

Estructura tridimensional de resonancias orbitales.

Tabaré Gallardo

Departamento de Astronomía, Instituto de Física, Facultad de Ciencias
Universidad de la República, Uruguay

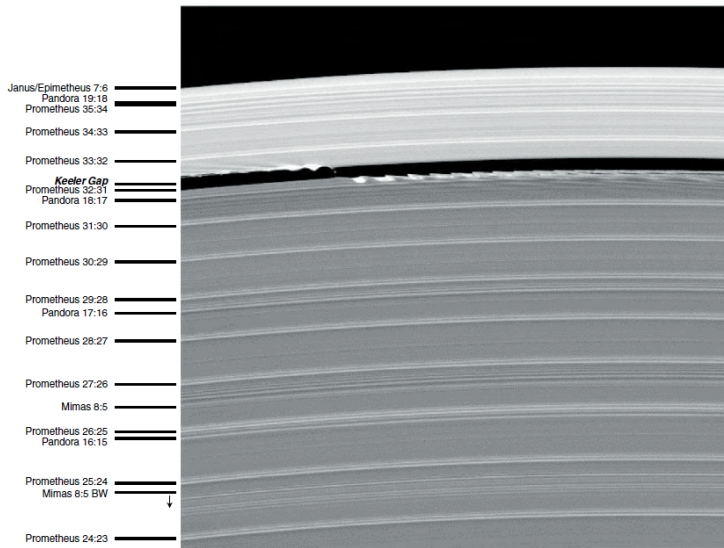


XVI Reunión de la SUF, Colonia, Setiembre 2018

Huellas de campo magnético

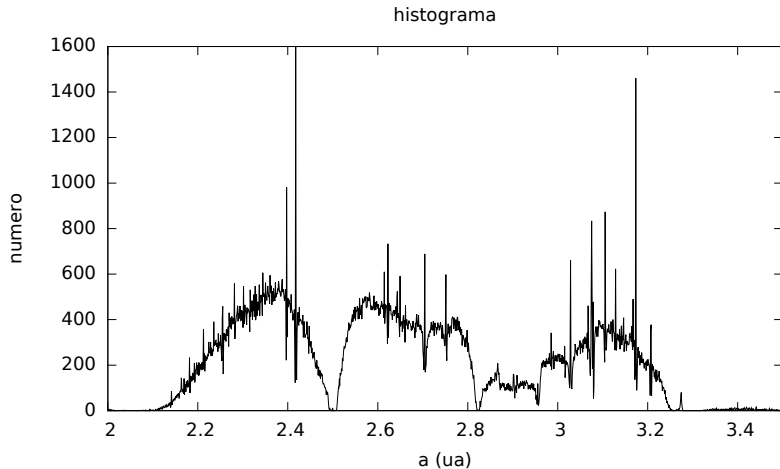


Huellas resonantes en anillos de Saturno



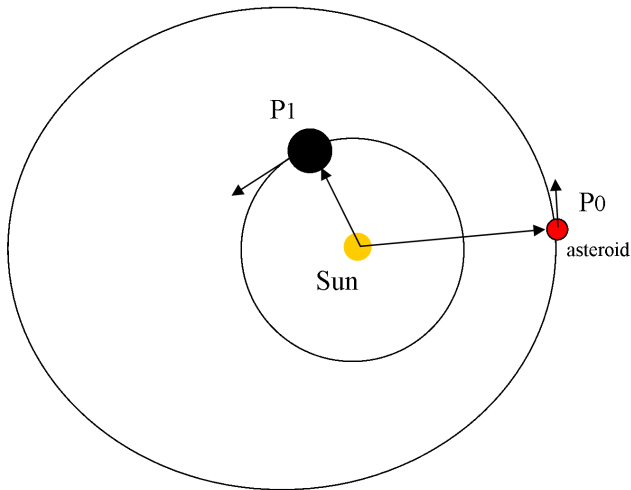
Lissauer y de Pater, Fundamental Planetary Science

resonancias en cinturón de asteroides ...

