

УДК 523.4

Оптические характеристики галилеевых спутников Юпитера в спектральной области 0.347—0.792 мкм.

II. Зависимость отражательной способности от орбитального фазового угла при $\alpha=6^\circ$

А. Н. Довгопол, В. И. Шавловский

Проведены фотоэлектрические наблюдения галилеевых спутников Юпитера в спектральной области 0.347—0.792 мкм с использованием 11 интерференционных фильтров ($\Delta\lambda/\lambda \approx 2\%$). Получена зависимость отражательной способности спутников от орбитального фазового угла для солнечного фазового угла $\alpha=6^\circ$. Наибольшие отличия между орбитальными кривыми для $\alpha=0^\circ$ и $\alpha=6^\circ$ наблюдаются у Каллисто в УФ-области ($\lambda=0.347$ мкм), наименьшие — у Европы во всем исследуемом спектральном диапазоне.

OPTICAL CHARACTERISTICS OF THE GALILEAN SATELLITES OF JUPITER (0.347—0.792 μm). II. THE DEPENDENCE OF THE REFLECTIVITY ON THE ORBITAL PHASE ANGLE FOR $\alpha=6^\circ$, by Dovgopol A. N., Shavlovskij V. I. — Photoelectric observations of the Galilean satellites have been carried out in the spectral region 0.347—0.792 μm using 11 interference filters ($\Delta\lambda/\lambda \approx 2\%$). The dependence of the reflectivity on the orbital phase angle was obtained for the solar phase angle $\alpha=6^\circ$. The most significant differences between the orbital curves for $\alpha=0^\circ$ and $\alpha=6^\circ$ were observed for Callisto in the ultraviolet region ($\lambda=0.347 \mu\text{m}$). The smallest differences were observed for Europa in the whole spectral region.

Введение. При уменьшении солнечного фазового угла α от 6° до 0° яркость галилеевых спутников возрастает значительно быстрее, чем для $\alpha > 6^\circ$. Избыток блеска вблизи противостояния зависит главным образом от функции затенения элемента поверхности, определяемой структурой поверхности и ее пористостью [1]. Кроме того, пик яркости зависит от индикатрисы рассеяния и альбеда отдельных частиц, образующих поверхность [1].

«Эффект противостояния» обычно моделируется параболой, для $\alpha > 6^\circ$ принимается линейный фазовый закон. Тогда для полного описания фазовой кривой достаточно знать три параметра: блеск спутника в оппозицию ($\alpha=0^\circ$), при $\alpha=6^\circ$, а также скорость изменения блеска для линейной части фазовой кривой [4]. При наблюдениях мы получаем данные о блеске спутников, зависящие не только от значения солнечного фазового угла α , но и от орбитального угла θ . При этом последняя зависимость может иметь различный вид для разных значений α . Поэтому для корректного исследования зависимости блеска спутников от α необходимо прежде всего располагать данными об орбитальных фазовых кривых при всех значениях α (или хотя бы для некоторых их значений) и учитывать их. В предыдущей статье [2] такие данные мы привели для $\alpha \approx 0^\circ$. В данной работе приводятся орбитальные кривые для $\alpha=6^\circ$.

Наблюдения. Наблюдения проводились в мае — июне 1983 г. на 60-см рефлекторе ГАО АН УССР (гора Майданак, УзССР) с помощью фотоэлектрического фотометра, работающего в режиме счета фотонов. Отдельные участки спектрального интервала 0.347—0.792 мкм вырезались при помощи 11 интерференционных фильтров ($\Delta\lambda/\lambda \approx 2\%$). Аппаратура, методика наблюдений и учета прозрачности земной атмосферы описаны в [2].

Абсолютные значения распределения энергии в спектре звезды сравнения 9ω Ori авторы определяли путем привязки к звезде λ Vir, данные для которой взяты из каталога А. В. Харитонова и др. [5].

