

# Niebezpieczne Planetoidy. Część I

...może jednak nie zmieniamy orbity (99942) Apophis?

Małgorzata Królikowska & Grzegorz Sitarski

Centrum Badań Kosmicznych PAN

Uroczysty Zjazd Mechaników Niebieskich  
Warszawa, 10 lutego 2012

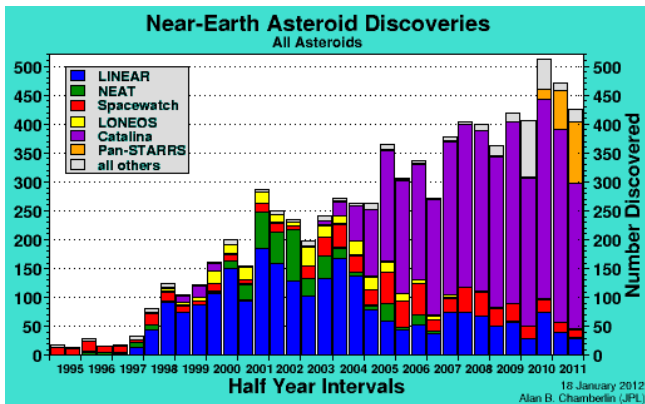


# Historia odkryć planetoid z Pasa Głównego, NEOs

1990 ponad 9000 planetoid, **pierwsze PHAs**

2000 ponad 86 000 planetoid

2012 ponad **pół miliona planetoid, w tym ponad 8650 NEOs, ~ 840 (~10%) PHAs**



# (99942) Apophis

## Dlaczego obiekt wart szczegółowej analizy?

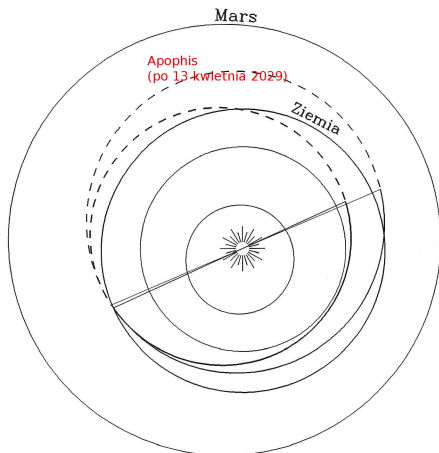
- Dużo obserwacji** (1489 pozycyjnych i 7 radarowych) obejmujących stosunkowo długi łuk obserwacyjny: 2004 03 15 – 2012 01 10 → stosunkowo dobrze wyznaczona orbita
- Duże rozmiary:**  $270 \pm 60$  m → potencjalnie bardzo niebezpieczny
- Po głębokim zbliżeniu w kwietniu 2029 roku do Ziemi** ( $\sim 6 R_{\oplus}$  od środka Ziemi;  $R_{\oplus} = 6378$  km) – **bardzo bogate możliwości potencjalnych zderzeń**

Object Name	Year Range	Poss. Impacts	Impact Prob.(cum.)	$V_{\infty}$ [km/s]	H [mag]	Diam. [km]	Astrometric data
101955 1999 RQ36	2169-2199	8	$7.1 \cdot 10^{-04}$	6.36	20.7	0.560	1999 – 2006
2011 AG5	2040-2047	5	$1.6 \cdot 10^{-03}$	9.55	21.9	0.140	9 months
2007 VK184	2048-2057	4	$5.7 \cdot 10^{-04}$	15.63	22.0	0.130	2 months
2009 FD	2185-2190	2	$1.9 \cdot 10^{-03}$	9.83	22.4	0.130	< 2 years
1994 WR12	2054-2109	129	$9.4 \cdot 10^{-05}$	9.83	22.4	0.130	1 month
2011 BT15	2074-2109	45	$7.9 \cdot 10^{-05}$	6.90	21.7	0.150	< 2 months
1979 XB	2056-2102	3	$3.8 \cdot 10^{-07}$	24.59	18.5	0.687	4 days
<b>99942 Apophis (2004 MN4)</b>	<b>2036-2103</b>	<b>3</b>	<b><math>7.4 \cdot 10^{-06}</math></b>	<b>5.87</b>	<b>19.7</b>	<b>0.270</b>	<b>2004 – 2008 – 2011</b>
2008 CK70	2030-2030	1	$3.7 \cdot 10^{-04}$	15.29	25.2	0.031	5 days
2010 AR85	2015-2106	36	$1.9 \cdot 10^{-08}$	32.84	17.4	1.100	2 days
2000 SG344	2069-2094	21	$1.4 \cdot 10^{-03}$	1.38	24.8	0.037	< 2 years
2007 FT3	2013-2110	127	$1.2 \cdot 10^{-06}$	17.05	20.0	0.340	1.2 days

