ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ім. В.Н.Каразіна
НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ АСТРОНОМІЇ
61022, м. Харків, вул. Сумська, 35
тел., факс: (057) 7005349, e-mail: sky@astron.kharkov.ua

Круглый Ю.Н.

Задачи ПЗС-фотометрии астероидов, сближающихся с Землей, в рамках проекта ПулКОН

НИИ астрономии Харьковского национального университета

mail-to:krugly at astron.kharkov.ua

Рабочая встреча в Андрушивке в обсерватории у Ю.Н. Иващенко
6-9 ноября 2009 г.

Программа ПЗС-наблюдений астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ)

- Начата в 1995 г. в Институте астрономии Харьковского национального ун-та, совместно с Берлинским институтом планетных исследований

- Выполняется при участии НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория»

(15898) KharAsterTeam

Отдел физики астероидов и комет
НИИ астрономии Харьковского нац. университета

Основные направления программы

- **Определение физических характеристик АСЗ:**
  - Параметры вращения
  - Размеры и форма
  - Оптические свойства поверхности

- **Астрометрия и фотометрия вновь открытых астероидов**

Чугуевская наблюдательная станция Института астрономии ХНУ

Симеизская обсерватория, НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория»

Телескопы и оборудование

- **Чугуевская станция Харьков**
- 0.7-м телескоп
- Фокус Ньютона (f/4)
- **ПЗС FLI IMG47-10**
- 1056 x 1027 pixels
- 17.5 x 17.0 '
- 13 x 13 μm
- QE = 93%

- **Симеизская обсерватория Крым**
- 1-м телескоп Цейсс-1000
- Фокус Кассегрена (f/13)
- **ПЗС Apogee Alta U42**
- E2V CCD42-40
- 2048 x 2048 pixels
- 7.1 x 7.1 '
- 13.5 x 13.5 μm
- QE = 85%

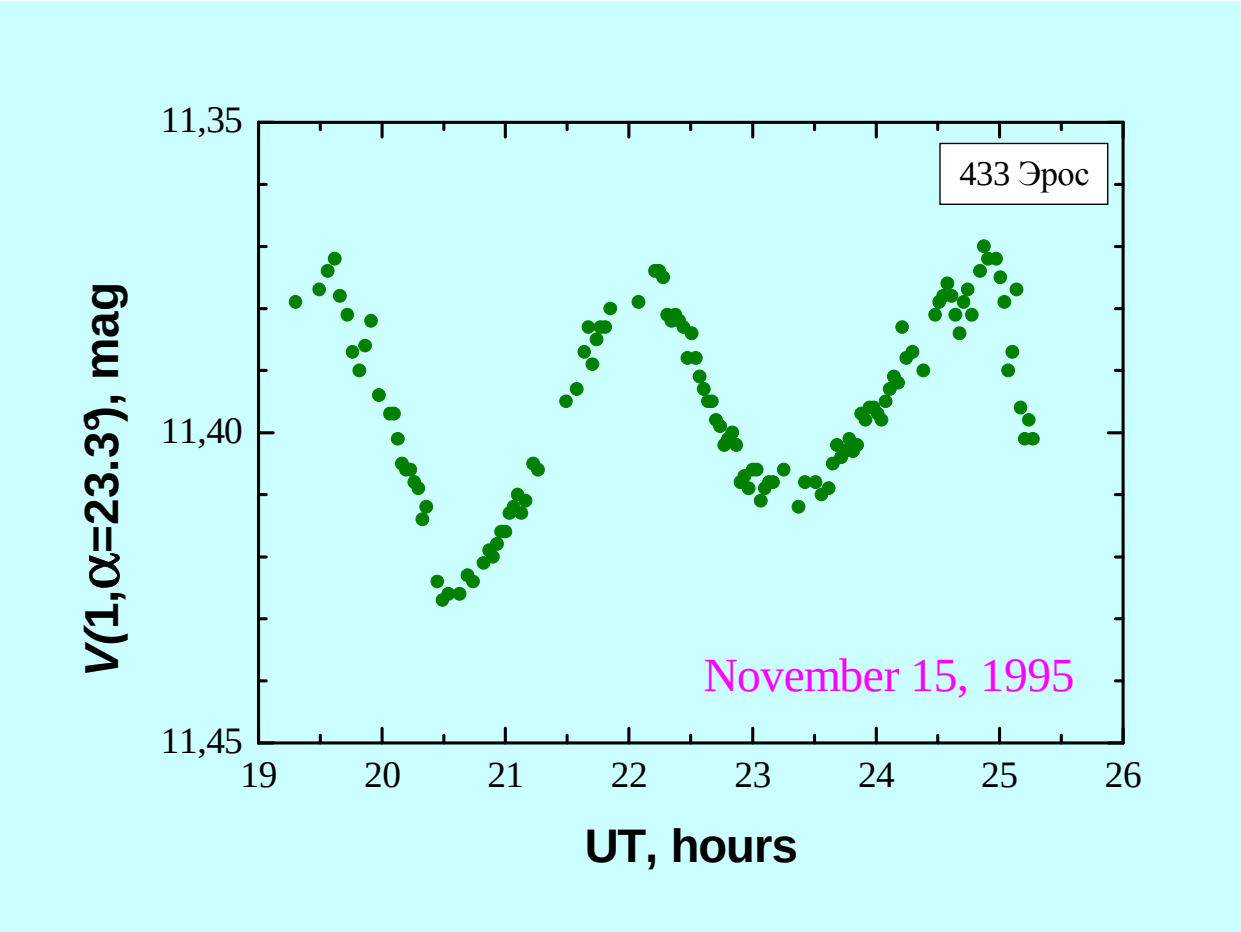
Задачи наблюдений

- изучение потенциально опасных для земной цивилизации объектов, тесно сближающихся с Землей
- обнаружение и исследование двойных АСЗ
- определение координат полюса астероида и построение модели его формы по наблюдениям при больших изменениях фазового угла и аспекта
- изучение влияния YORP эффекта на вращение астероида
- определение характеристик АСЗ, которые являются целями радарных наблюдений

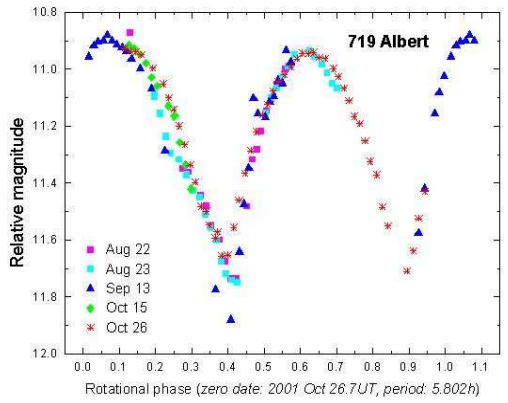
Методы наблюдений

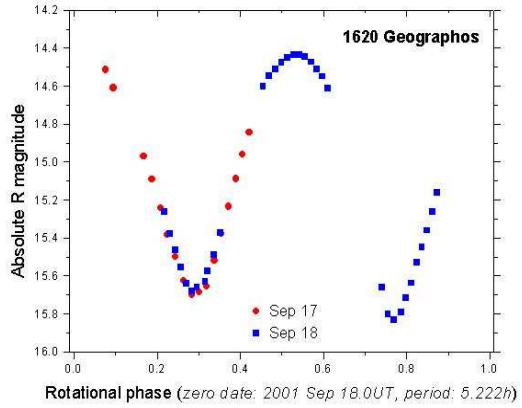
- Фотометрическая система *UBVRI* Джонсона-Козинса
- Относительная фотометрия
- Абсолютная фотометрия
- Фотометрия быстродвижущихся астероидов
- Вычитание темновых снимков и деление на плоское поле
- Апертурная фотометрия с пакетом AstPhot (S.Mottola, DLR)

