

Konstantin Batygin (Caltech)

TABLES ASTRONOMIQUES

PUBLIÉES

PAR LE BUREAU DES LONGITUDES DE FRANCE,

CONTENANT

LES TABLES DE JUPITER, DE SATURNE ET D'URANUS,

CONSTRUITES D'APRÈS LA THÉORIE DE LA MÉCANIQUE CÉLESTE;

PAR M. A. BOUVARD,

Chevalier de l'Ordre royal de la Légion-d'Honneur, Membre de l'Académie royale des Sciences et du Bureau des Longitudes; des Académies royales des Sciences de Turin et de Munich; de la Société astronomique de Londres et de la Société helvétique des Sciences naturelles, etc., etc.

PARIS,

BACHELIER et HUZARD, Gendres et Successeurs de M^{me} V^e COURCIER, Libraires pour les Sciences,
Rue du Jardinier-Saint-André-des-Arcs.

1821.

Bouvard Tables astronomiques

63 BS dir.

ment aux observations modernes, mais qui ne pourront satisfaire convenablement aux observations anciennes. Il fallait se décider entre ces deux partis; j'ai dû m'en tenir au second, comme étant celui qui réunit le plus de probabilités en faveur de la vérité, et je laisse aux tems à venir le soin de faire connaître si la difficulté de concilier les deux systèmes tient réellement à l'inexactitude des observations anciennes, ou si elle dépend de quelque action étrangère et inaperçue, qui aurait agi sur la planète.

Maintenant, en conservant la notation adoptée pour les Tables de Jupiter et de Saturne, on aura de même la formule suivante pour type des équations de condition :

$$(1 + 2e \cos \phi) x + t(1 + 2e \cos \phi) y + z \sin \phi - u \cos \phi = dV''.$$

En désignant par V'' la longitude héliocentrique d'Uranus, pour la même époque que pour Jupiter et Saturne, j'ai trouvé la formule suivante :

$$V'' = \phi'' + 154'',63.t.$$

I.....	$\left\{ \begin{array}{l} + (59427'',54 - t.0'',3216) \sin(\phi'' - \omega'') \\ + (1733,14 - t.0,0188) \sin 2(\phi'' - \omega'') \\ + (70,08 - t.0,0011) \sin 3(\phi'' - \omega'') \\ + (3,25 - t.0,0001) \sin 4(\phi'' - \omega'') \\ + (0,16 - t.0,0000) \sin 5(\phi'' - \omega''). \end{array} \right.$
II.....	$\left\{ \begin{array}{l} + 68'',55 \sin(\phi' - \phi'' + 23^\circ,56) - 12'',49 \cdot \sin 2(\phi' - \phi'') \\ - 2'',55 \sin 3(\phi' - \phi'') - 0'',72 \sin 4(\phi' - \phi'') - 0'',24 \sin 5(\phi' - \phi''). \end{array} \right.$
III.....	$\left\{ \begin{array}{l} - (436'',41 - t.0'',034) \sin(\phi' - 2\phi'' + 79^\circ,28 + t.48'',7) \\ - 5'',07 \sin(2\phi' - 4\phi'' + 42^\circ,87). \end{array} \right.$
IV.....	$+ 160'',92 \sin(\phi - \phi'') - 0'',59 \sin 2(\phi - \phi'').$
V.....	$- 10,60 \cdot \sin(\phi - 2\phi'' - 16^\circ,50).$
VI.....	$+ 7,79 \cdot \sin(2\phi' - 3\phi'' + 25^\circ,92).$
VII.....	$+ 4,07 \cdot \sin(\phi' + 5^\circ,09).$
VIII.....	$+ 3,89 \cdot \sin(2\phi - \phi'' - 11^\circ,49).$
IX.....	$+ 3,81 \cdot \sin(\phi + 14^\circ,87).$
X.....	$+ 2,86 \cdot \sin(2\phi' - 5\phi'' + 75^\circ,99).$
XI.....	$+ 2,55 \cdot \sin(2\phi' - \phi'' - 81^\circ,89).$
XII.....	$+ 1,38 \cdot \sin(3\phi' - 4\phi'' + 26^\circ,24).$

