

Введение

Под фазовой кривой блеска астероида понимается зависимость блеска астероида V от фазового угла. Угол фазы определяется, как угол Земля-астероид-Солнце. Видимая звездная величина астероида V в визуальной полосе спектра может быть представлена в следующем виде:

$$V = H + 5 \lg rd + V_\alpha.$$

Здесь H — абсолютная звездная величина астероида, r — расстояние от астероида до Солнца, d — расстояние от астероида до Земли, V_α — составляющая, зависящая от угла фазы α . Кроме этого имеют место колебания блеска, вызванные вращением астероида неправильной формы или имеющего неоднородную поверхность.

Абсолютная звездная величина H определяется, как видимая звездная величина V при нулевой фазе $\alpha=0$ и при условии $r=1$, $d=1$. H вычислена для всех астероидов без исключения. В данной работе использованы значения H , опубликованные на сайте международного Центра малых планет (ЦМП).

Медленное увеличение числа астероидов с измеренными фазовыми зависимостями блеска связано прежде всего со сложностью и трудоемкостью специальных высокоточных фотометрических наблюдений.

С другой стороны, к настоящему времени для астероидов накоплено огромное количество фотометрических данных, таких как видимая звездная величина, определяемая при наблюдении астероида и публикуемая вместе с астрометрическими координатами в каталоге наблюдений астероидов ЦМП. Эти наблюдения могут быть использованы для получения некоторой усредненной фазовой кривой, характеризующей астероиды одного таксономического класса.

Таксономические типы астероидов

Астероиды разделяются на несколько таксономических типов. В основе разделения на типы лежит схожесть спектральных характеристик разных астероидов. В настоящей работе исследовались три типа: С, S, E. Была использована классификация Д. Толена, который ввёл 14 различных типов. Наиболее многочисленными являются типы С и S.

Число обнаруженных E-астероидов невелико, но к этому типу можно отнести целое семейство астероидов (434) Hungaria, поскольку главный астероид популяции принадлежит E-типу.

Астероиды одного класса, вероятно, имеют сходную структуру поверхности, поэтому можно предположить, что при увеличении угла фазы блеск этих астероидов будет ослабевать одинаково.

Число астероидов, относящихся к каждому из таксономических классов S, C, E, исчисляется тысячами. Такого количества достаточно для построения гладкой фазовой кривой, которая будет характеризовать данный класс в целом.

Метод

После получения списка астероидов одного класса, для каждого из них были считаны из каталога наблюдений ЦМП все имеющиеся наблюдения, и из них отобраны те, для которых была определена видимая звездная величина в визуальной полосе спектра.

После этого было произведено численное интегрирование уравнений движения астероидов. В процессе интегрирования были вычислены фазовый угол и величина V_α для каждого наблюдения. В результате были получены миллионы значений V_α , и произведено усреднение этих значений по углу фазы с некоторым шагом. Для получения одного среднего значения были использованы тысячи наблюдений.

Из разных источников были отобраны 19321 астероидов класса S и 19426 астероидов класса C. В качестве E-астероидов была использована популяция астероидов семейства Венгрии, которая в настоящее время насчитывает более 25 тыс. астероидов.

При таком большом числе наблюдений на длительном интервале времени многие факторы, оказывающие влияние на блеск астероида, можно рассматривать как случайные. Их действие сводится до минимума при усреднении по углу фазы. В результате, были построены достаточно гладкие фазовые кривые, характеризующие таксономические классы S, C, E.

Результаты

На рис.1 можно видеть, как распределены по углу фазы вычисленные значения V_α для наблюдений всех астероидов класса S. Значения V_α изображены на графике в виде серых точек. Обращает на себя внимание большой разброс вычисленных значений. Шаг при усреднении был выбран равным 0.2 вблизи оппозиции и 0.5 на остальном промежутке. Усреднённая фазовая кривая для S-астероидов показана на рис.1 и рис.2 сплошной линией.