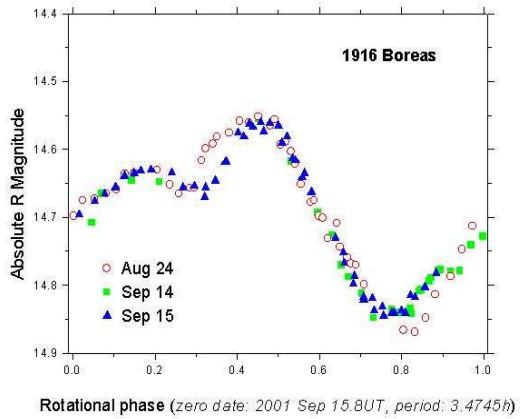
Точность измерений.
Кривая блеска астероида 433 Эрос

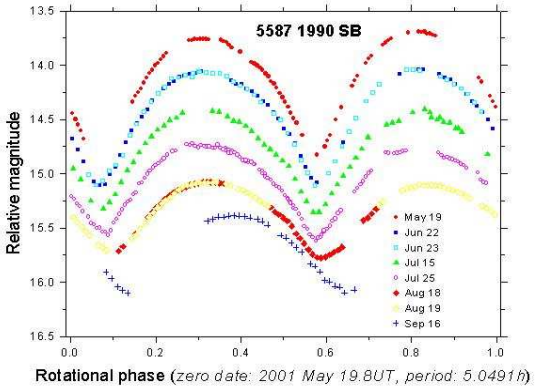


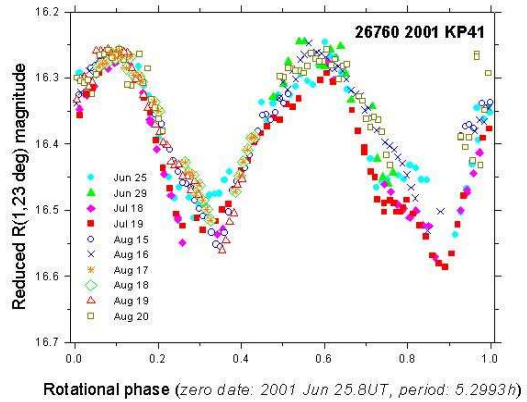
Кривые блеска астероидов

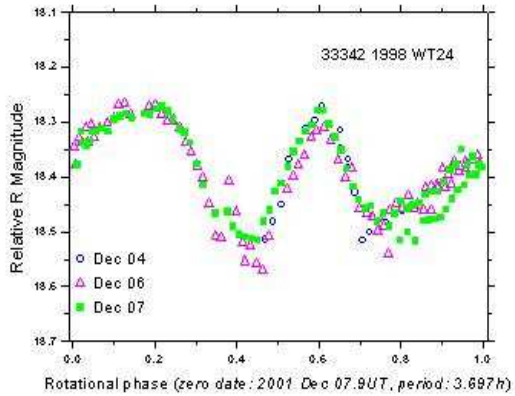








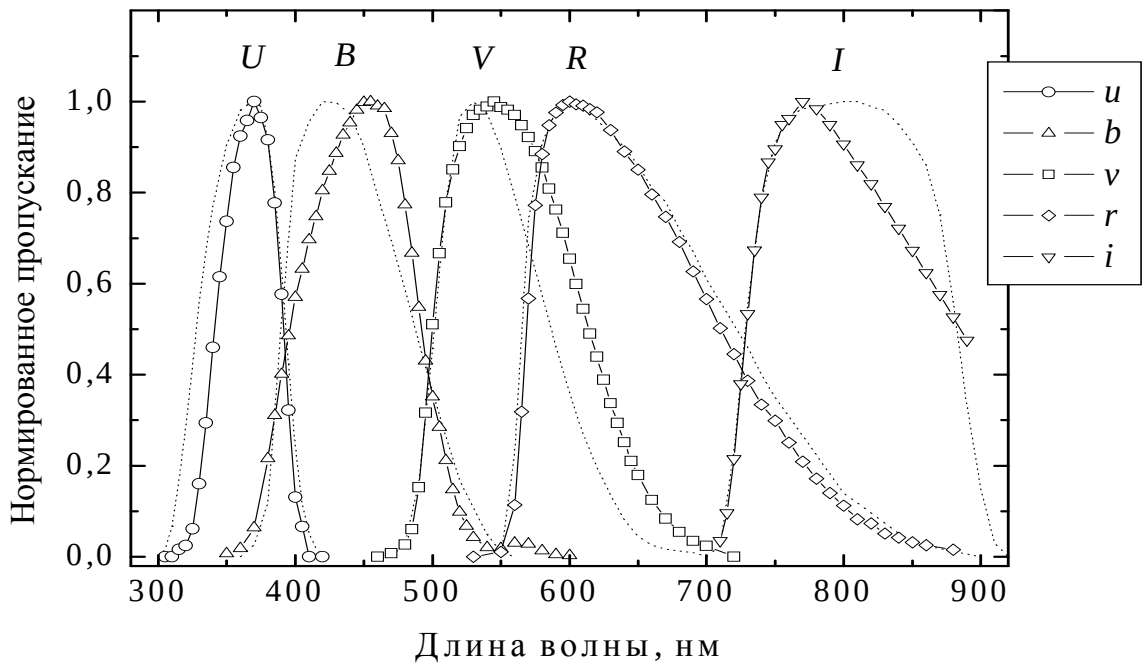




Фотометрическая система

Определяется пропусканием атмосферы, оптикой телескопа, пропусканием светофильтров, спектральной чувствительностью ПЗС матрицы:

$$I_\lambda = I_\lambda^0 * p_\lambda^{атм} * K_\lambda^{тел} * K_\lambda^{сф} * K_\lambda^{ПЗС}$$



Редукции фотометрических наблюдений

- Учет поглощения земной атмосферы - *учет экстинкции*;
- *Трансформация инструментальных звездных величин к стандартной системе* -коррекция за несовпадение полуширины и эффективной длины волны полосы пропускания измерительной аппаратуры со стандартными.

Наблюдения астероидов с ПЗС-камерой

- Подготовка телескопа к наблюдениям:
  балансировка, фокусировка и юстировка телескопа
- Вычисление эфемерид и подготовка звездных карт
- Наведение телескопа, получение первых двух снимков
- Поиск астероида (метод блинк-компаратора)
- Выбор экспозиции
- Собственно наблюдения (серия ПЗС-кадров)
- Темновые кадры
- Получение плоских полей по утреннему/вечернему небу

Редукция ПЗС-изображений

- Поток фотонов *I* за время экспозиции *t* в каждом пикселе будет зарегистрирован сигнал:

$$S = I * t * V * s * q + D * t + B$$

- где *V*– коэффициент виньетирования данного пикселя,
- *s* – коэффициент пропускания фильтра,
- *q* – квантовая эффективность пикселя,
- *D* – темновой ток с пикселя за секунду,
- *B* – шум считывания.
- Надо получить: $S = I * t$

