

Niegravitacja niejedno ma imię

Sławomir Breiter



OBSERWATORIUM ASTRONOMICZNE
Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza
w Poznaniu



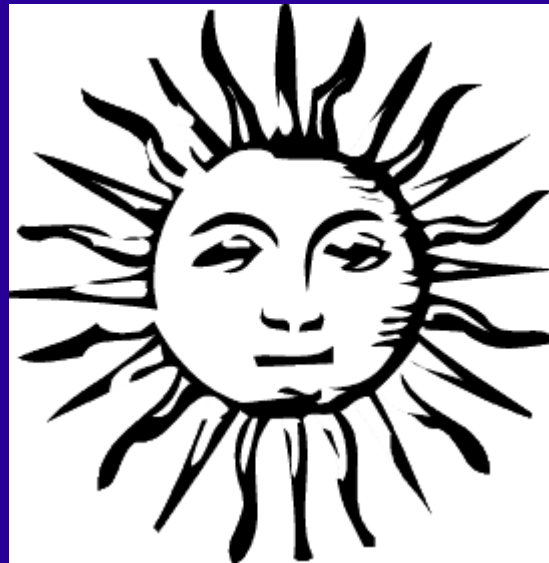
Niegravitacja niejedno ma imię.

Posiada też całkiem sporo nazwisk...



Niegravitacja niejedno ma imię.
Posiada też całkiem sporo nazwisk...

Poynting-Robertson,
Jarkowski,
O'Keefe-Radziewski-Paddack



Lew ? ... Cóż lew jest ?! — Kociak duży !

[...]

Szakal, wilk ?... Straszna nowina !

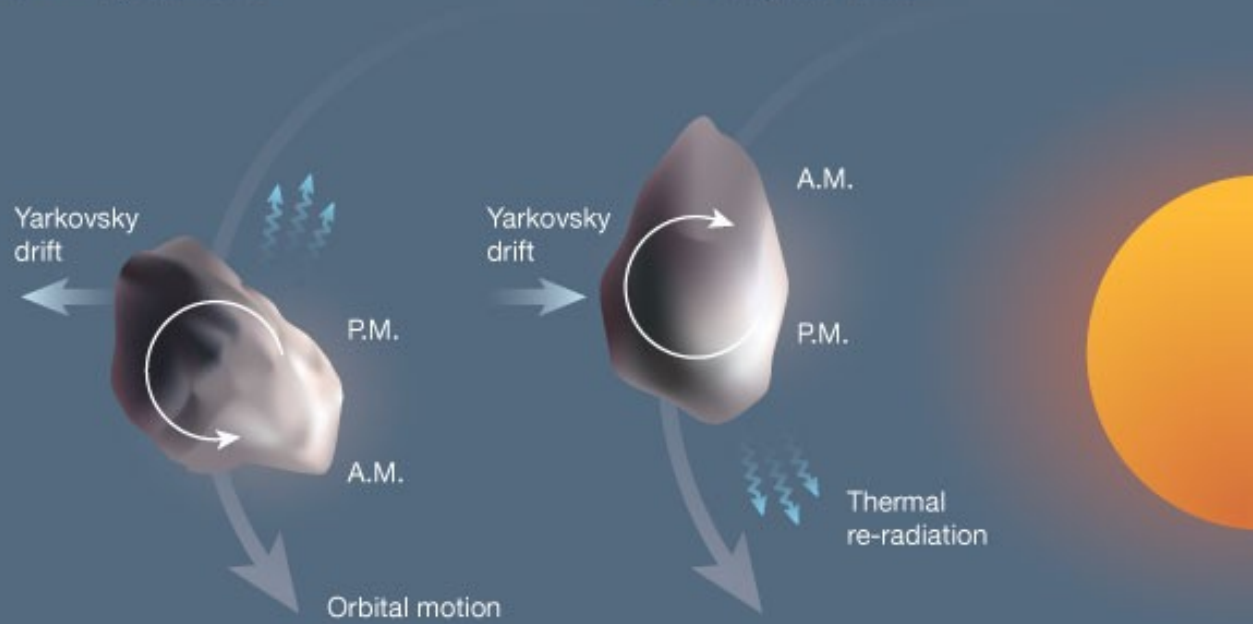
To jest tylko większa psina !...

*Poynting-Robertson ? ... To taka bardzo uproszczona
poprawka relatywistyczna.*

Jarkowski ? ... To jest tylko Sekanina-Marsden dla fotonów.

a Prograde rotation

b Retrograde rotation



Ale z efektem YORP, to już nie tak hop...