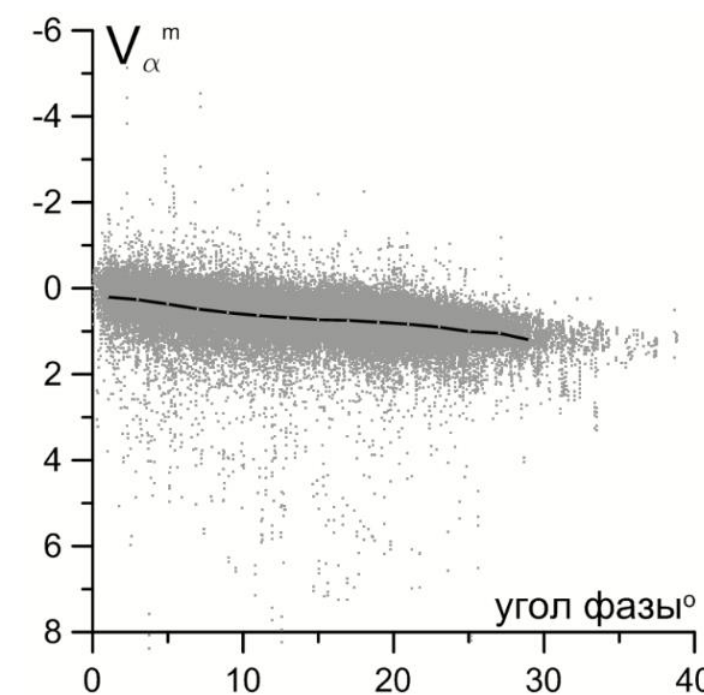


Рис.1. Вычисленные значения V_α для S астероидов показаны серыми точками, усреднённая фазовая кривая — сплошной линией.

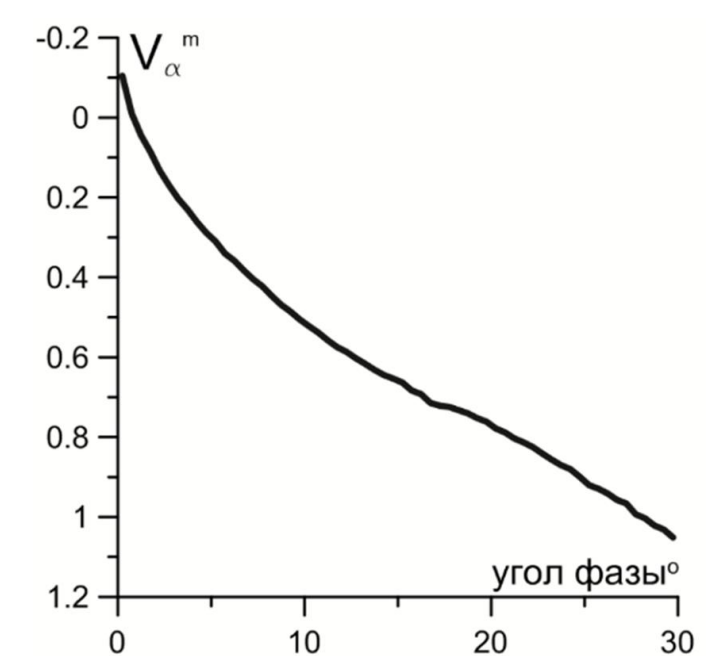


Рис.2. Усреднённая фазовая кривая для S-астероидов

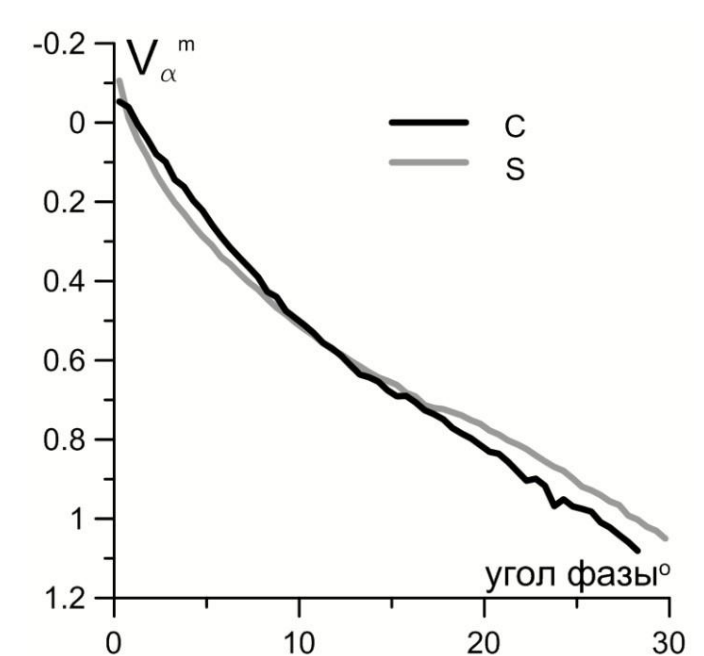


Рис.3. Усреднённая фазовая кривая для C астероидов. Фазовая кривая для S астероидов приведена для сравнения.