- Учет плоского поля подразумевает деление на: $V * s * q$

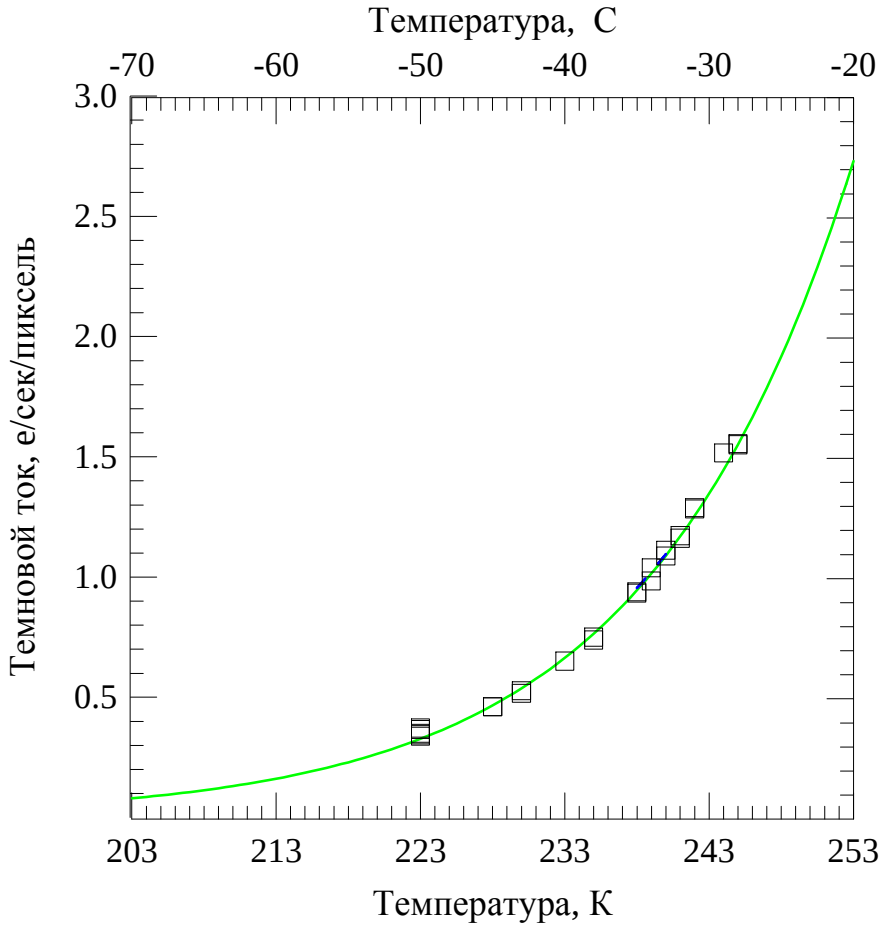
Редукция ПСЗ снимков, полученных в течение одной ночи наблюдений в одном фильтре, включает следующие шаги:

- усреднение темновых снимков для каждой использованной экспозиции;
- усреднение плоских полей после вычитания средних темновых снимков;
- вычитание средних темновых снимков из изображений;
- деление изображений на среднее плоское поле.

Зависимость темнового тока от температуры охлаждения ПЗС для камеры ST-6

Зависимость темнового тока от температуры логарифмическая:

$$D = D_0 2^{(T-T_0)/\Delta T}$$



Уравнение сигнал-шум ПЗС

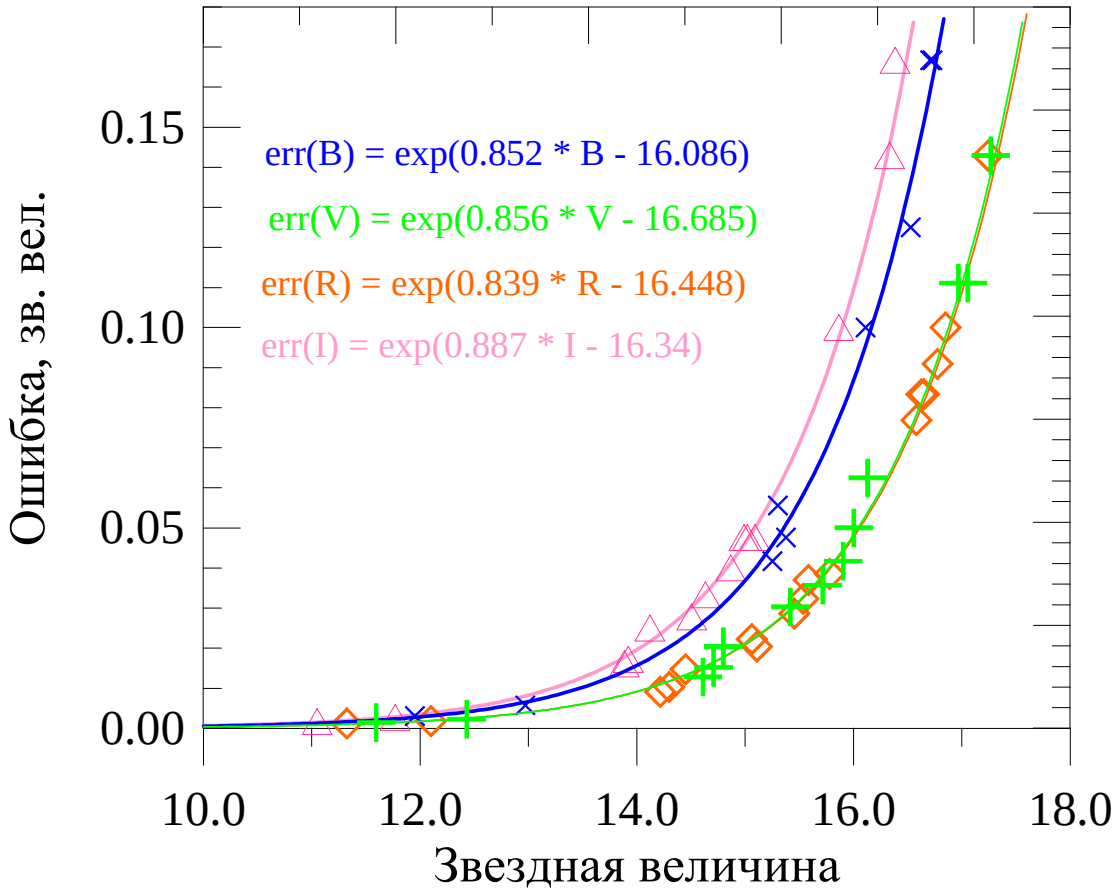
Отношение полезного сигнала к шуму (*signal to noise ratio, SNR*) для измерений блеска звездного объекта на снимке, полученном с помощью ПЗС за время экспозиции *t:*

$$SNR(t) = \frac{N_{об} t}{\sqrt{N_{об} t + n(N_{фон} t + N_{TT} t + N_{сч}^2)}}$$

- $N_{об}$ – количество зарегистрированных фотоэлектронов от объекта за единицу времени ("чистый" сигнал от объекта);
- $N_{фон}$ – фон неба в фотоэлектронах с одного пикселя за единицу времени;
- N_{tt} – темновой ток в электронах с одного пикселя за единицу времени;
- $N_{сч}$– шум считывания в электронах на один пиксель;
- изображения объекта занимает *n* пикселей (площадь диафрагмы).

Точность измерений блеска звезд на ПЗЗ-снимке

ПЗС-камера ST-6UV, 70-см телескоп, экспозиция 1 мин.