La réduction à l'écliptique est

$$- 29'',04 \sin(2V'' - 2\theta'').$$

Le rayon vecteur r'' d'Uranus est donné par la formule

$$r'' = 19,212098 - t.0,00000023.$$

Années.	Erreurs.								
1690	+ 98'',7	1783	+ 16'',7	1793	- 13'',0	1803	- 44'',5	1814	+ 41'',5
1712	+ 62,0	1784	+ 19,4	1795	- 19,5	1804	- 27,8	1815	+ 41,2
1715	- 4,5	1785	+ 6,7	1794	- 13,3	1805	- 38,2	1815	+ 47,6
1750	- 124,0	1785	+ 6,5	1795	- 18,5	1806	- 23,1	1816	+ 49,1
1750	- 101,4	1785	+ 12,5	1795	- 20,6	1806	- 8,5	1816	+ 57,7
1753	- 69,8	1786	+ 11,7	1795	- 25,8	1807	- 26,5	1817	+ 52,9
1756	- 75,7	1786	+ 10,5	1796	- 13,0	1807	- 0,9	1818	+ 56,7
1764	- 23,8	1787	+ 12,1	1796	- 35,0	1808	- 14,1	1819	+ 76,2
1769	+ 10,9	1788	- 8,1	1797	- 18,9	1809	- 19,6		
1771	+ 50,0	1788	+ 8,9	1797	- 37,9	1810	- 5,9		
1781	+ 17,8	1789	- 1,4	1798	- 37,6	1811	+ 9,3		
1781	+ 22,9	1789	+ 23,5	1799	- 53,4	1811	+ 1,0		
1782	+ 27,6	1790	+ 14,8	1799	- 45,4	1812	+ 0,1		
1782	+ 17,7	1790	- 16,9	1800	- 25,8	1812	+ 22,0		
1782	+ 13,9	1791	- 12,6	1801	- 44,3	1813	+ 16,6		
1783	+ 24,9	1791	- 5,1	1802	- 49,7	1813	+ 42,4		
1783	+ 24,8	1792	- 7,6	1802	- 34,2	1814	+ 27,9		

Il est difficile d'admettre que les observations modernes comportent de telles erreurs. On ne peut, non plus, les rejeter sur la théorie, ni sur l'oubli de quelque terme important. Cette théorie est connue, et les soins que j'ai mis à mes calculs ne permettent pas qu'on s'arrête sur ce dernier point. Ce serait donc sur l'exactitude des observations anciennes que le doute retomberait. En effet, il est difficile de s'en défendre, quand on discute les circonstances dans lesquelles elles ont été faites : l'observation de Bradley est unique, le passage n'a été observé qu'au cinquième fil et la hauteur n'a été estimée qu'en degrés et minutes. La même remarque s'applique à l'observation de Mayer. Les observations de Flamsteed sont jugées depuis longtemps, et l'on sait que ses instrumens n'étaient ni bien exécutés, ni exactement placés dans le méridien. Quant à celles de Lemonnier, on peut voir dans la Connaissance des Temps pour 1821 ce qu'il est permis d'en penser.

D'après ces considérations, j'ai supprimé les dix-sept observations anciennes et formé de nouvelles Tables avec les seules observations modernes. On peut voir dans le tableau suivant des équations de condition, avec quelle approximation ces dernières sont représentées ; une seule va à 32'',4 centésimales, ou 10'' sexagésimales, et toutes les autres sont généralement beaucoup plus petites. Mais les observations anciennes sont moins bien satisfaites, et l'une des erreurs s'élève jusqu'à 227'',7, ou 73'',8 sexagésimales.

Telle est donc l'alternative que présente la formation des Tables de la planète Uranus, que si l'on combine les observations anciennes avec les modernes, les premières seront passablement représentées, tandis que les secondes ne le seront pas avec la précision qu'elles comportent ; et que si l'on rejette les unes pour ne conserver que les autres, il en résultera des Tables qui auront toute l'exactitude désirable relative-



Urbain J. J. LeVerrier (1811-1877)

Fallander

(1) Première Partie

Perturbations du mouvement elliptique
d'Uranus, dues aux actions de Saturne
et de Jupiter.