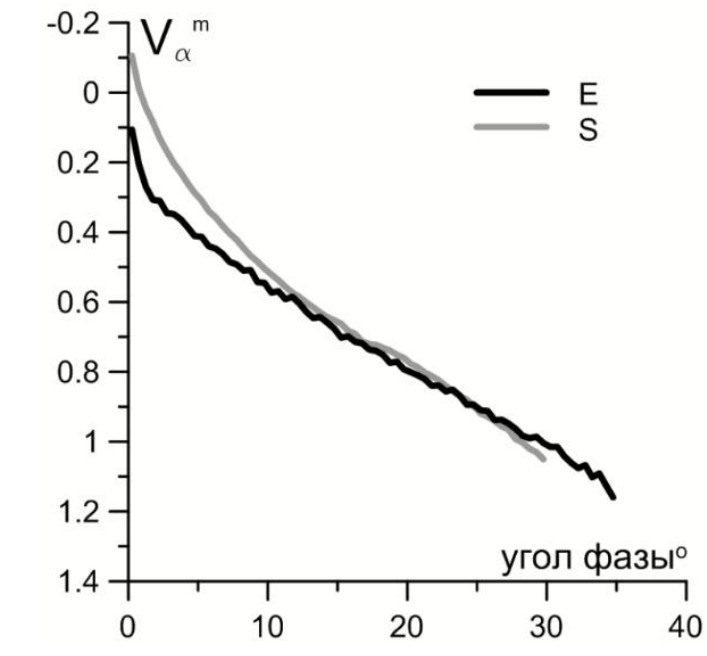


Рис.4. Усреднённая фазовая кривая для E астероидов. Фазовая кривая для S астероидов приведена для сравнения.

Обращает на себя внимание смещение построенных фазовых кривых относительно нулевого значения по оси V_α . Это говорит о том, что абсолютная звездная величина в среднем завышена для C и S астероидов и занижена для E астероидов. Приведение кривых к одному началу позволяет произвести их сравнение, определить различие и оценить силу оппозиционного эффекта.

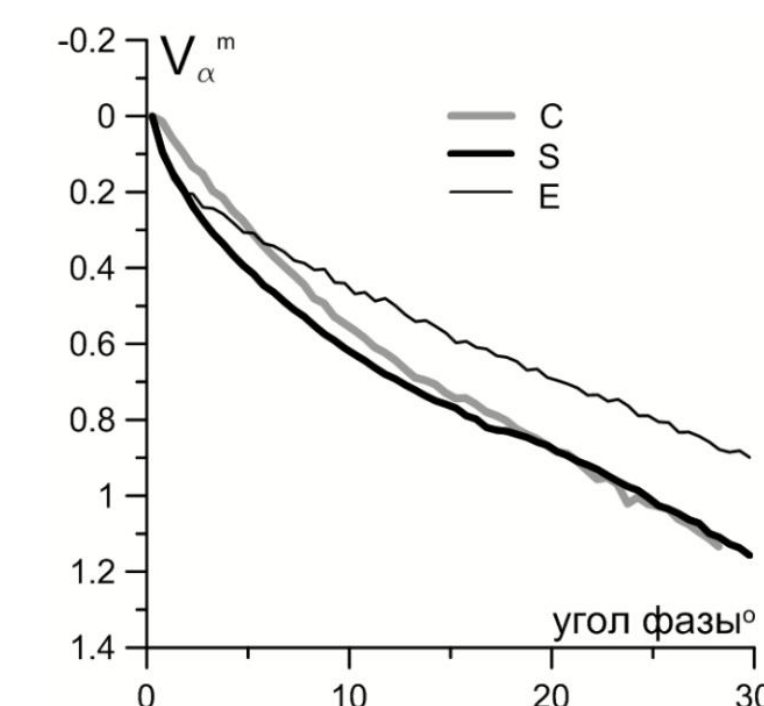


Рис.5 Усреднённые фазовые кривые блеска для C, S, E-астероидов, приведённые к одному началу.

Заключение

В работе показано, что в настоящее время имеется возможность получить усреднённые суммарные фазовые кривые, характеризующие разные таксономические классы астероидов. Для этого можно использовать обычные наблюдения из каталога ЦМП. Огромное количество таких наблюдений компенсирует их недостаточную точность. Были построены наглядные гладкие фазовые кривые для таксономических классов S, C, E. Характеристики этих кривых хорошо согласуются с результатами, полученными для отдельных астероидов данных классов общепринятыми методами с привлечением точных фотометрических наблюдений.

Литература

1. Tholen D. J. and Barucci M. A. Asteroid taxonomy // In Asteroids II (R. P. Binzel et al., eds.) Univ. of Arizona, Tucson. — 1989. — P. 298–315.
2. Vinogradova T. A. Empirical method of proper elements calculation and identification of asteroid families // MNRAS. — 2019. — Vol.484, Issue 3 — P. 3755–3764.