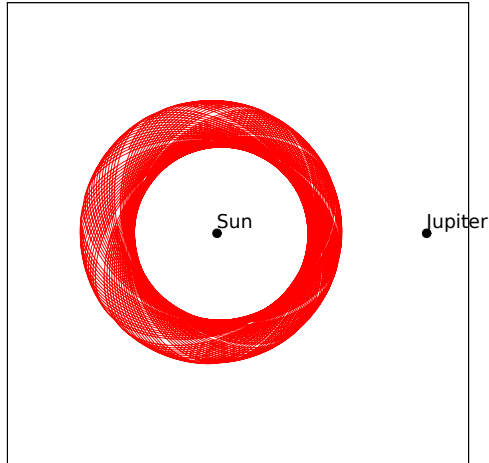


Resonancia orbital

$$k_0 n_0 - k_1 n_1 \simeq 0 \quad \Rightarrow \quad \sigma = k_0 \lambda_0 - k_1 \lambda_1 + cte$$

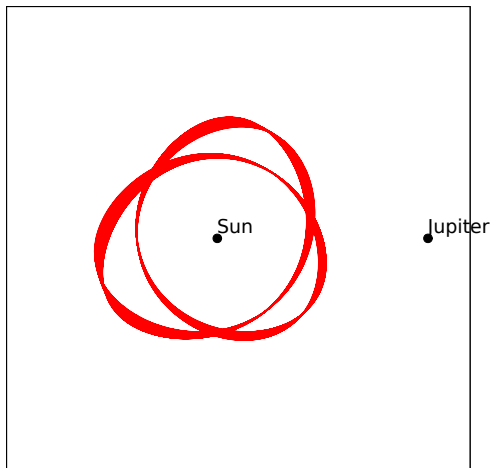


Asteroide NO resonante: simetría



no hay efectos dinámicos

Asteroide RESONANTE: Asimetría



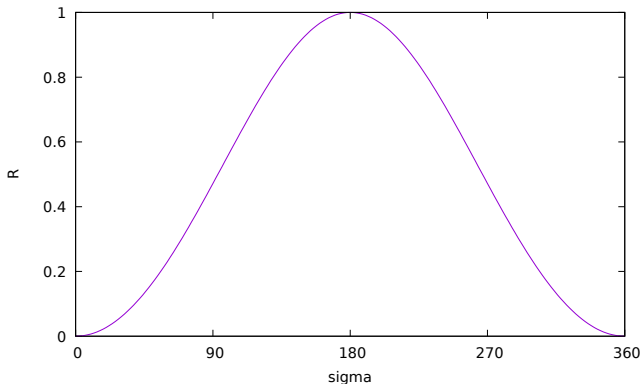
hay efectos dinámicos

Función perturbadora $R(\sigma)$

Teoría clásica: función perturbadora resonante **para bajas e, i**

$$R(\sigma) \simeq A \cos(\sigma)$$

Los mínimos de $R(\sigma)$ definen los puntos de equilibrio estable.



¿Por qué algunas resonancias son FUERTES?

