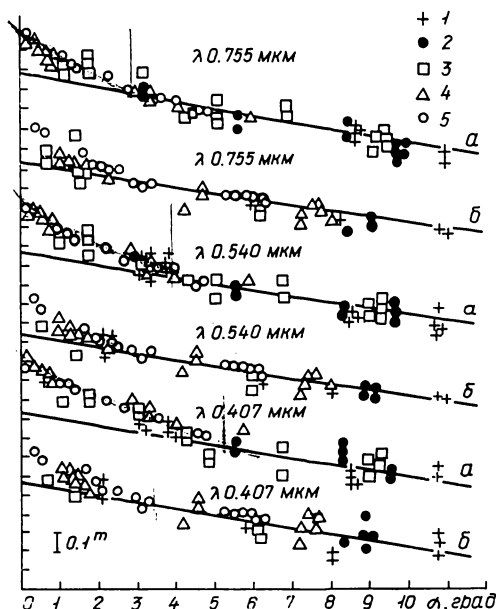
Позже результаты, представленные в [9], были дополнены и уточнены данными [1, 3, 5 и др.]. Как правило, в отмеченных работах наблюдения проводились с использованием только фильтров, близких к международной системе V. Лишь в [7] использовались фильтры *b* (λ 0.472 мкм) и *y* (λ 0.551 мкм) среднеполосной системы *u, v, b, y*. Зависимость оппозиционного эффекта от длины волны до сих пор не определялась.

В то же время известно, что для изучения природы оппозиционного эффекта и его связи с микроструктурой и оптическими параметрами отражающей поверхности важно найти не только величину этого эффекта, но и его зависимость от длины волны. В частности, не ожидается сильной зависимости эффекта оппозиции от длины волны, если он обусловлен затенением одних частей поверхности другими вдали от противостояния. В этом случае для шероховатой поверхности можно пренебречь эффектами многократного рассеяния света [1]. Если же увеличение яркости вблизи противостояния обусловлено другими причинами (например, gloria на прозрачных частицах, рассеяние света на угольковых отражателях и др.), то зависимость от длины волны может быть весьма сложной.

Настоящая работа посвящена изучению зависимости эффекта оппозиции от длины волны для ведущего и ведомого полушарий Каллисто.

Наблюдения проводились в течение 92 ночей в периоды видимости Юпитера в 1980—1983 и 1985 гг. с помощью 60-см рефлектора ГАО АН УССР (УзССР, гора Майданак, высота 2750 м) и фотоэлектрического фотометра, работающего в режиме счета фотонов. При наблюдениях использовались 11 интерференционных фильтров ($\Delta\lambda/\lambda \approx 2\%$) в спектральной области $\lambda\lambda$ 0.347—0.792 мкм. Приведенные результаты получены с фильтрами, центрированными на длины волн 0.407, 0.540 и 0.755 мкм.

Для каждого сезона наблюдений подбиралась звезда сравнения, имеющая спектральный класс, близкий к солнечному, и расположенная на малом угловом расстоянии от Юпитера. В качестве основного



Зависимость величины оппозиционного эффекта Δm и геометрического альbedo P от длины волны λ

λ , мкм	Полушарие			
	Ведущее		Ведомое	
	Δm	P	Δm	P
0.755	0.21 ^m	0.25	0.15 ^m	0.25
0.540	0.27	0.22	0.15	0.21
0.407	0.29	0.17	0.18	0.17

Зависимость звездной величины Каллисто от солнечного фазового угла α . Полушарие: *a* — ведущее, *b* — ведомое. Наблюдения: 1 — 1980 г.; 2 — 1981 г.; 3 — 1982 г.; 4 — 1983 г.; 5 — 1985 г.

фотометрического стандарта использовалась звезда λ Vir [4]. Вторичные фотометрические стандарты для каждого сезона наблюдений определялись путем привязки к этой звезде, которая осуществлялась параллельно с наблюдениями спутника на той же аппаратуре. Каждую ночь определялись спектральные коэффициенты прозрачности земной атмосферы. Внутренняя сходимость относительной привязки звезд-стандартов друг к другу оказалась лучше 1%. Это позволило привести наблюдения спутника за пять сезонов в одну систему и получить для него достаточно надежные фазовые кривые.