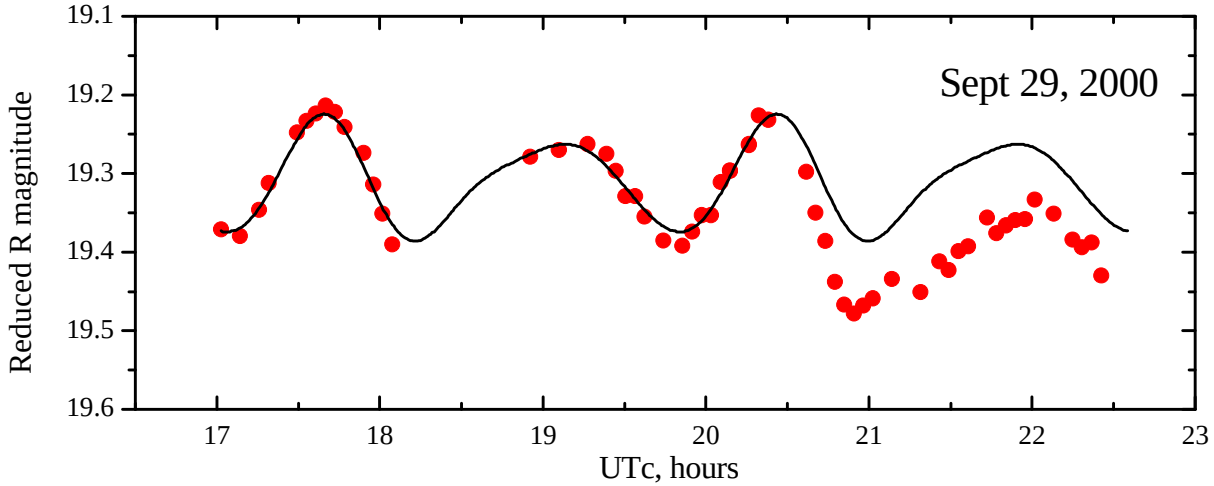
FIRST RADAR BINARY 2000 DP107

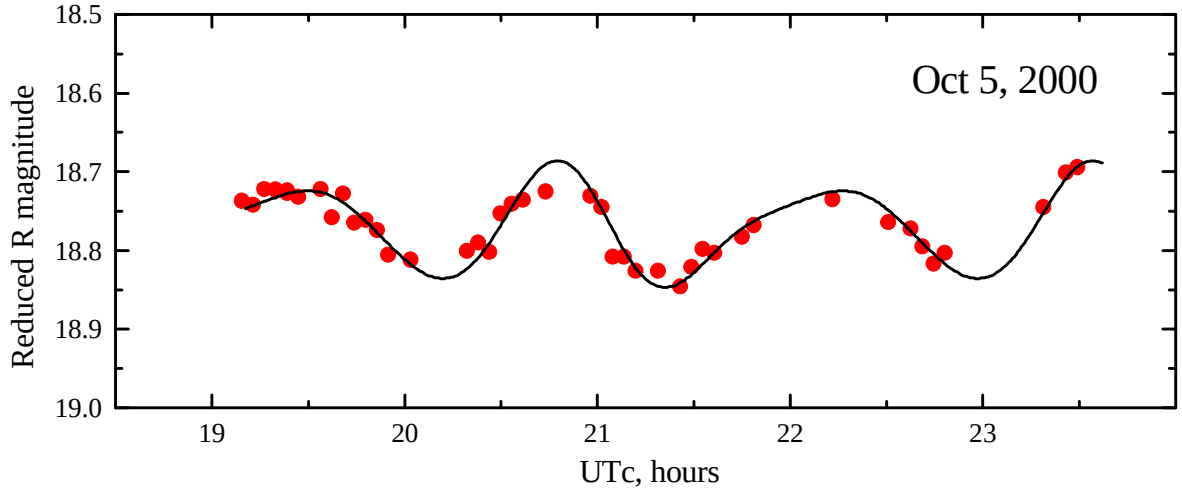
discovered in 2000

Tower of Eiffel

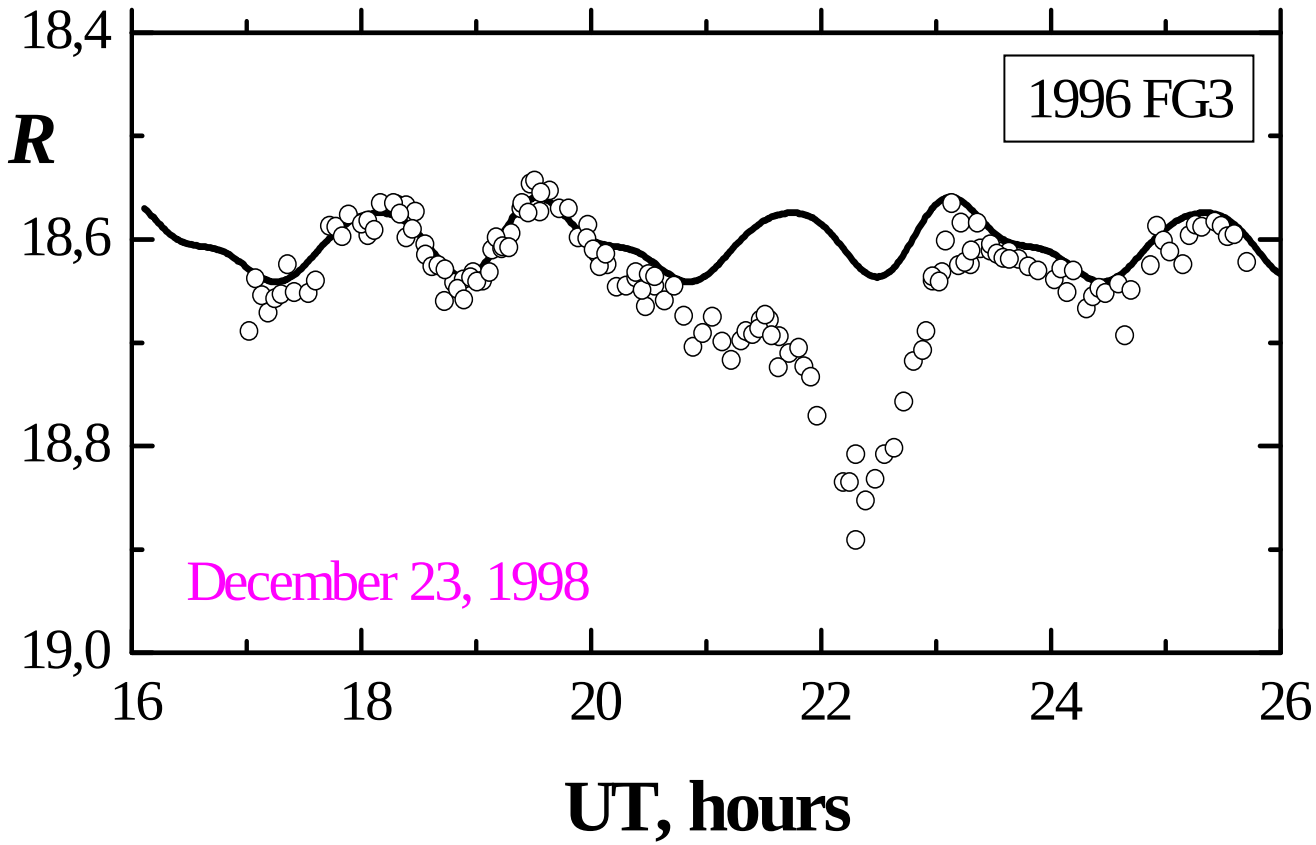
Margot *et al.* (2000) *IAUC* 7503

LIGHTCURVES OF 2000 DP107



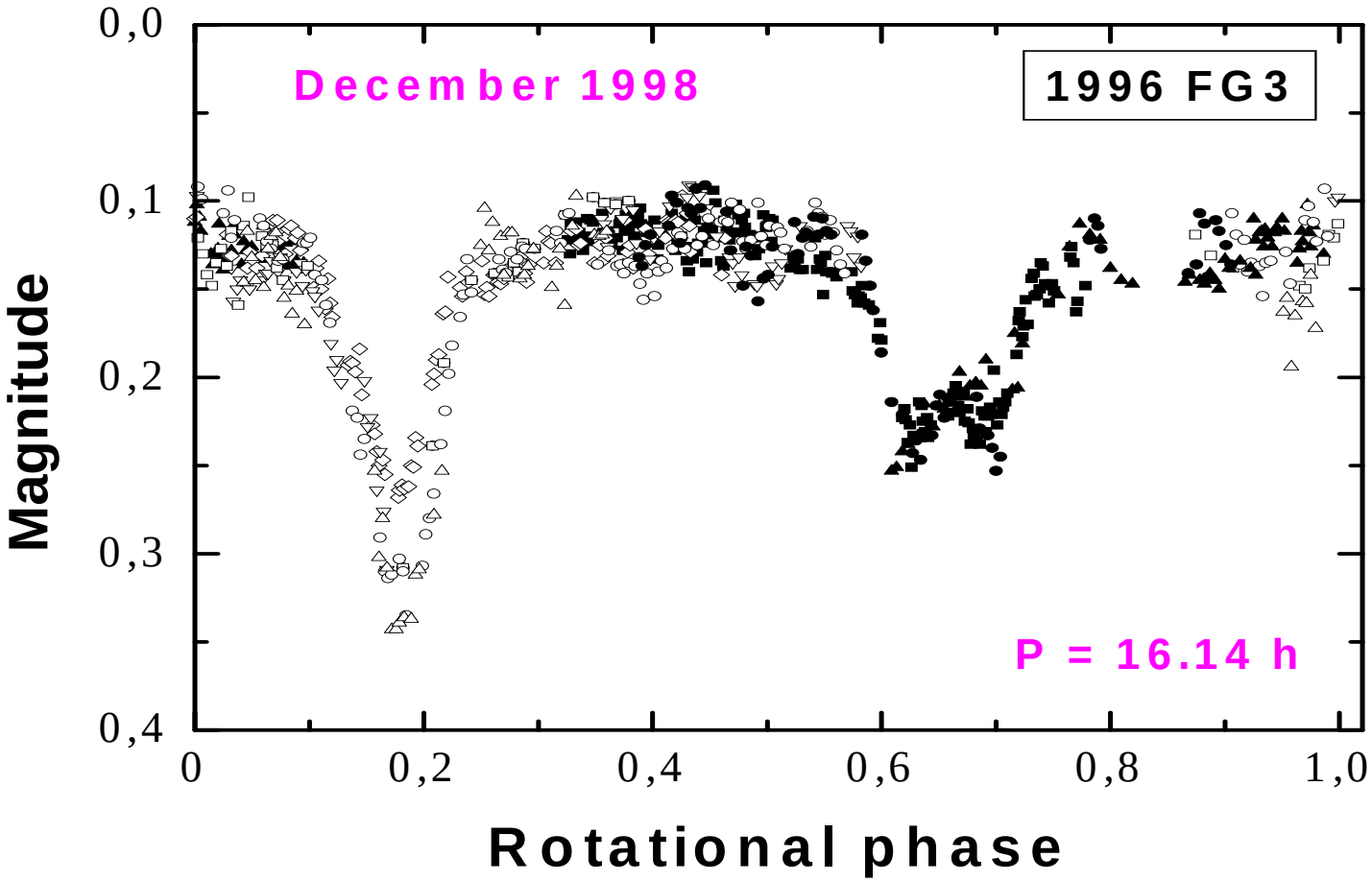