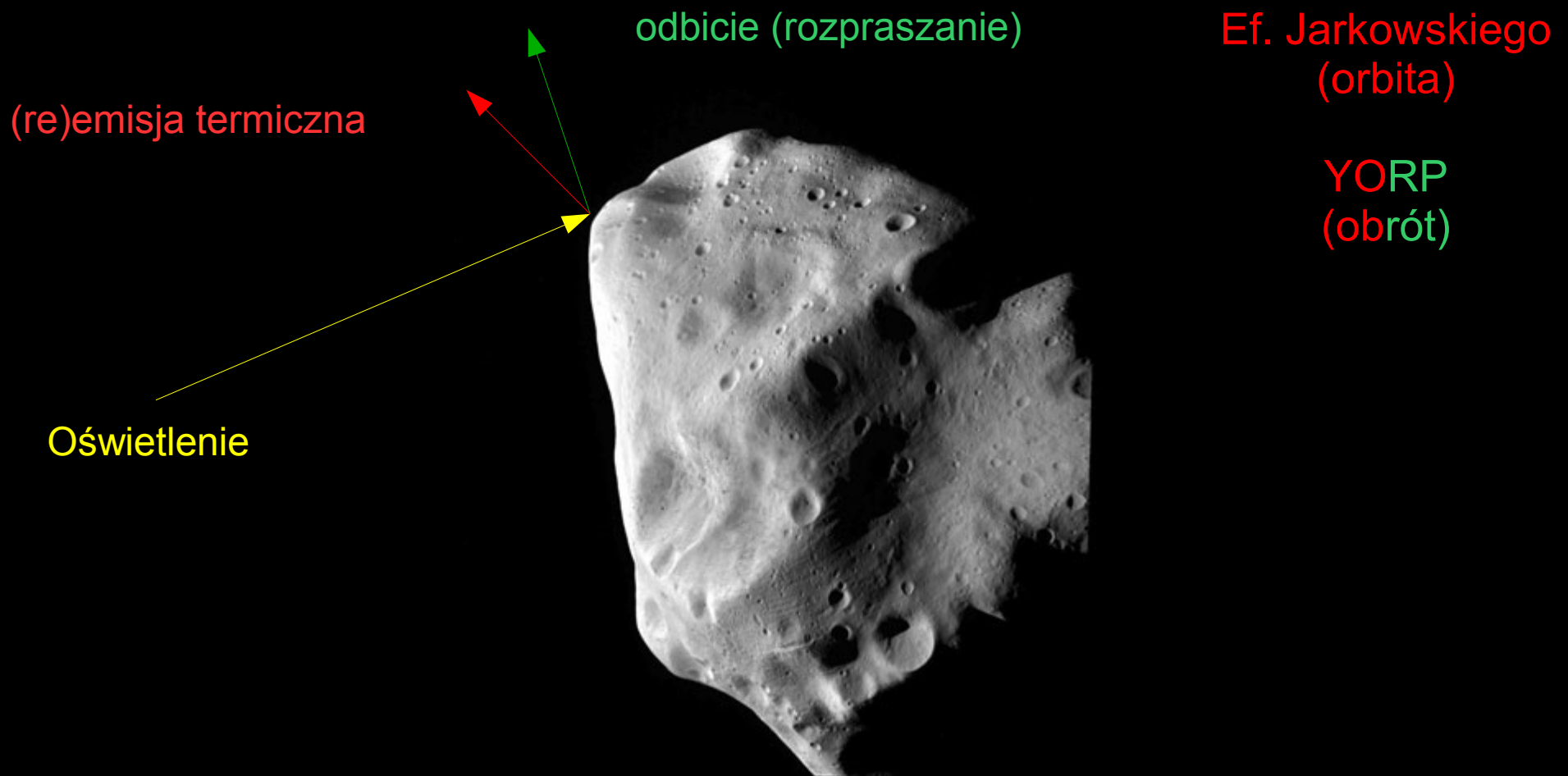


The Yarkovsky–O'Keefe–Radzievskii–Paddack effect, or YORP effect for short, is a **second-order variation on the Yarkovsky effect** which **changes the rotation rate** of a small body (such as an asteroid). The term was coined by Dr. David P. Rubincam in 2000.

In the 19th century, Yarkovsky realised that the infrared radiation escaping from a body warmed by the Sun carries off momentum as well as heat.

Zatruwa prace magisterskie, doktorskie i artykuły (np. Delbo & Mignard)

Czy YORP i Jarkowski w jednym stali domu ?



Czy YORP i Jarkowski w jednym stali domu ?

| | Jarkowski | YORP |
|--------------------|-----------|------|
| kula | T | N |
| Brak przewodnictwa | N | T |
| Idealny przewodnik | N | T |

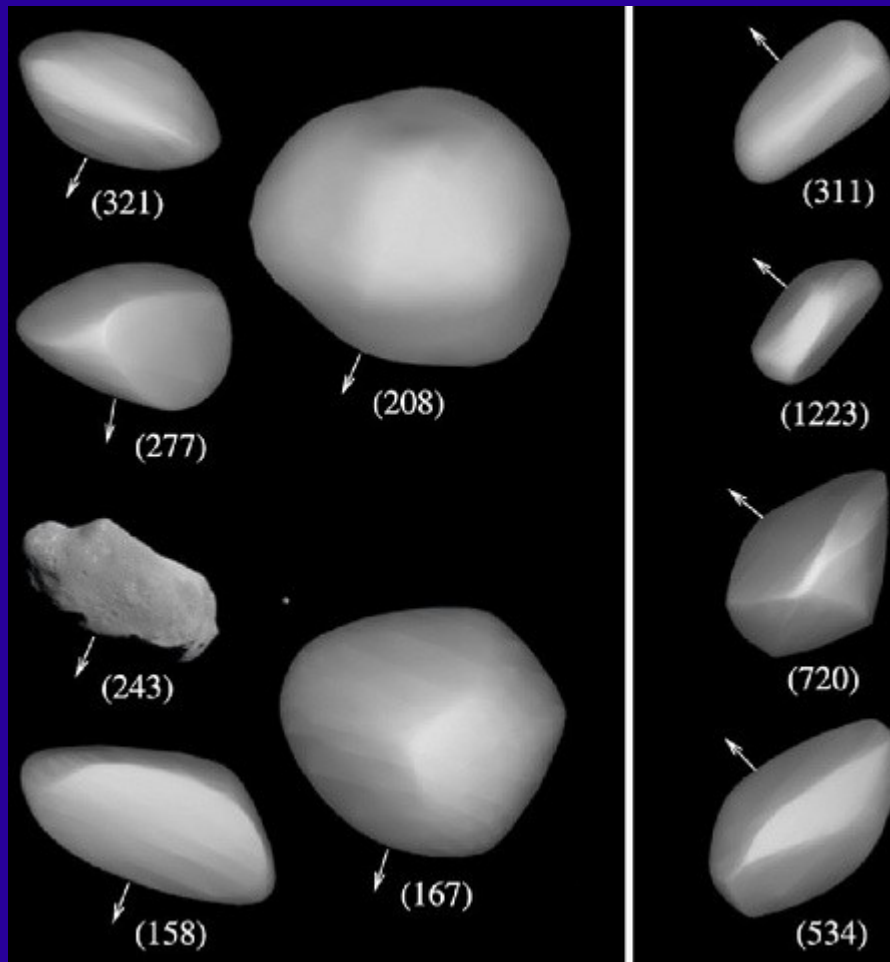
Co wypada wiedzieć o efekcie YORP ?

oprócz tego, że nie jest to efekt Jarkowskiego...