При отсчете на звезду или спутник накапливалось примерно 10^4 — 10^5 импульсов, что обеспечивало статистическую точность измерения светового потока звезды лучше 1%.

Вычисление звездных величин спутника. Так как фотометрические измерения Каллисто использовались не только для построения солнечных фазовых кривых (в относительных единицах), но и для определения геометрического альbedo спутника, то в качестве основной расчетной формулы удобно использовать выражение

$$m_\lambda = -2.5 \lg \left\{ E_\lambda^* \frac{I_\lambda^{\text{сп}}}{I_\lambda^*} \left[\frac{rl}{a(a-1)} \right]^2 p_\lambda^{\Delta M} \right\},$$

где m_λ — звездная величина спутника для длины волны λ ; E_λ^* — внеатмосферная монохроматическая освещенность от звезды; $I_\lambda^{\text{сп}}$ и I_λ^* — измеренные интенсивности излучения спутника и звезды сравнения; r и l — гелиоцентрические и геоцентрические расстояния спутника; a —

большая полуось орбиты Юпитера; p_λ — спектральный коэффициент прозрачности земной атмосферы; ΔM — разность воздушных масс для звезды сравнения и спутника.

В одной серии наблюдений (при фиксированных значениях α и θ) интенсивность спутника измерялась 3—4 раза, что позволило уменьшить случайные ошибки учета фона неба возле яркого диска Юпитера. При этом средняя квадратичная ошибка составляла 2—3 %.

Определение оппозиционного эффекта Каллисто. На рисунке представлены полученные солнечные фазовые кривые Каллисто для трех участков спектра. Данные усреднялись отдельно для ведущего и ведомого полушарий. Некоторый разброс точек на полученных кривых обусловлен реальными вариациями блеска спутника в пределах каждого полушария и трудностями многолетних привязок.

Для определения величины оппозиционного эффекта линейная часть фазовой кривой (для $\alpha \geq 6^\circ$) аппроксимировалась прямой, найденной по методу наименьших квадратов. Для момента оппозиции звездная величина спутника определялась непосредственно из наблюдательных данных, а не путем экстраполяции фазовой кривой на угол $\alpha = 0$, как делали ранее многие авторы. Это стало возможным благодаря тому, что нам удалось получить достаточно многочисленные и надежные оценки блеска Каллисто вблизи нулевой фазы.

Зависимость оппозиционного эффекта и геометрического альbedo [2] ведущего и ведомого полушарий Каллисто от длины волны приведена в таблице. Суммарная ошибка в определении величины оппозиционного эффекта, состоящая из ошибок определения блеска спутника при $\alpha = 0$ и ошибок линейной аппроксимации, достигает 4—5 %. Отметим, что полученные нами значения оппозиционного эффекта ведущего (0.27^m) и ведомого (0.15^m) полушарий Каллисто для $\lambda = 0.540$ мкм хорошо согласуются с результатами [3] для фильтра V (0.25 и 0.13^m соответственно).

Как видно из таблицы, оппозиционный эффект ведущего полушария заметно увеличивается с уменьшением длины волны. Такая же тенденция наблюдается и в случае ведомого полушария. Кроме того, геометрическое альbedo уменьшается в коротковолновую область спектра. При этом обратную корреляцию между величиной оппозиционного эффекта и отражательной способностью для Каллисто, по-видимому, можно объяснить, рассматривая функции затенения элементов поверхности [1]. Функция затенения определяется в основном характером взаимного расположения (упаковкой) частиц, образующих поверхность, т. е. пористостью поверхности. Существенное различие оппозиционного эффекта для ведущего и ведомого полушарий Каллисто (при почти одинаковом геометрическом альbedo) требует изучения дополнительных причин, приводящих к появлению этого эффекта.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для исследованной области спектра ведущее полушарие Каллисто имеет больший оппозиционный эффект, чем ведомое. С уменьшением геометрического альbedo (при уменьшении длины волны) увеличивается оппозиционный эффект обоих полушарий и увеличиваются различия между ними.

Этот результат согласуется с данными лабораторных исследований [6], которые показали, что эффект противостояния больше в той области спектра, где отражательная способность меньше. Подобное явление обнаружено [8] у Марса и лабораторных образцов с поверхностью, аналогичной поверхности Марса.