Вычисление отражательной способности спутников. Для вычисления спектральной отражательной способности спутников мы использовали выражение $A_\lambda = (I_\lambda^{\text{сп}}/I_\lambda^*) (E_\lambda^*/E_\lambda^\odot) (r/l/R)^2 P_\lambda^{\Delta M}$, где A_λ — отражательная способность для длины волны λ ; $I_\lambda^{\text{сп}}$ и I_λ^* — измеренные интенсивности спутника и звезды сравнения; E_λ^* и E_λ^\odot — внеатмосферные значения освещенности

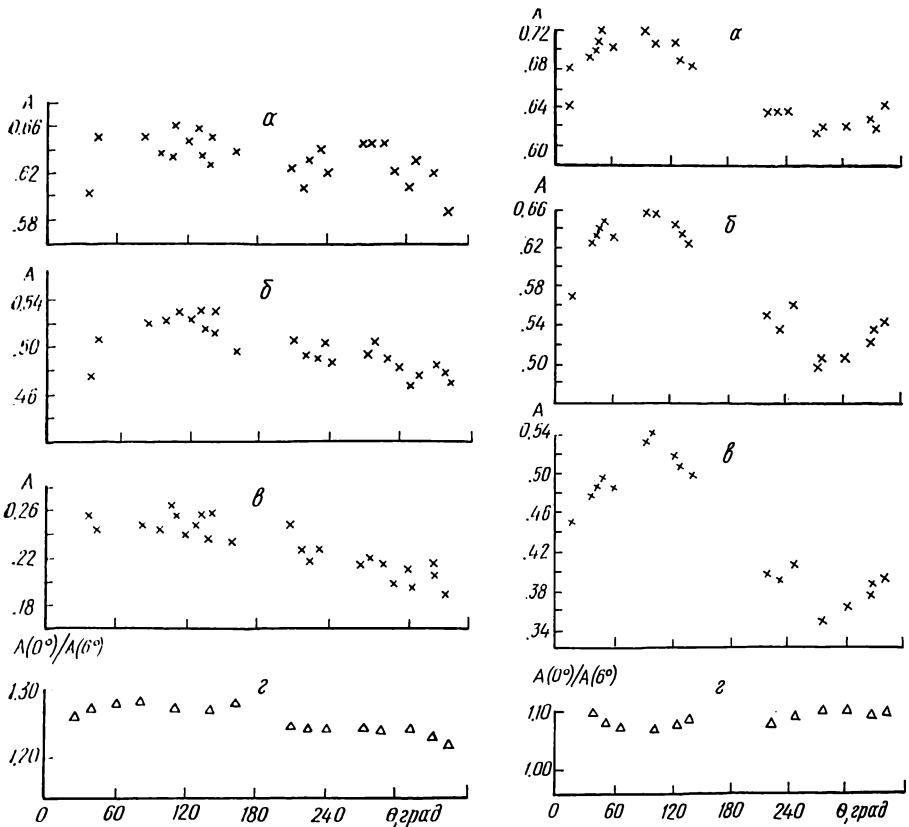


Рис. 1. Зависимость отражательной способности I_0 от орбитального фазового угла θ при $\alpha=6^\circ$ для $\lambda=0.755$ мкм (а), $\lambda=0.540$ мкм (б), $\lambda=0.347$ мкм (в). Отношение отражательной способности I_0 при $\alpha=0^\circ$ и $\alpha=6^\circ$ для $\lambda=0.540$ мкм (z)

Рис. 2. Зависимость отражательной способности Европы от орбитального фазового угла θ при $\alpha=6^\circ$ для $\lambda=0.755$ мкм (а), $\lambda=0.540$ мкм (б), $\lambda=0.347$ мкм (в). Отношение отражательной способности Европы при $\alpha=0^\circ$ и $\alpha=6^\circ$ для $\lambda=0.540$ мкм (z)

для звезды сравнения и Солнца; R — радиус спутника; r и l — гелиоцентрические и геоцентрические расстояния спутников; P_λ — коэффициент прозрачности земной атмосферы; ΔM — разность воздушных масс звезды и спутника.

Для радиусов спутников приняты значения, полученные с помощью космических аппаратов [8]: Ио — 1820 км, Европа — 1565 км, Ганимед — 2640 км, Каллисто — 2420 км (точность ± 15 км). Данные о распределении энергии в спектре Солнца взяты из [3].