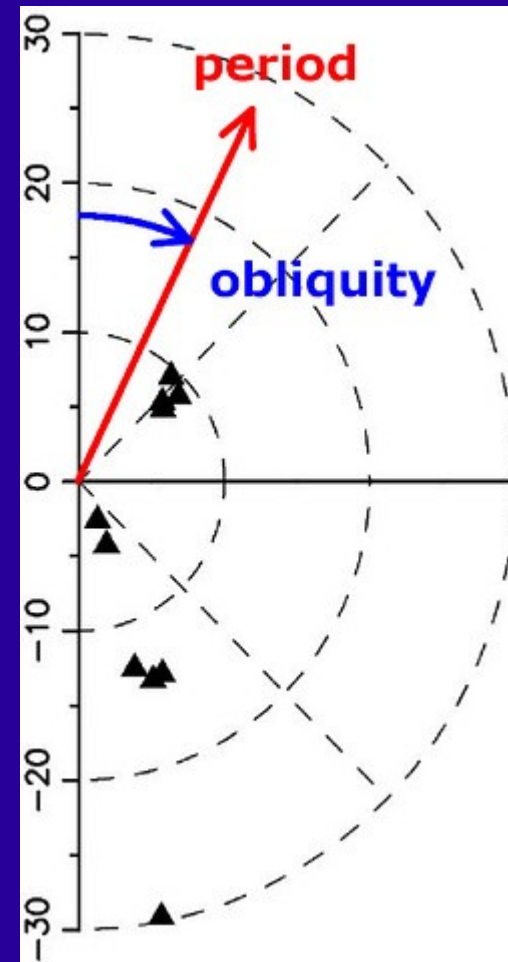
- **Fakty obserwacyjne**
- **Fizyka**
- **Dynamika**

The vector alignments of asteroid spins by thermal torques

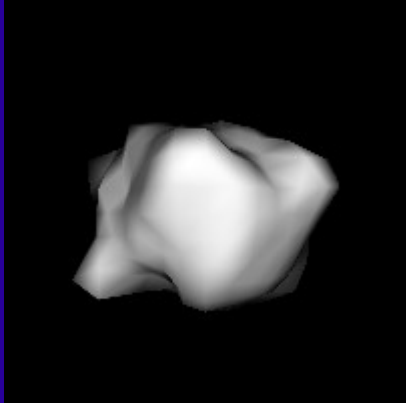
David Vokrouhlický¹, David Nesvorný² & William F. Bottke² (2003, Nature)



30 km



Wiekowe zmiany okresu obrotu



64509 YORP (ex 2000 PH₅)

Taylor et al. 2007 (*Science* **316**)

Lowry et al. 2007 (*Science* **316**)

- Zmierzone $\Delta P/P$ na 1 My

D = 110 m

- 1.72

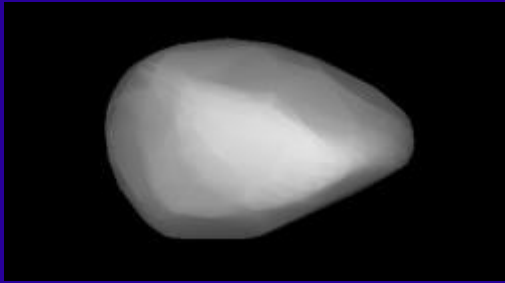
P = 12 min

- model

od - 4.5 do -10.6



Wiekowe zmiany okresu obrotu



1862 Apollo

Kaasalainen et al. 2007 (*Nature* **446**)

- zmierzone $\Delta P/P$ na 1 My

$$- 0.4 \pm 0.1$$

D = 1.4 km

P = 3 h

- model

od - 0.3 do -0.6

Wiekowe zmiany okresu obrotu



1620 Geographos

Đurech et al. 2008 (A&A 489)

- zmierzone $\Delta P/P$ na 1 My

$$- 0.14 \pm 0.02$$

D = 2.6 km

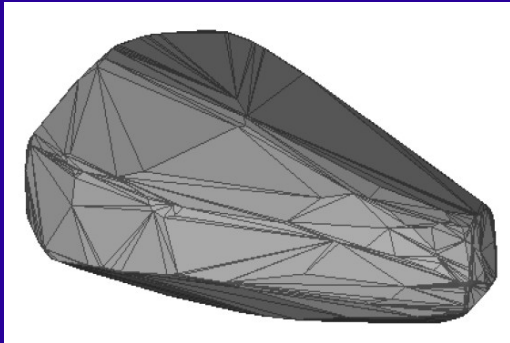
P = 5.2 h

- model

od - 0.04 do -0.11 (lub +0.38 !)