Teoría clásica: **para bajas** e, i

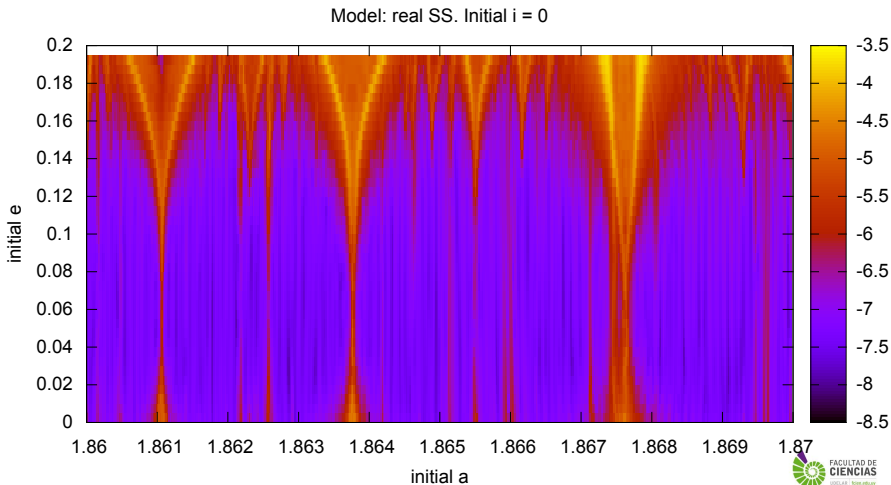
$$R(\sigma) \simeq A \cos(\sigma)$$

- "Fuerza" $\longrightarrow A \propto M_{pla} e^q$
- **ancho** en semieje $\propto A^{1/2} \propto e^{q/2}$

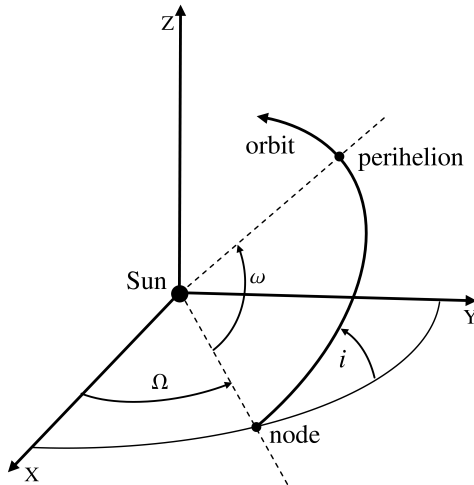
orden $q = |k_0 - k_1|$, (ejemplo, 3:1 $\longrightarrow$ orden 2)

Mapa dinámico: ANCHOS de resonancias

mayor $e \rightarrow$ mayor fuerza $\rightarrow$ mayor ancho

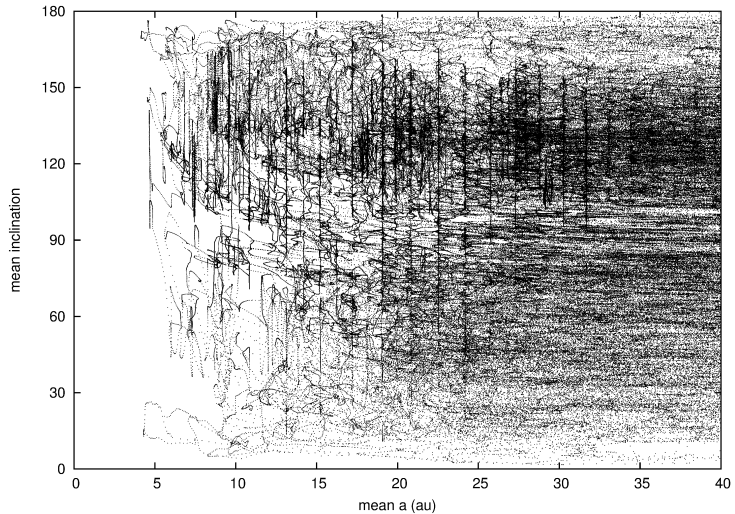


¿Qué pasa en órbitas muy inclinadas?



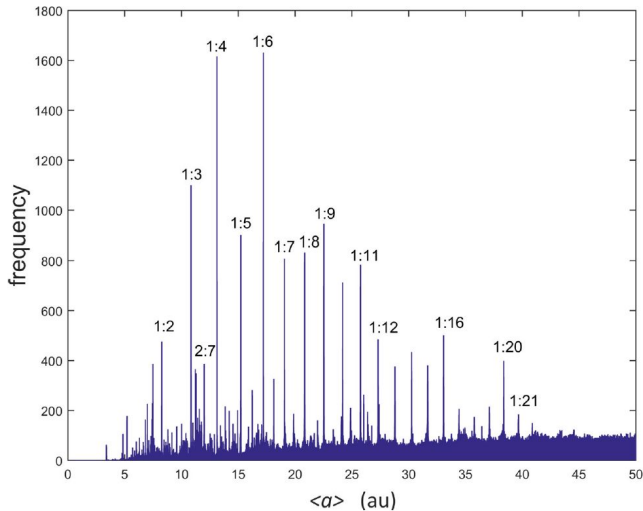
¿Tienen sentido las resonancias en órbitas **retrógradas**?