BINARY NEAR-EARTH ASTEROIDS:
Asynchronous Binary NEA 1996 FG3

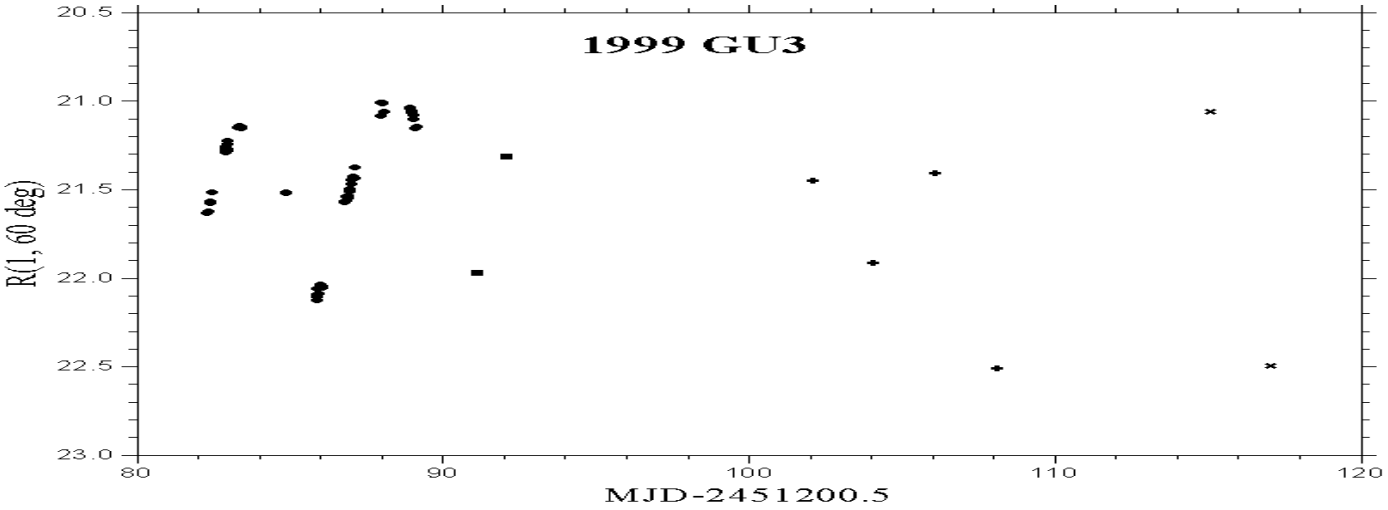


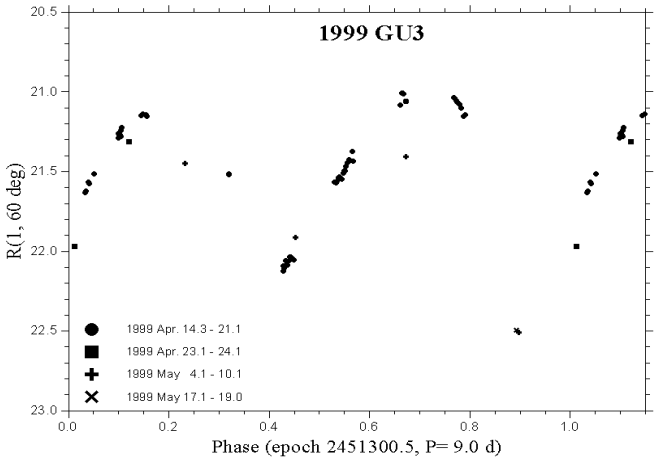
LONG-PERIOD LIGHTCURVE OF 1996 FG3

observed in 1998



SLOW ROTATORS: 1999 GU3

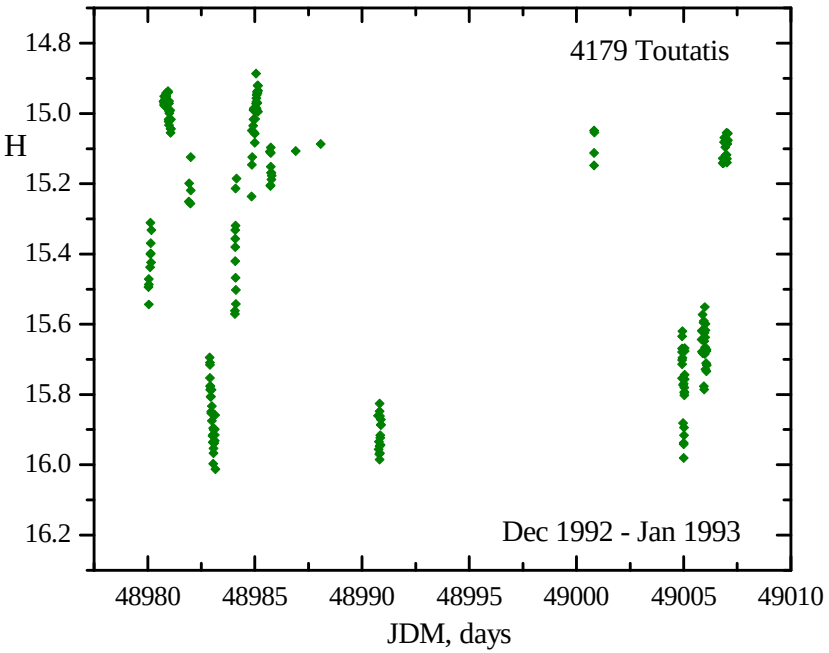


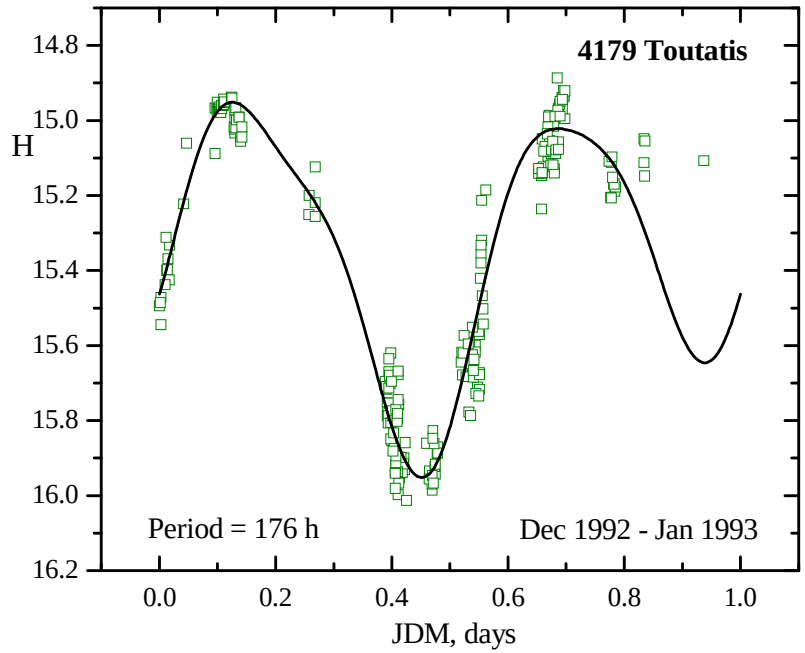