Wiekowe zmiany okresu obrotu



3103 Eger

Řurech et al. 2009 (DPS)

- zmierzone $\Delta P/P$ na 1 My

- 0.12 ± 0.08

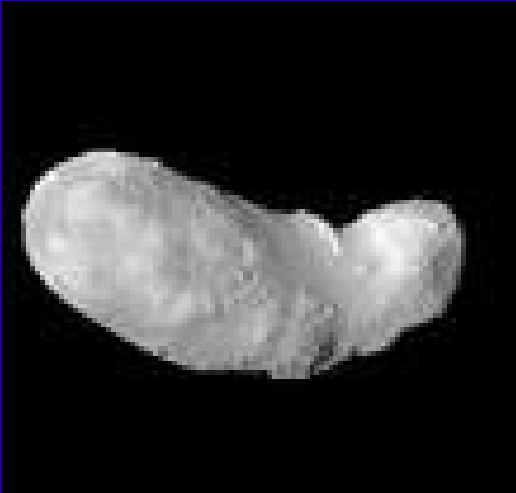
D = 1.8 km

P = 5.7 h

- model

from - 0.14 to -0.16

Fiasko



25143 Itokawa

- zmierzone $\Delta P/P$ na 1 My

$$0 (< | -4.3 |)$$

$D = 0.5 \text{ km}$

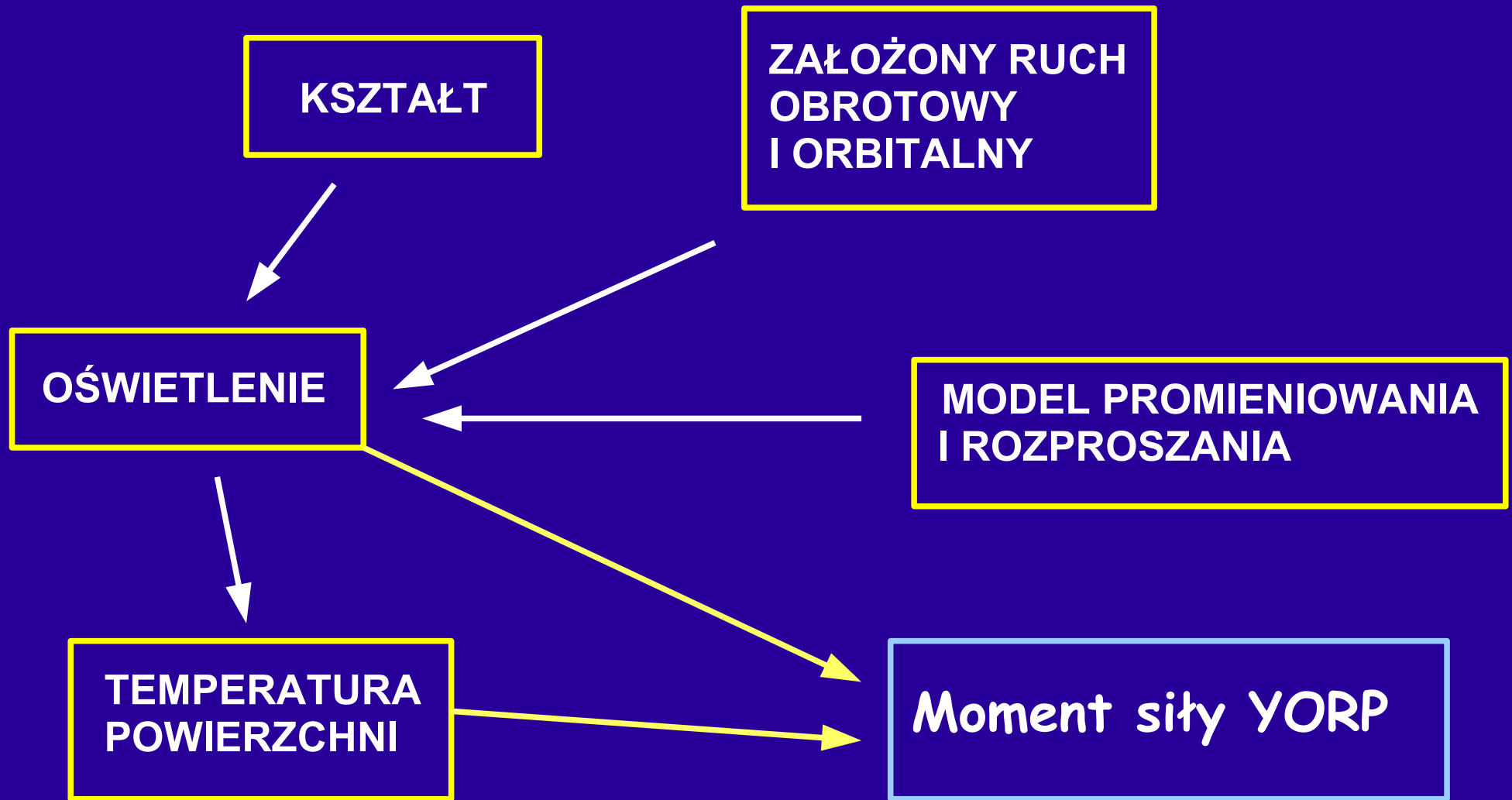
$P = 12 \text{ h}$

- model

- 16



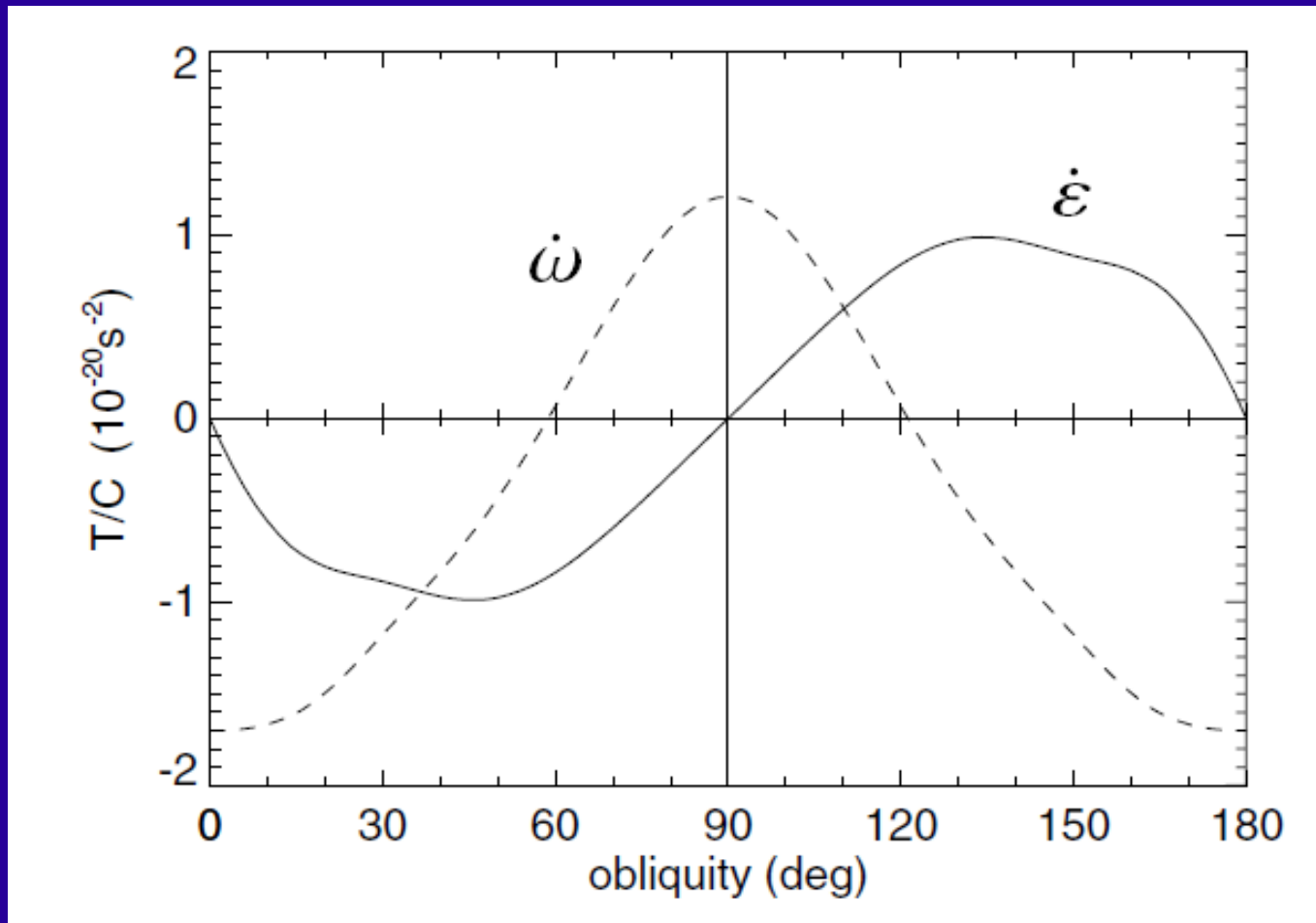
Model fizyczny YORP



Typowy obrazek dla obrotu wokół osi głównej.

ω – prędkość kątowna

$\dot{\varepsilon}$ – nachylenie równika do orbity



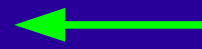
Zależność od elementów modelu

| | $d\omega/dt$ | $d\varepsilon/dt$ |
|--|---------------------|---------------------|
| Kształt | krytyczna | krytyczna |
| Prawo odbicia/emisji (albedo, Lambert, Hapke) | słaba | średnia |
| oświetlenie (cienie) | słaba/silna | słaba/silna |
| przewodnictwo (1D) | - | silna |
| przewodnictwo (3D) | zależna od średnicy | zależna od średnicy |

„Prosty” model analityczny

- Efekt drugiego rzędu względem harmonik kształtu
- Każda płaszczyzna symetrii eliminuje YORP w okresie obrotu

$$\langle M_1 \rangle = \alpha \sum_{q=1}^N (s_1 X_q^1 + s_1 X_q^2 + c_1 Z_q) P_{2q}^1(c),$$



YORP w nachyleniu osi

$$\langle M_2 \rangle = \alpha \sum_{q=1}^N (-c_1 X_q^1 - c_1 X_q^2 + s_1 Z_q) P_{2q}^1(c),$$