Наблюдения выполнялись при $\alpha=1 \div 8^\circ$. Для редукции полученных данных к $\alpha=6^\circ$ поверхность каждого спутника разделялась по долготе на 2—3 отдельных участка, и для них использовались фазовые коэффициенты из [7]. Поскольку фазовые функции галилеевых спутников слабо зависят от длины волны [6, 7], то во всех длинах волн использовалась фазовая функция для $\lambda=0.54$ мкм. Дополнив полученные данные новыми наблюдениями, мы в дальнейшем сможем выполнить указанную редукцию без привлечения дополнительных данных [7].

Орбитальные вариации отражательной способности. Полученная нами зависимость отражательной способности галилеевых спутников от орбитального фазового угла в трех участках спектра показана на рис. 1—4. Среднее квадратичное отклонение внутри каждой серии измерений (ошибка воспроизводимости) составляет в среднем 2—3 %.

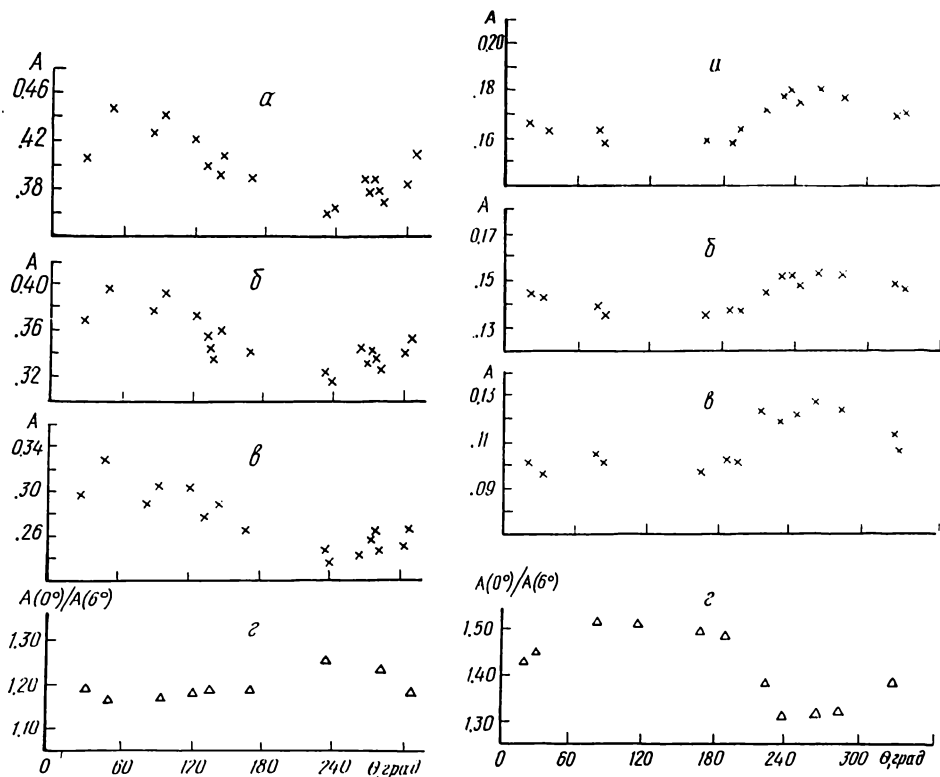


Рис. 3. Зависимость отражательной способности Ганимеда от орбитального фазового угла θ при $\alpha=6^\circ$ для $\lambda=0.755$ мкм (а), $\lambda=0.540$ мкм (б), $\lambda=0.347$ мкм (в). Отношение отражательной способности Ганимеда при $\alpha=0^\circ$ и $\alpha=6^\circ$ для $\lambda=0.540$ мкм (г)

Рис. 4. Зависимость отражательной способности Каллисто от орбитального фазового угла θ при $\alpha=6^\circ$ для $\lambda=0.755$ мкм (а), $\lambda=0.540$ мкм (б), $\lambda=0.347$ мкм (в). Отношение отражательной способности Каллисто при $\alpha=0^\circ$ и $\alpha=6^\circ$ для $\lambda=0.540$ мкм (г).