Для линейных фазовых коэффициентов ($\alpha > 6^\circ$) мы не нашли какой-либо зависимости от длины волны и их различий для ведущего и ведомого полушарий Каллисто. По нашим измерениям среднее значение линейного фазового коэффициента для Каллисто: $\beta = 0.034 \pm \pm 0.004$ зв. вел/град, что неплохо согласуется со значением $\beta = 0.032 \pm \pm 0.005$ зв. вел/град, полученным в работе [1].

1. *Веверка Дж.* Фотометрия поверхности спутников // Спутники планет / Под ред. Дж. Бернса.— М.: Мир, 1980.— С. 203—243.
2. *Довгопол А. Н., Шавловский В. И.* Оптические характеристики галилеевых спутников Юпитера в спектральной области 0.347—0.792 мкм. I. Зависимость отражательной способности от орбитального фазового угла вблизи оппозиции // Кинематика и физика небес. тел.— 1985.— 1, № 4.— С. 29—36.
3. *Моррисон Д., Моррисон Н.* Фотометрия галилеевых спутников // Спутники планет / Под ред. Дж. Бернса.— М.: Мир, 1980.— С. 402—417.
4. *Харитонов А. В., Терещенко В. М., Князева Л. Н.* Сводный спектрофотометрический каталог звезд.— Алма-Ата: Наука, 1978.— 197 с.
5. *Blanco C., Catalano S.* On the photometric variations of the Saturn and Jupiter satellites // *Astron. and Astrophys.*— 1974.— 33, N 1.— P. 105—111.
6. *Coffeen D. L.* Wavelength dependence of polarization. IV. Volcanic cinders and particles // *Astron. J.*— 1965.— 70, N 6.— P. 403—413.
7. *Lockwood G. W., Thompson D. T., Lumme K. A.* A possible detection of solar variability from photometry of Io, Europa, Callisto, and Rhea, 1976—1979 // *Ibid.*— 1980.— 85, N 7.— P. 961—968.
8. *O'Leary B. T., Rea D. G.* The opposition effect on Mars and its implications // *Icarus.*— 1968.— 9, N 3.— P. 405—428.
9. *Stebbins J., Jacobsen T. S.* Further photometric measures of Jupiter's satellites and Uranus, with tests for the solar constant // *Lick Observ. Bull.*— 1928.— 13, N 401.— P. 180—195.

Глав. астрон. обсерватория АН УССР,
Киев

Поступила в редакцию 01.09.87,
после доработки 13.10.87

РЕФЕРАТ ПРЕПРИНТА

УДК 524.7

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЛАКТИК МАРКАРЯНА В ОПТИЧЕСКОМ, ДАЛЬНЕМ ИНФРАКРАСНОМ И РАДИОДИАПАЗОНАХ/Изотов Ю. И., Изотова И. Ю.

(Препр. / АН УССР. Ин-т теорет. физики; ИТФ-88-109Е)

Проведено статистическое исследование свойств галактик Маркарьяна в оптическом, дальнем ИК- и радиодиапазонах. Получены функции светимости галактик в дальнем ИК- и радиодиапазонах. Показано, что незарегистрированные спутником IRAS сейфертовские галактики по характеристикам не отличаются от галактик Сейферта, наблюдавшихся в ИК-диапазоне. В то же время обнаружено статистически значимое различие между зарегистрированными и незарегистрированными в ИК-диапазоне H II-галактиками. С использованием ранговых коэффициентов Спирмена для H II-галактик показано существование тесной корреляции радиосветимости на длине волны 6.3 см с ИК-светимостью L_{FIR} и светимостью горячей составляющей пыли L_h . Сделан вывод о возникновении радио- и ИК-излучения в одних и тех же областях H II-галактик — зонах интенсивного звездообразования. Отсутствие корреляционной связи массы газа M_H и полной массы галактики M_T с отношением инфракрасной светимости к оптической L_{FIR}/L_b объясняется независимостью темпа звездообразования в галактике от M_H и M_T . По мощности ИК-излучения оценена скорость образования O-звезд, которая для H II-галактик равна $3.3 M_{\odot}/\text{год}$, а для сейфертовских галактик — $5.9 M_{\odot}/\text{год}$, что в несколько раз выше, чем у нормальных спиральных галактик.