2. Pour établir, avec précision, les théories d'une Planète, dont le mouvement est déjà appuyé sur une autre, il faut, précisément, en se basant sur les lois de la gravitation universelle, et en tenant compte de l'influence de toutes les masses, rebâcher avec soin la forme des expressions analytiques, propres à représenter à une époque quelconque le cosmogramme de l'astre. Il faut, en second lieu, ~~en se basant~~ ~~sur les lois de la gravitation~~ disposer d'une série ~~exacte et nombreuse~~ d'observations, exactes et nombreuses, réparties sur un intervalle de temps considérable. Ces deux premières parties de la question sont indépendantes l'une de l'autre. Il reste ensuite à les rapprocher, à conclure des observations leur valeur précise, et constater que tout l'esther indéterminé dans la formule, et qu'on a fini réduire au plus petit nombre possible.

La expression analytique de l'indéterminé s'Uranus se compose ~~d'après~~ de deux parties, elliptiques due au mouvement elliptique, et des perturbations qu'elles provoquent de la part des Planètes. Il ne suffit pas que des Planètes communes, parmi lesquelles Jupiter et Saturne sont les seules qui exercent une influence sensible. ~~Il suffit~~ ~~que~~ ~~deux~~ ~~planètes~~ ~~suffisent~~ pour déterminer les perturbations dues aux actions de ces deux planètes.

On a généralement, dans la publication des ~~recherches~~ ~~études~~ astronomiques, adopté le moyen usagé de faire parti des lettres de tous le renseignements qui touchent propre à l'étoile sur la valeur des caractéristiques du travail que l'on est soumis. Je suis, sans aucun doute, me conformer à cet usage. L'importance de la question que je pose, la nature des résultats auxquels je parviens, démontre que je n'entrevoit rien de ce qui pourra servir à faire grincer dans l'esprit des

Multiplication de l'Orbite de la Planète en partant de $a = 0,51$
et de $\epsilon = 280$ quand pour première approximation

l'approximation.

La matrice d'ordre trigénie finale égal à 0,001 pour $n=1$, j'obtiens un tableau, que si l'on prend pour le rapport de la distance moyenne d'Uranus à X, $0,51 + d$ on aura la perturbation:

$$h = m'(20,7h + 1,81h + 0,085h^2) \sin(n't - nt + \epsilon - \epsilon')$$

L'inégalité correspondante de l'indéterminé pour Vénus, restante à la même échelle, et en prenant de la même manière le rapport de la distance Céleste égale à $1,066 \times 38,9187 + 0,32h = 1,066(1,093,91)$ $= 25,9$. La première approximation donne 20,66. Deuxième tableau, on y prend $d = 0,51h$: elle donne $25,9$.

L'inégalité de la première partie est donnée $295,59 \times 1,5559h \times 1,51h = 455,59(1,096,81) = 27,9$. La formule suivante donne pour $d = 0,51h$ l'inégalité 27,9.

Enfin l'inégalité de la première partie est donnée $28,58h \times 1,950h \times 1,91h = 28,58h(1,800,67) = 18,0$ et la première approximation pour $d = 0,51h$ donne 18,0. Mais la première approximation est bien exacte.

Soit $n = 1,7610$ le moyen sur 8^e annuel d'Uranus. On aura en général:

$$\begin{aligned} n' &= n \left\{ 0,51 + \frac{d}{100} \right\}^{\frac{3}{2}} \\ &= n (0,51)^{\frac{3}{2}} + \frac{3}{400} (0,51)^{\frac{1}{2}} d + \frac{3}{40000} (0,51)^{-\frac{1}{2}} d^2 \end{aligned}$$

on obtient

$$n' = 1,7940 + 0,05100d + 0,000125d^2$$

qui pour $d = 1$ fournit $n' = 1,7945$ et pour $d = 5$ fournit $n' = 1,79892$; nombres qui sont aux quarts très-évidemment pour $n(0,51)^{\frac{3}{2}}$ et $n(0,51)^{\frac{1}{2}}$.

Dès lors on obtient l'inégalité:

$$m'(20,7h + 1,81h + 0,085h^2) \sin \left\{ 27,9 - 3,070t + 0,05100 \cdot 10^{-3} t^2 + \epsilon' \right\}$$

Développant le sinus par la formule:

$$\sin(x+h) = \sin x + (0,015708)X \cos x - \frac{(0,015708)^2}{2} \frac{X^2}{2!}$$

L'inégalité trigénie en développant pour l'unité $d_2 = 10^4 = 4'$ pour abscisse il faut multiplier t^2 par 10^{-6} .