Погрешность в абсолютных значениях энергии звезды сравнения составляет $\sim 4\%$, Солнца $\sim 3-4\%$, ошибка учета прозрачности — около 1% . Следовательно, суммарная ошибка значений отражательной способности достигает $\sim 7\%$.

У Ио и Европы амплитуда орбитальных вариаций отражательной способности в разных участках спектра примерно такая же, как и для случая оппозиции [2] (рис. 1—4). Подтверждается наличие темных красных деталей на ведомых полушариях этих спутников, о чем уже сообщалось в предыдущей статье [2].

У Ганимеда наблюдаются наибольшие среди всех спутников орбитальные вариации отражательной способности в красной области ($\sim 20\%$). Значительные вариации имеются у этого спутника также и в УФ-области ($\sim 30\%$). У Каллисто орбитальные вариации отражательной способности в оппозицию не превосходят $5-7\%$ [2], тогда как при $\alpha=6^\circ$ они достигают 30% в УФ-области ($\lambda=0.347$ мкм) и $13-14\%$ для $\lambda=0.540$ мкм и $\lambda=0.755$ мкм.

На рис. 1—4 для $\lambda=0.540$ мкм представлено отношение отражательной способности при $\alpha=0^\circ$ и $\alpha=6^\circ$. Из рисунков видно, что наибольший оппозиционный эффект наблюдается у Каллисто для более

темного ведущего полушария: $A(0^\circ)/A(6^\circ) \approx 1.5$. Кроме того, у Каллисто наблюдаются и наибольшие отличия между полушариями: для ведомого полушария $A(0^\circ)/A(6^\circ) \approx 1.3$. Наименьший оппозиционный эффект имеет Европа: $A(0^\circ)/A(6^\circ) = 1.06 \div 1.09$. У Ио и Ганимеда оппозиционный эффект больше, чем у Европы, но меньше, чем у Каллисто. Для этих спутников $A(0^\circ)/A(6^\circ) = 1.15 \div 1.27$.

Итак, для галилеевых спутников Юпитера орбитальные фазовые зависимости являются функциями солнечного угла α , что безусловно сказывается на получаемых данных о солнечных фазовых кривых спутников. Поэтому орбитальные кривые спутников для различных значений α дадут возможность определять солнечные фазовые функции для отдельных участков поверхности, а из них — некоторые физические характеристики поверхностного слоя.

1. Веверка Дж. Фотометрия поверхности спутников // Спутники планет.— 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. Макарова Е. А., Харитонов А. В. Распределение энергии в спектре Солнца и солнечная постоянная.— М.: Наука, 1972.—288 с.
4. Моррисон Д., Моррисон Н. Фотометрия галилеевых спутников // Спутники планет.— М.: Мир, 1980.— С. 402—417.
5. Харитонов А. В., Терещенко В. М., Князева Л. Н. Сводный спектрофотометрический каталог звезд.— Алма-Ата: Наука, 1978.—197 с.
6. Lockwood G. W., Thompson D. T., Lumme K. A possible detection of solar variability from photometry of Io, Europe, Callisto, and Rhea, 1976—1979 // Astron. J.—1980.—85, N 7.— P. 961—968.
7. Millis R. L., Thompson D. T. UVB photometry of the Galilean satellites // Icarus.— 1975.—26, N 4.— P. 408—419.
8. Smith B. A., Soderblom L. A., Johnson T. V. The Jupiter system through the eyes of Voyager 1 // Science.—1979.—204, N 4396.— P. 951—971.

Глав. астрон. обсерватория АН УССР,
Киев

Поступила в редакцию 09.08.85,
после доработки 19.09.85

РЕФЕРАТ ДЕПОНИРОВАННОЙ РУКОПИСИ

УДК 524.3

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ СТАНДАРТЫ 6.5—8.5 ЗВЕЗДНОЙ ВЕЛИЧИНЫ / Пантелеев С. К.

(Рукопись деп. в ВИНТИ; № 1172—В86)

В работе предложен список звезд ранних спектральных классов, пригодных в качестве спектрофотометрических стандартов 6.5—8.5^m. Приводятся рекомендуемые распределения энергии в спектрах этих звезд в области 330—850 нм, вычисленные на основе усредненных спектрофотометрических и фотометрических данных.