Period = 9.03 +/- 0.03 days
or 4.49 +/- 0.01 days

Pravec *et al*. (2000) *Icarus* 148, 589-593

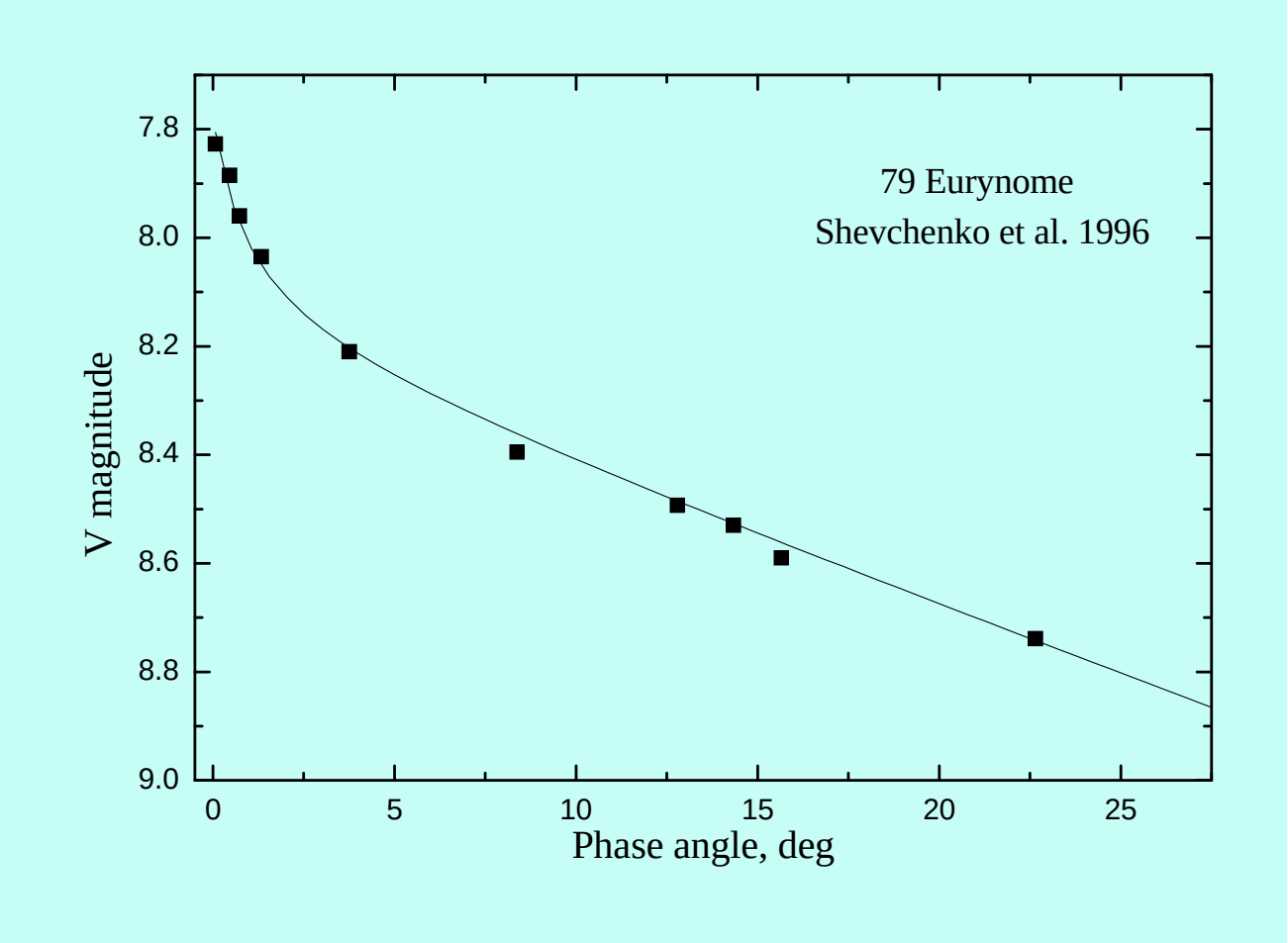
COMPLEX ROTATION: NEA 4179 TOUTATIS





Precession period = 7.3 days
Rotational period = 5.4 days
S-type; albedo = 0.223
H = 15.3 => D ~ 2.45 km