Evidencia: estados orbitales de cometas



Fernández et al. 2016

Histograma de estados orbitales de cometas



Fernández et al. 2016

Morais and Namouni 2013

Retrograde resonance in the planar three-body problem

M. H. M. Moraes · F. Namouni

Received: 30 April 2013 / Revised: 28 June 2013 / Accepted: 7 September 2013 /

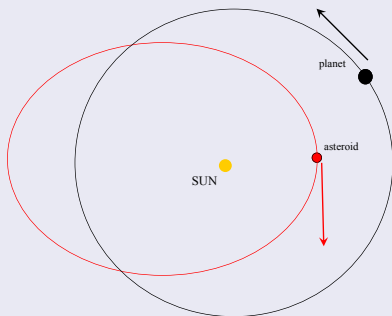
Published online: 12 October 2013

© Springer Science+Business Media Dordrecht 2013

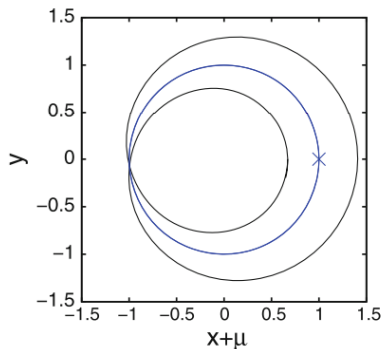
Abstract We continue the investigation of the dynamics of retrograde resonances initiated in Moraes and Giuppone (Mon Notices R Astron Soc 424:52–64, doi:[10.1111/j.1365-2966](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966)).

Caso MUY teórico: coorbital retrógrado

movimiento heliocéntrico



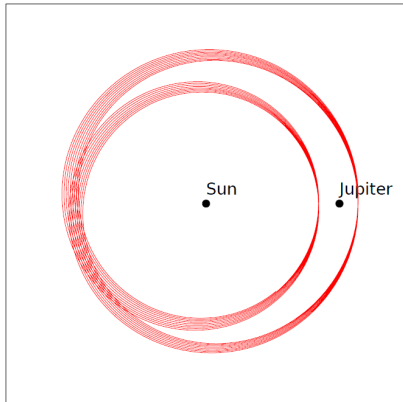
movimiento relativo



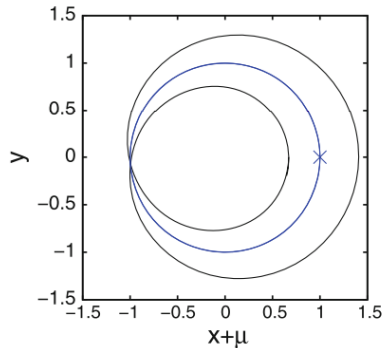
Morais and Namouni 2013

2015 BZ509: descubierto en Enero 2015...

$$a = 5,13 \text{ au}, e = 0,38, i = 163^\circ$$



⇒ paper en Nature (Wiegert et al. 2017)



Morais and Namouni 2013

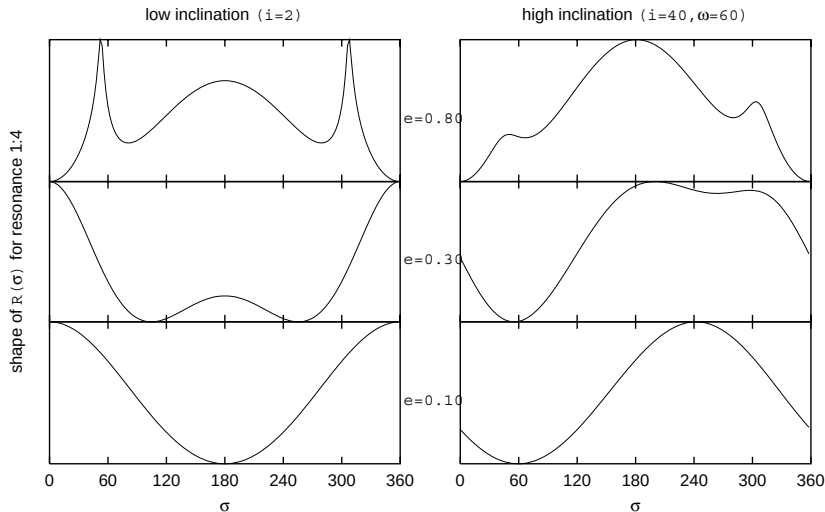
¿¿¿ $R(\sigma)$ para altas e, i ???