Objects not recently observed; <http://neo.jpl.nasa.gov/risk/> 8 lutego 2012



# Orbita (99942) Apophis



**Głębokie zbliżenie w kwietniu 2029** →  
zmiana orbity – największa w a:  
0.92 AU ↗ 1.10 AU.

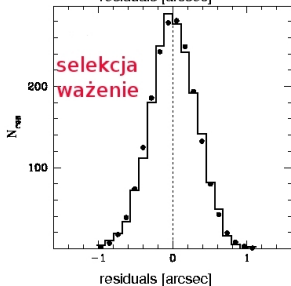
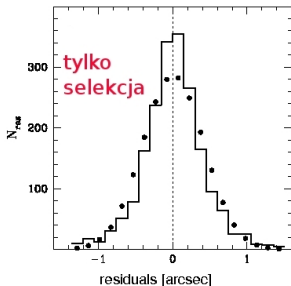
Apophis znajdzie się w rezonansie z Ziemią skutkującym wieloma możliwościami przyszłych zderzeń z Ziemią począwszy od roku 2036.

←←← Zmiana orbity Apophis  
wskutek zbliżenia 13 kwietnia 2029

**orbita oskulacyjna:**  
**a:  $\pm 10^{-7}$  au, e:  $\pm 10^{-7}$  M:  $\pm 10^{-5}$  deg**  
**orbita po 13 kwietnia 2029:**  
**a:  $\pm 10^{-2}$  au, e:  $\pm 10^{-2}$  M: 1 deg**



# Jak uwzględniać dane astrometryczne?



**Odpowiedź: jak najbardziej obiektywnie..**

**Selekcja** – rozsądna i obiektywna ze stosowaniem kryteriów statystycznych

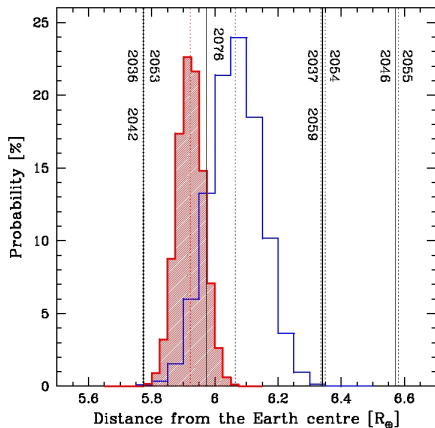
Dlaczego NASA w przypadku Apophis odrzuca 30% obserwacji? Można uzyskać podobną liczbę odrzuconych obserwacji gdy arbitralnie wyrzucić wszystkie obserwacje dające odchyłki od wyznaczonej orbity większe od  $0''.6$ . Co zaskakujące obecnie wyznaczona orbita jest na podstawie mniejszej liczby danych (640 obs., ponad 50% odrzucone) niż dwa lata temu (792 obs.)

NeoDys też to robi tylko w sposób bardziej zakamuflowany, formalnie je uwzględnia ale z ręcznie przyporządkowaną wagą o dwa rzędy mniejszą dla 1/4 całego zestawu danych

**Ważenie obserwacji** okazuje się istotne, bo bez niego rozkłady O-C **niegaussowskie** – ale: stosować kryteria statystyczne.