“I cannot attempt to convey... the impression which was made on me by the author’s undoubting confidence, but the firmness with which he proclaimed to the observing astronomers, ‘*Look into the place which I have indicated, and you will see the planet well.*’”

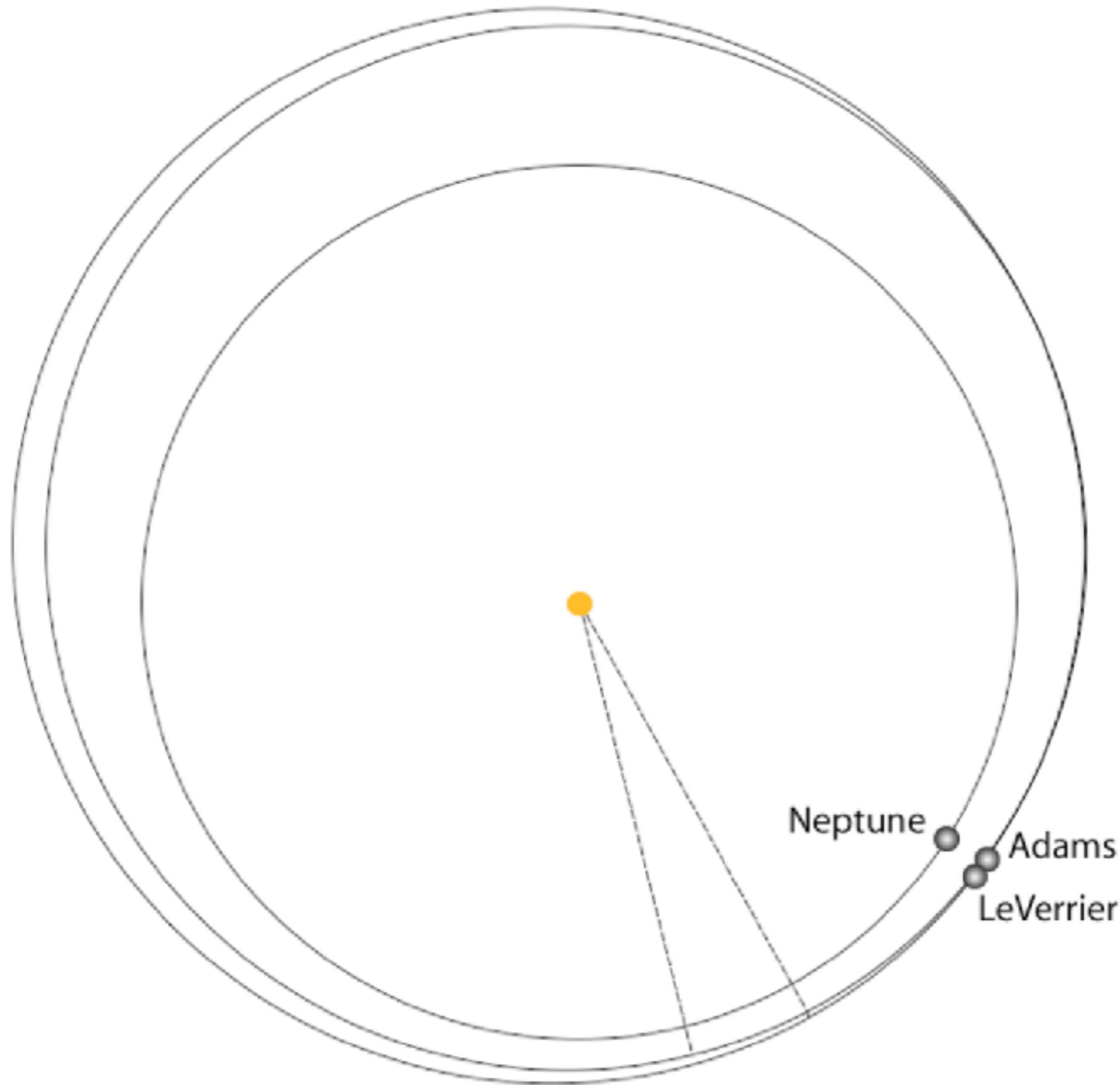
--Airy

“This scientist, this genius... had discovered a star with the tip of his pen, without other instrument than the strength of his calculations alone”