En estos casos

- no existe aproximación analítica razonable para $R(\sigma)$
- es necesario obtener numéricamente $R(\sigma)$

Método semi analítico = cómputo **numérico** de $R(\sigma)$

$R(\sigma)$ numérica para la resonancia 1:4



Gallardo 2006

Trabajo actual: extensión a todo (e, i)

Icarus 317 (2019) 121–134



ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Icarus

journal homepage: www.elsevier.com/locate/icarus

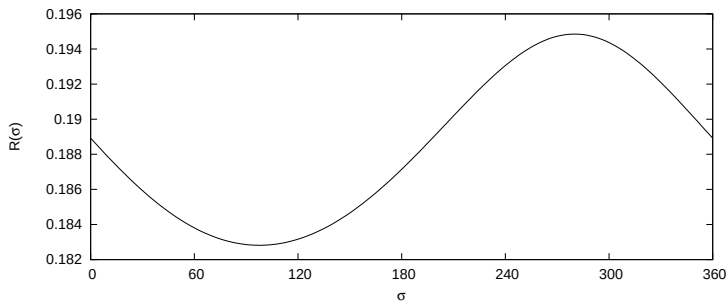
Strength, stability and three dimensional structure of mean motion resonances in the solar system

Tabaré Gallardo

Instituto de Física, Facultad de Ciencias, UdelAR, Igúí 4225, Montevideo 11400, Uruguay

- estudio de validez de $R(\sigma)$ numérica para todo (e, i)

$R(\sigma)$ y fuerza SR



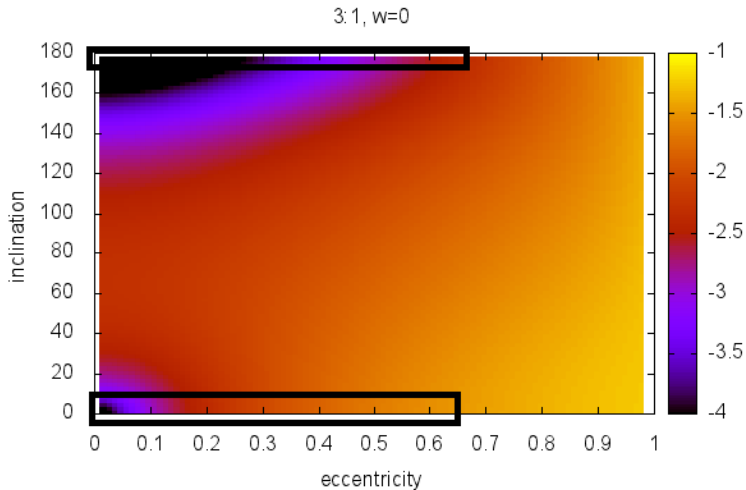
Defino **FUERZA** (Strength):