**Mało kto z modelujących subtelne efekty w ruchu PHAs** (np. uwzględniając efekty niegrawitacyjne, kilkadziesiąt masywnych planetoid) **zdaje sobie sprawę, że w przypadku niezbyt długich ciągów danych astrometrycznych (poniżej 2-3 lat) na wyniki (ewolucja orbity, prawdopodobieństwo zderzenia) zwykle więcej wpływa sposób traktowania danych!**

# (99942) Apophis; dziurki od klucza



**data: 2004 03 15 – 2006 08 16; 1000 obs.**

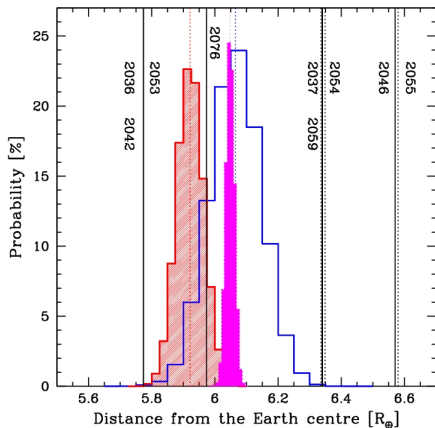
Królikowska, Sitarski & Soltan MNRAS 399, 1964–1976 (2009)

**data: 2004 03 15 – 2008 01 09; 1399 obs.**

Rozkłady minimalnych odległości od centrum Ziemi 13 kwietnia 2029  
dla 15 000 VAs



# (99942) Apophis; dziurki od klucza



**data: 2004 03 15 – 2006 08 16; 1000 obs.**

Królikowska, Sitarski & Soltan MNRAS 399, 1964–1976 (2009)

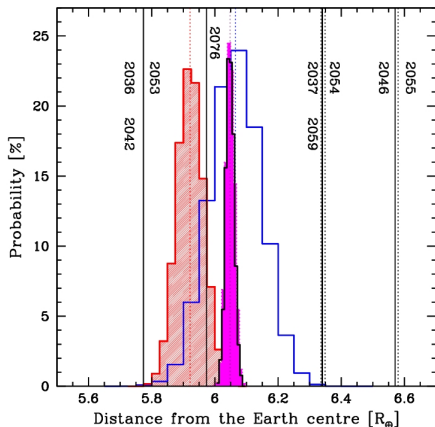
**data: 2004 03 15 – 2008 01 09; 1399 obs.**

**data: 2004 03 15 – 2011 03 14; 1482 obs.**

Rozkłady minimalnych odległości od centrum Ziemi 13 kwietnia 2029  
dla 15 000 VAs



# (99942) Apophis; dziurki od klucza



Rozkłady minimalnych odległości od centrum Ziemi 13 kwietnia 2029 dla 15 000 VAs

**data: 2004 03 15 – 2006 08 16; 1000 obs.**

Królikowska, Sitarski & Soltan MNRAS 399, 1964–1976 (2009)

**data: 2004 03 15 – 2008 01 09; 1399 obs.**

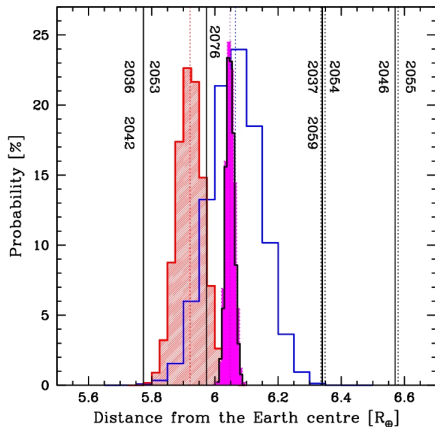
**data: 2004 03 15 – 2011 03 14; 1482 obs.**

**data: 2004 03 15 – 2011 12 17; 1484 obs.**

**data: 2004 03 15 – 2012 01 11; 1489 obs. ?**



# (99942) Apophis; dziurki od klucza



Rozkłady minimalnych odległości od centrum Ziemi 13 kwietnia 2029 dla 15 000 VAs

+ niepewności modelowe, efekty „niegravitacyjne” → →  
...może zatem nie ingerować...

## Witryna PHAs grupy Dynamiki Układu Słonecznego i Planetologii