PHASE CURVE: OPPOSITION EFFECT

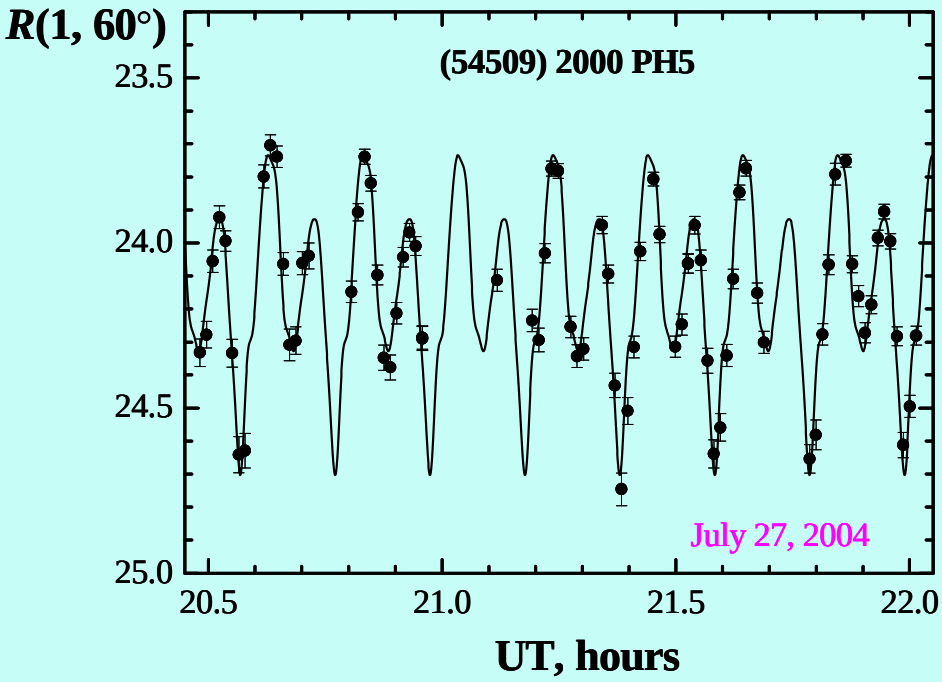


АСЗ со сверхбыстрым вращением

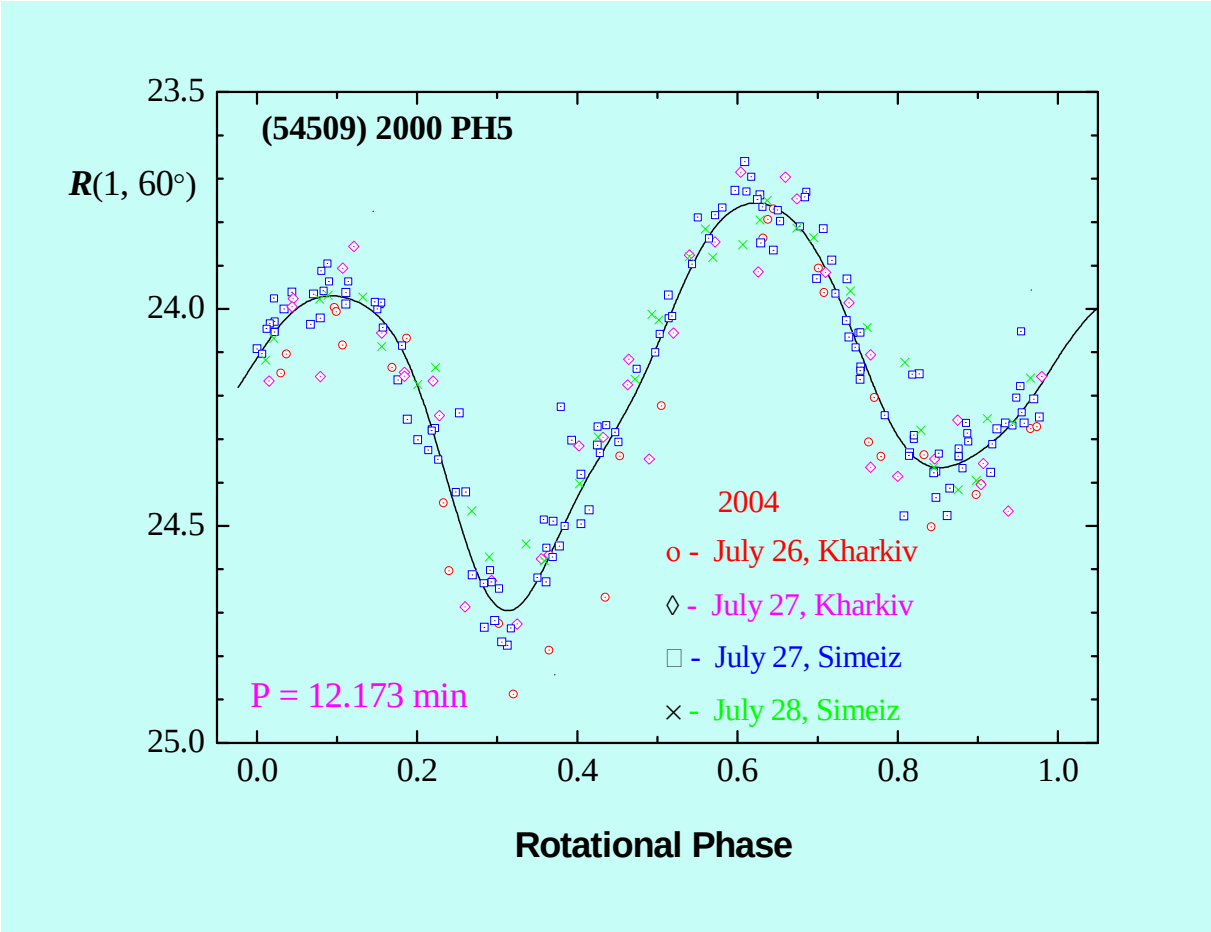
(54509) 2000 PH5

Диаметр астероида = 180 м

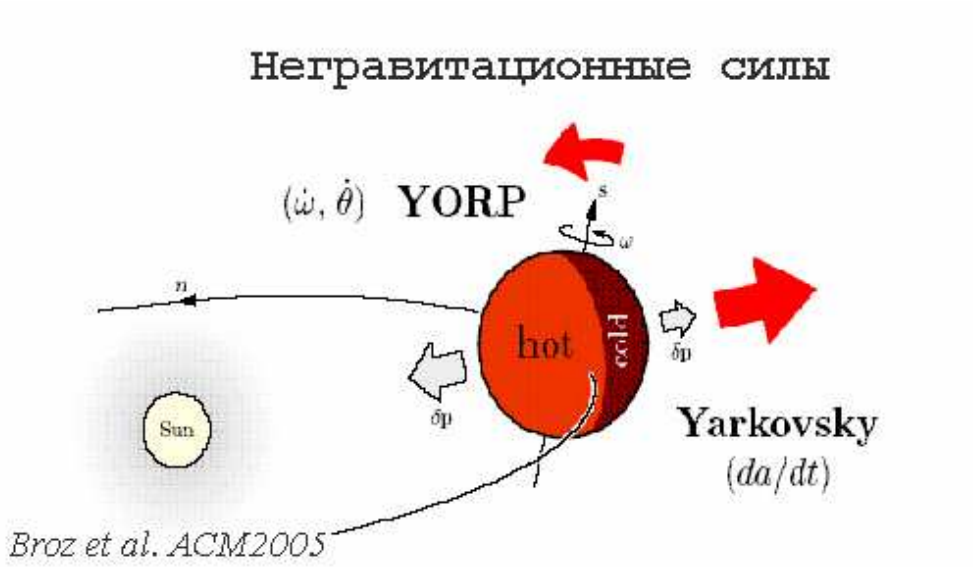
Период вращения = 12.173 мин



Составная кривая (*54509) 2000 PH5*



Анизотропное отражение и тепловое переизлучение солнечного света поверхностью астероида действует как толкающий механизм

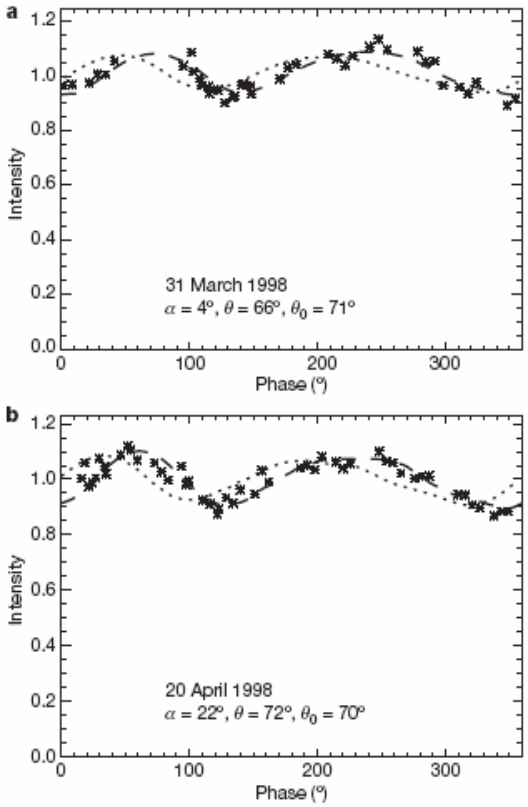


- Эффект Ярковского изменяет динамику орбитального движения тела. Обнаружен по радарным наблюдениям АСЗ 6489 Голевка (Ostro и др., 2003)
- Для тел неправильной формы неравномерный нагрев Солнцем вызывает изменение углового момента (эффект Yarkovsky-O'Keefe-Radzievskii-Paddack или YORP-эффект), который может ускорять или замедлять вращение объекта и менять направление его оси вращения.