$$SR = \langle R \rangle - R_{min}$$

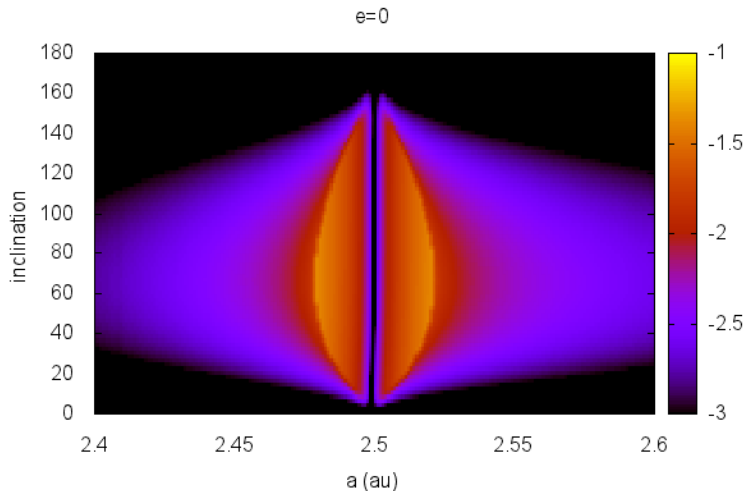
$$SR(e, i, \omega)$$

Relevamiento de Fuerzas para algunas resonancias

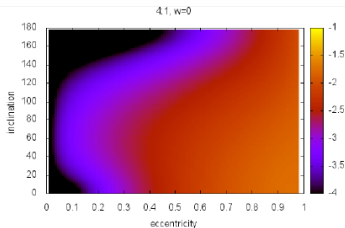
FUERZAS resonancia 3:1



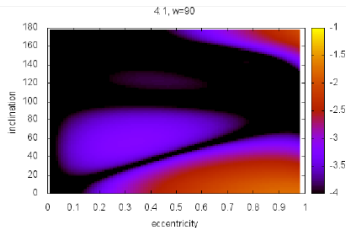
ANCHOS: mapa dinámico (a, i), resonancia 3:1



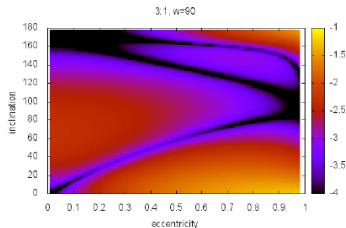
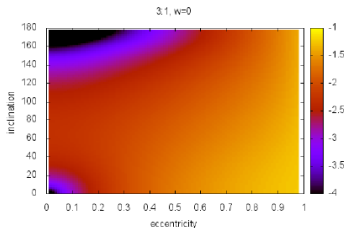
Resonancias interiores: efecto ω



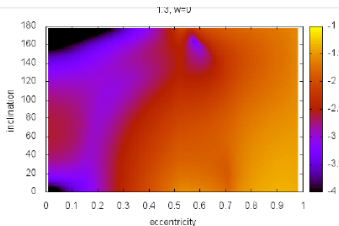
$$\omega = 0$$



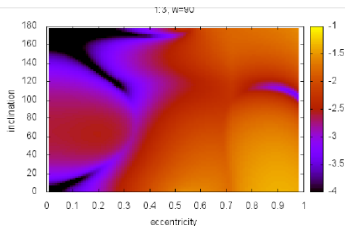
$$\omega = 90$$



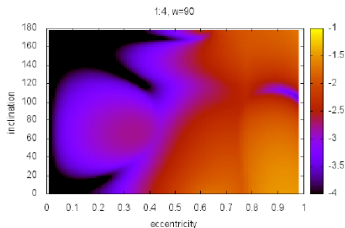
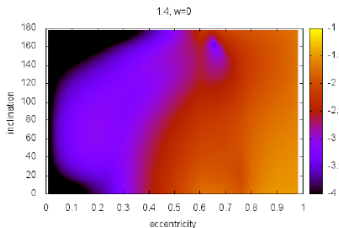
Resonancias EXTERIORES 1:k, poco efecto ω