YORP - precesja

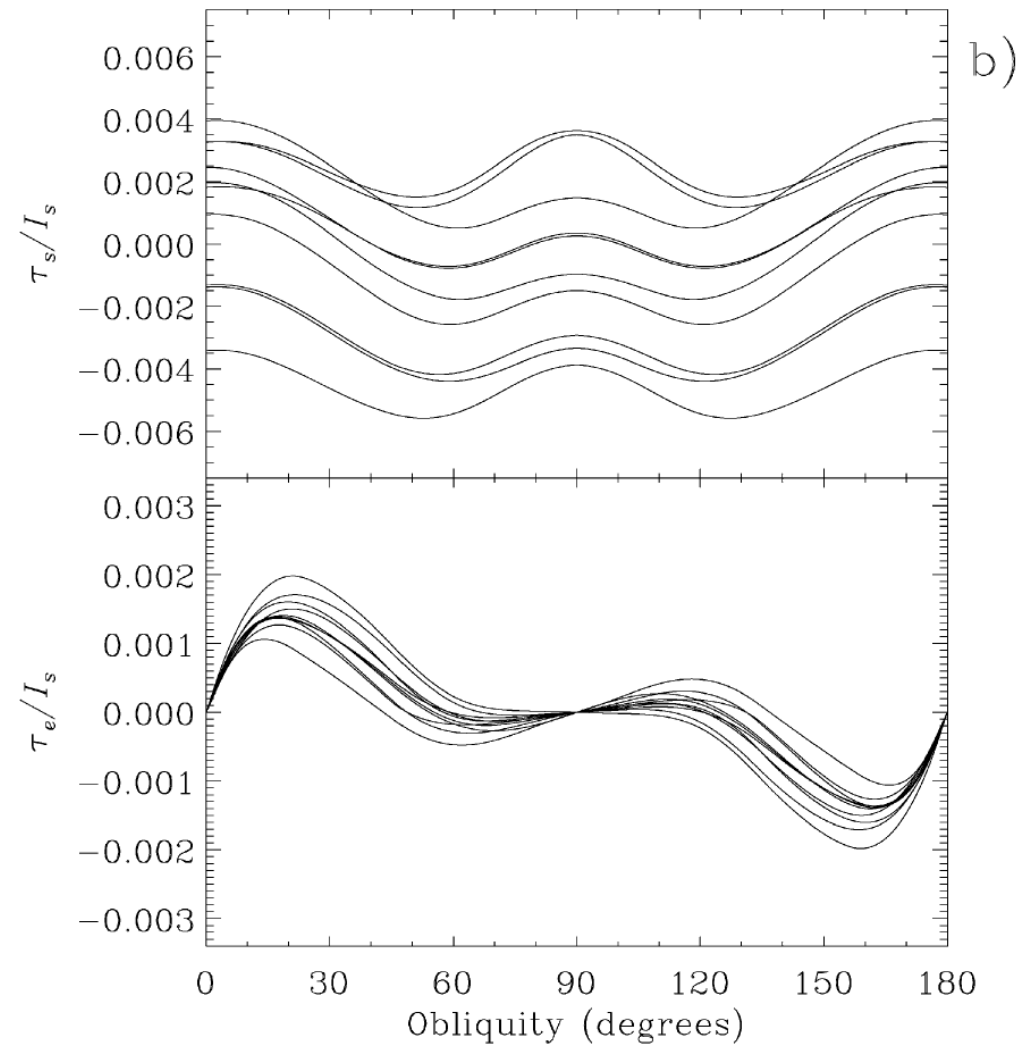
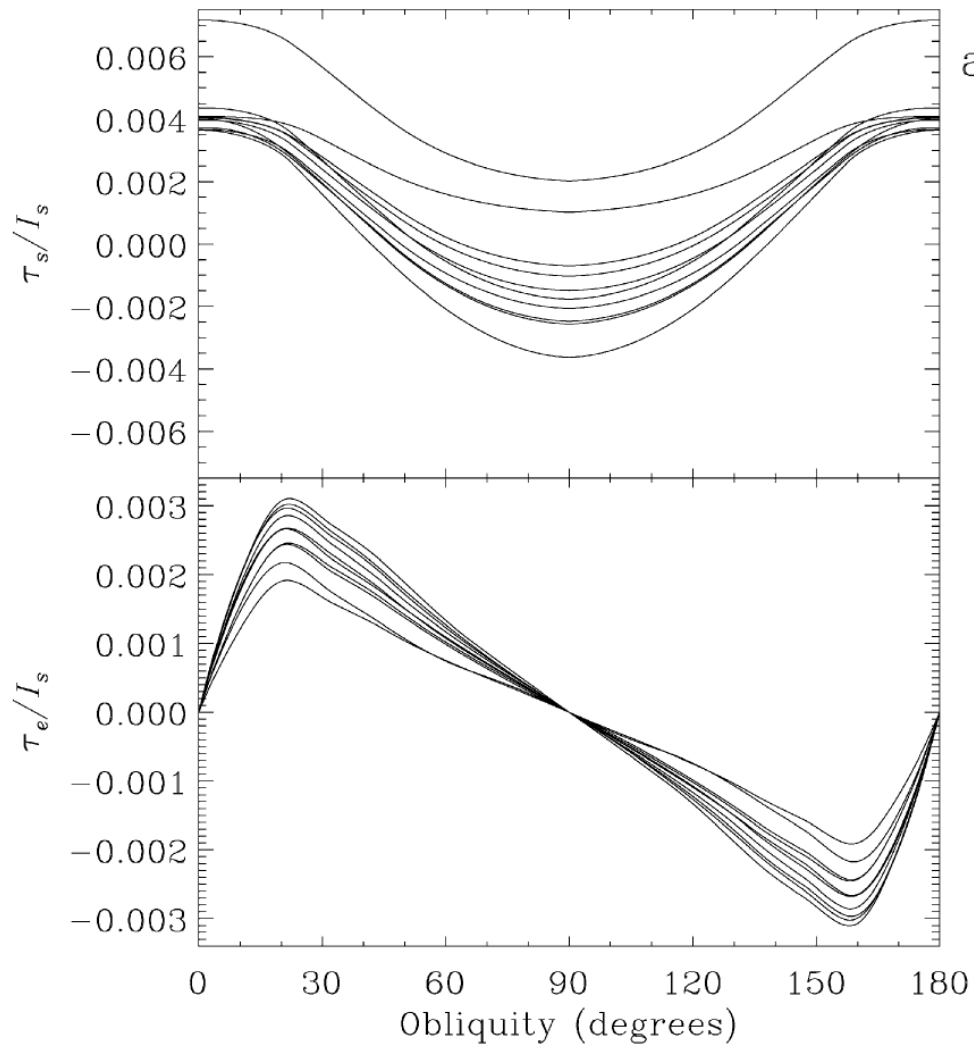
$$\langle M_3 \rangle = \alpha \sum_{q=1}^{N-1} A_q P_{2q}(c),$$



YORP w okresie obrotu [$c = \cos(\varepsilon)$].

Pierwiastki $P_2(c)$: 55 i 125 deg

c_1 i s_1 zależą od przewodnictwa K
 A, X, Z – funkcje harmonik kształtu



przykre skutki umieszczenia głazu na symulowanej powierzchni

Statler (2009)