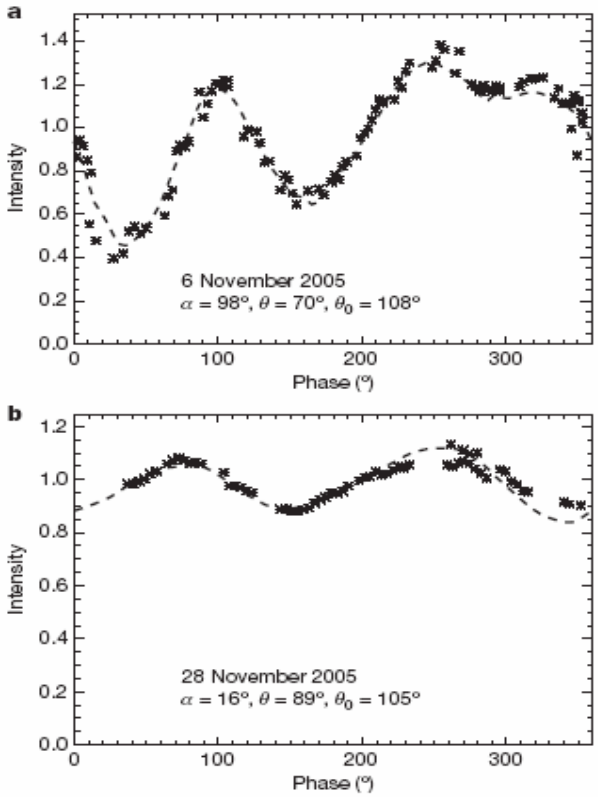
Обнаружение YORP-эффекта

Астероид 1862 Аполлон

1998 г.

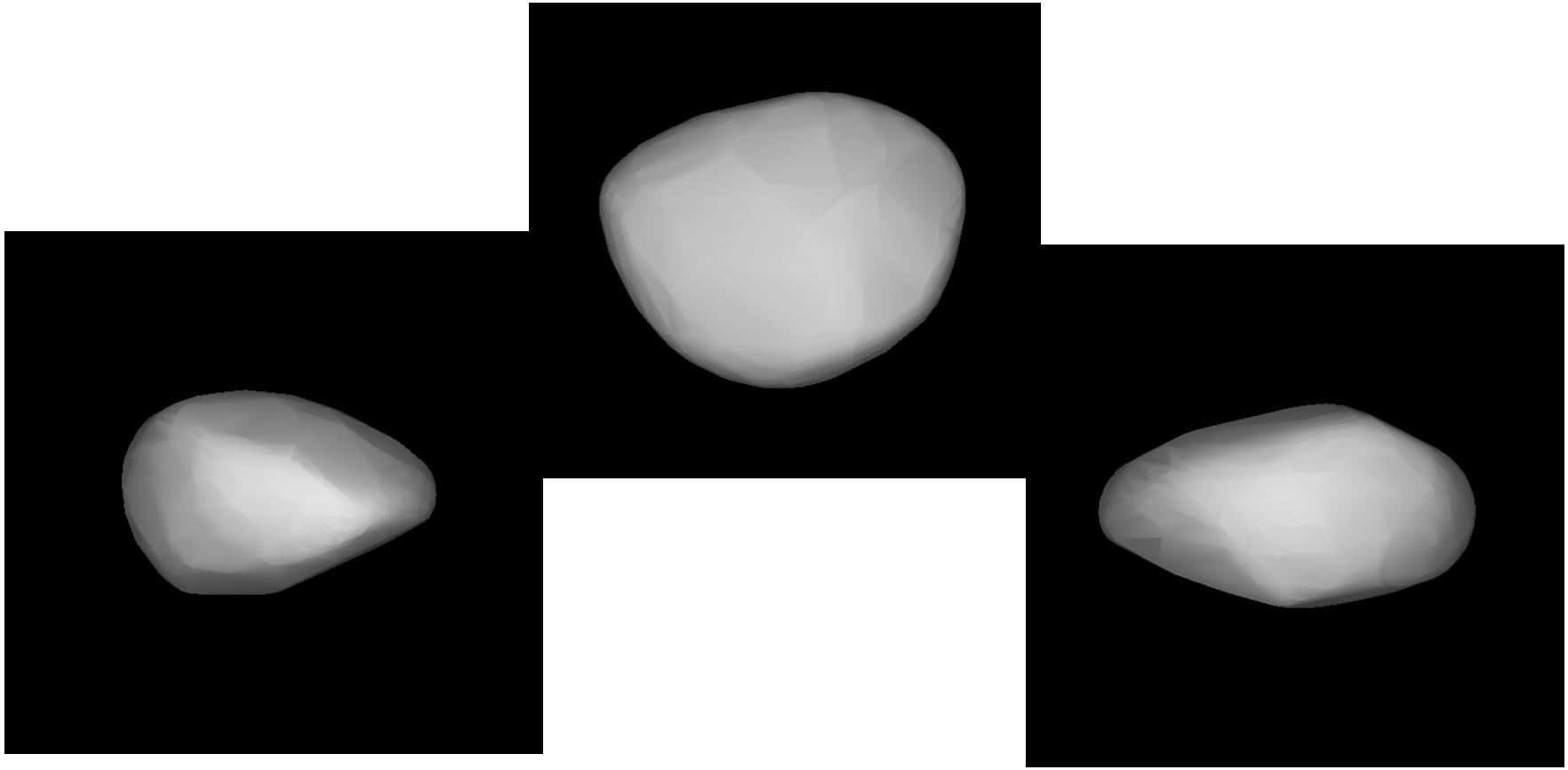


2005 г.



dP/dt = (-0.004 ± 0.001) с/год

Компьютерная модель астероида 1862 Аполлон



Kaasalainen et al. (2007) Nature ***446****, 420-422*

ПРОГРАММЫ НАБЛЮДЕНИЙ АСТЕРОИДОВ

- Вращение, форма и свойства поверхности
- Обнаружение двойных астероидов
- Оценка влияния *YORP* эффекта
- Изучение оппозиционного эффекта яркости
- Поддержка радарных экспериментов

Изучение физических характеристик АСЗ прежде всего для вновь открытых объектов

Фотометрический обзор асинхронных двойных астероидов

Петр Правец и др. (Онджеевская обсерватория, Чехия);
начат в декабре 2004 г.;
объединяет профессионалов и аматоров из
33 обсерваторий всего мира

- Основной задачей обзора является обнаружение асинхронных двойных астероидов среди малых астероидов внутренней части главного пояса, а также астероидов, пересекающих орбиту Марса, и АСЗ. При чем, это необходимо сделать таким образом, чтобы можно было учесть эффекты селекции для полученных данных.
- Результаты первых 3-х лет наблюдений – изучены более 300 астероидов, обнаружены более 30 двойных астероидов. Отправлена в публикацию статья с обобщающим анализом данных, полученных к концу 2007 г.

Спасибо за внимание!