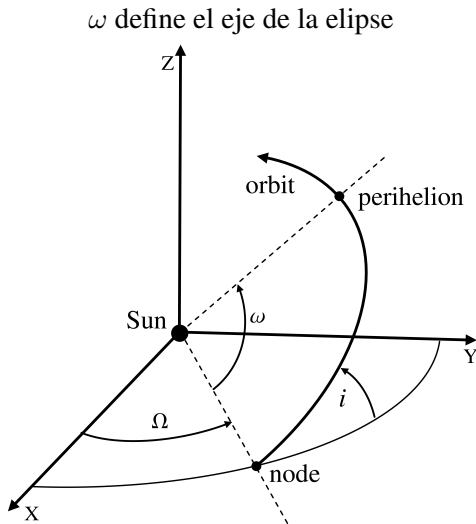
$$\omega = 0$$



$$\omega = 90$$



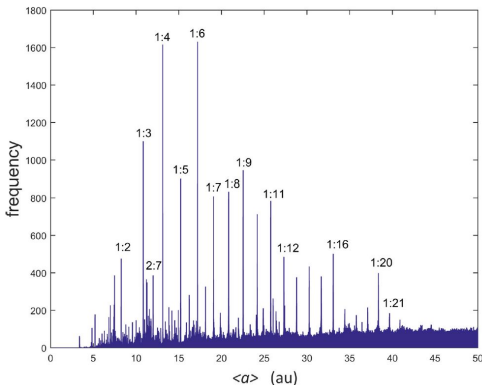
argumento del perihelio ω



Algunas conclusiones

Resonancias:

- altamente dependientes de ω
- excepto las externas 1:k $\Rightarrow$ **son siempre fuertes**



Ejemplo: trans Neptuniano 471325 ("Niku")

Monthly Notices

of the
ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY

MNRAS **472**, L1–L4 (2017)

Advance Access publication 2017 August 2

doi:10.10

First trans-Neptunian object in polar resonance with Neptune

M. H. M. Morais¹★ and F. Namouni²★

¹Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Av. 24–A, 1515, 13506–900 Rio Claro, SP, Brazil

²CNRS, Observatoire de la Côte d'Azur, Université Côte d'Azur, CS 24229, F-06304 Nice, France

- $i = 110^\circ$
- **capturado en 7:9** con Neptuno, $a = 35,6$ ua

Además:

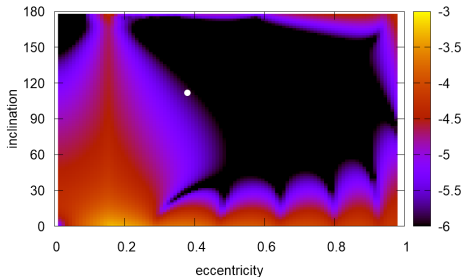
- tendencia a **escapar cuando** $\omega \sim 0^\circ$
- bien **capturado cuando** $\omega \sim 90^\circ$

Explicación: trans Neptuniano 471325

Fuerza $SR(e, i)$

para $\omega = 0^\circ$

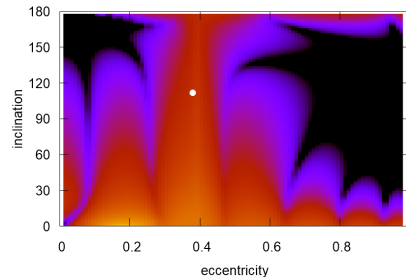
Neptune 7:9, $\omega=0$



resonancia DEBIL

y para $\omega = 90^\circ$

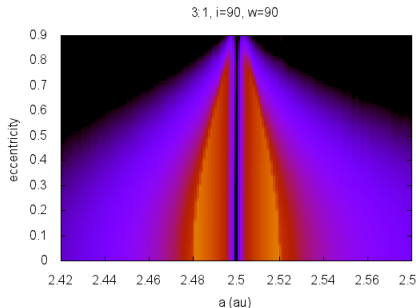
Neptune 7:9, $\omega=90$



resonancia FUERTE

Conclusiones

- descripción de las resonancias en todo el espacio (e, i, ω)
- ω es relevante
- resonancias 1:k son **fuertes para todo** $(i, \omega) \Rightarrow$ **captura cometas**
- todas las demás son débiles en alguna región $(i, \omega) \Rightarrow$ **ruptura**
- en algunas resonancias cuando $e \rightarrow 1$ la fuerza $\rightarrow 0$!!



Atlas of mean motion resonances:

www.fisica.edu.uy/~gallardo/atlas

¡Gracias!



Vicino, Cernuschi, Sans, Codina