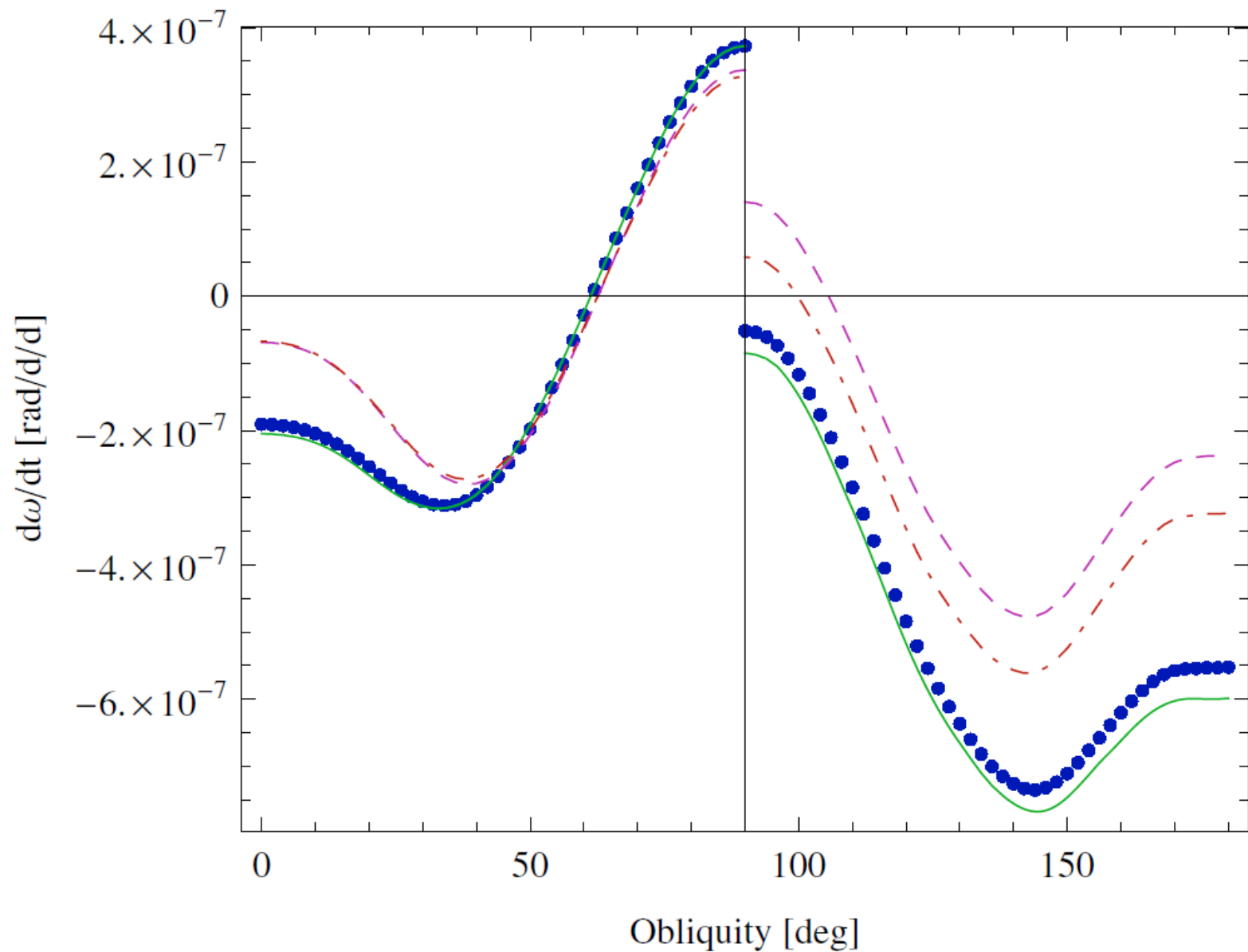


Fig. 5. YORP effect as a function of obliquity for selected Itokawa models: 12G8 (blue dots), 6E (magenta, dashed), 6UR (red, dash-dot), and 6Q (green, solid). *Left* – pseudo-convex approximation, *right* – with shadowing effects. The remaining part of each curve is symmetric with respect to the $\varepsilon = 90^\circ$ line.

Czemu tak ?

Efekt YORP powstaje jako suma (całka powierzchniowa) wektorów, które w większości odejmują się. Błąd w jednym z nich może nawet zmienić znak całości.

Dotyczy to głównie kraterów i głazów, gdzie gradient oświetlenia (temperatury) jest znaczny.

I co teraz ?

Dynamika.

Problem zasadniczy:

Gros prac zakłada (zgodnie z faktami) obrót wokół osi głównej

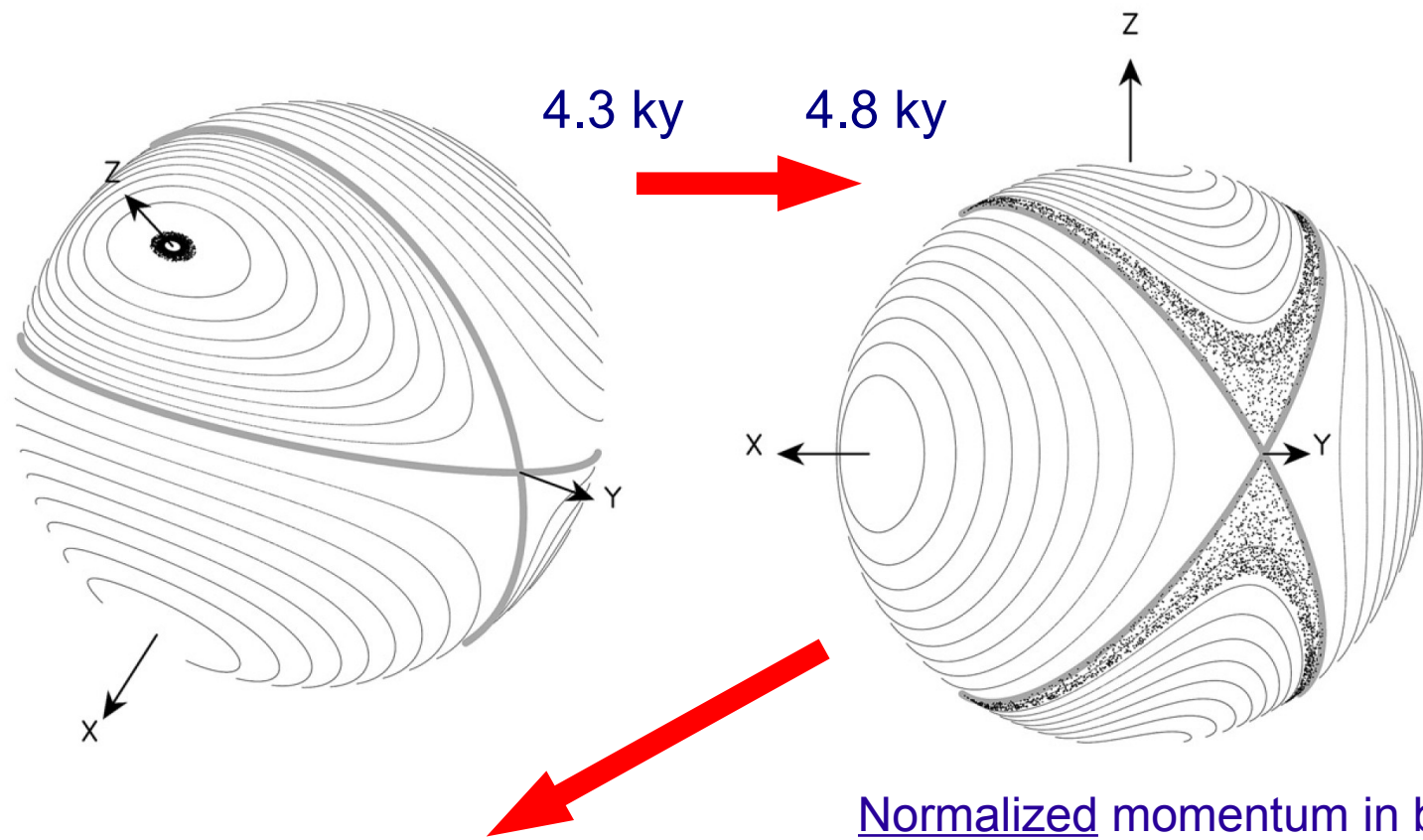
ale

ten tryb obrotu jest niestabilny po wprowadzeniu efektu YORP

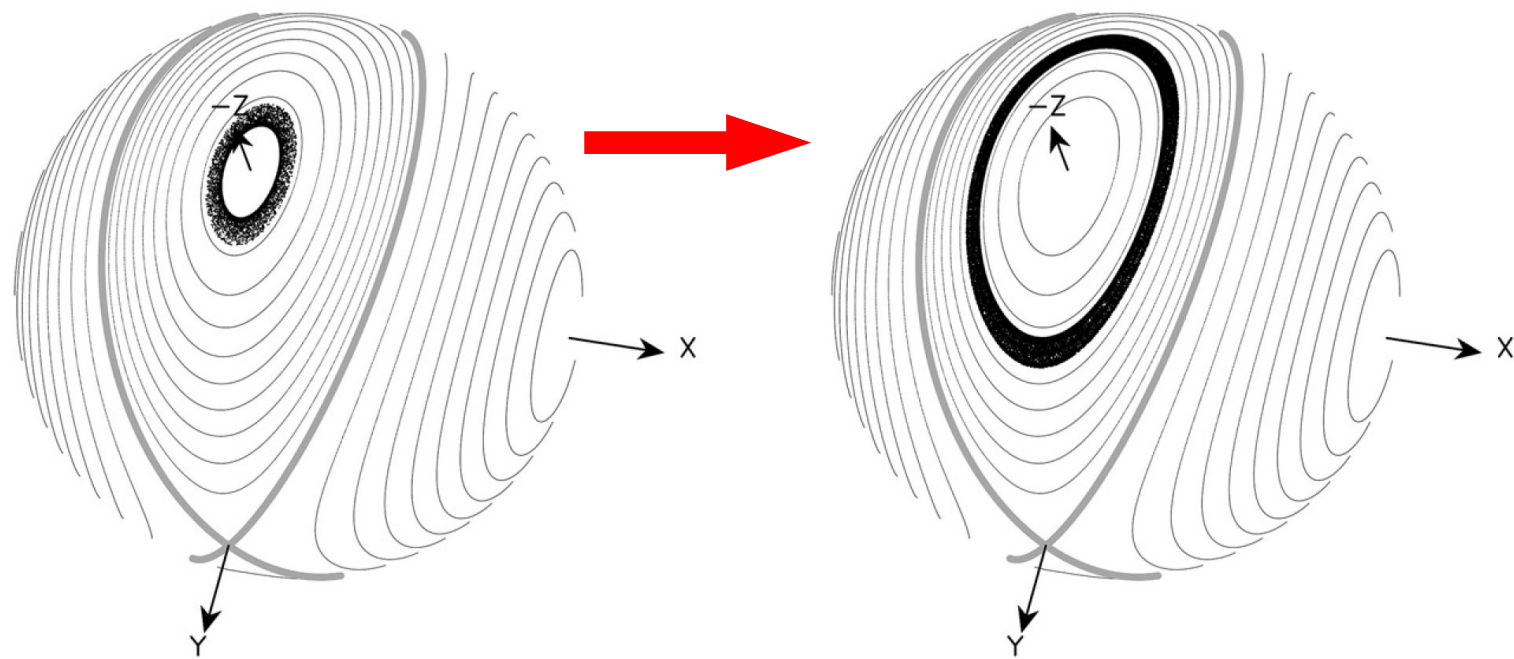
Vokrouhlický et al. 2007 (Icarus **191**); - numerycznie

Cicaló & Scheeres 2010 (CMDA **106**); - półanalitycznie (YORP bez YORP)

Breiter, Rožek & Vokrouhlický 2011 (MNRAS **417**); - półanalitycznie (zgodne z 2007)



Normalized momentum in bf



Dużo już wiemy o efekcie YORP.
Zostały tylko trzy drobne pytania:

1. Czy wiarygodny model fizyczny YORP jest możliwy ?
2. Czemu większość planetoid obraca się wokół osi głównej ?
3. Czemu w ogóle jeszcze istnieją jakieś planetoidy ?