-- Flammarion

(Taken from Baum & Sheehan)

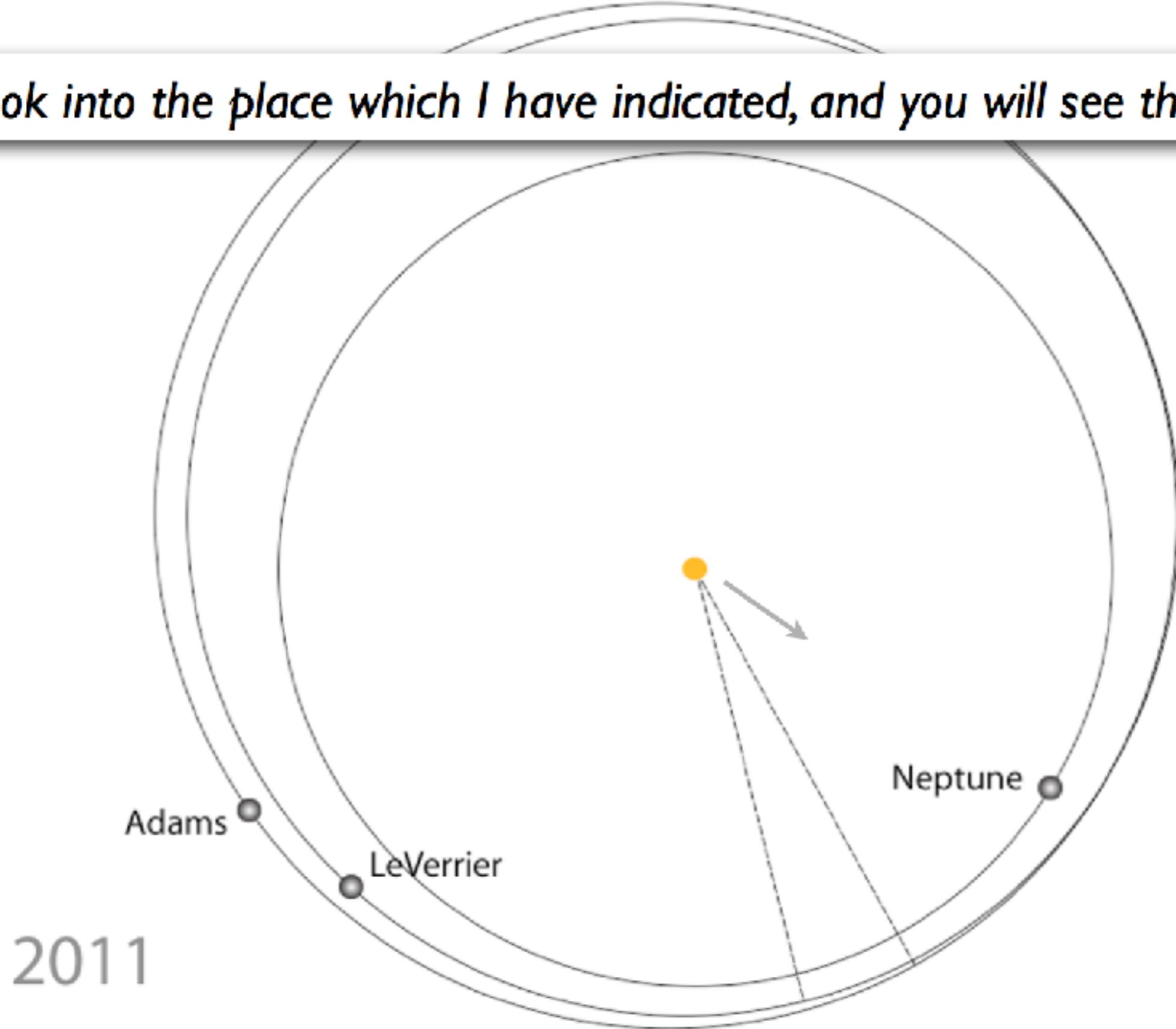
1846



Neptune

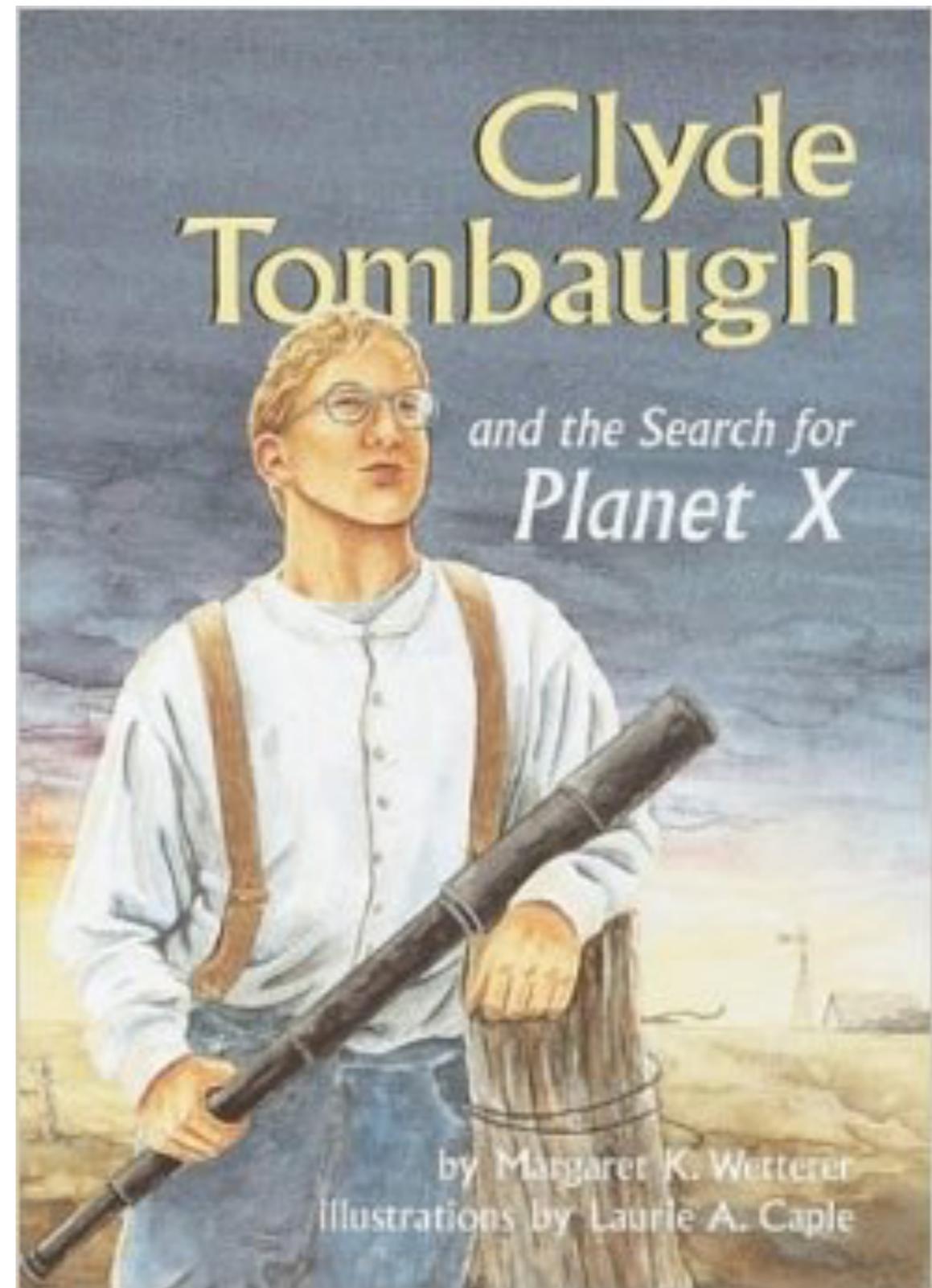
Adams
LeVerrier

'Look into the place which I have indicated, and you will see the planet well.'



keep it rollin' ...

- 1848 Jacques Babinet $m \sim 13M_{\text{earth}}$ $a \sim 47\text{AU}$
 - 1880 George Forbes $m \sim ?M_{\text{earth}}$ $a \sim 300\text{AU}$
 - 1901 William Pickering $m > 1M_{\text{earth}}$ $a \sim 47\text{AU}$
 - 1916 Percival Lowell $m \sim 7M_{\text{earth}}$ $a \sim 43\text{AU}$ Planet X
- ...
- 1999 Matese, Whitman, Whitmire $m \sim 4M_{\text{jupiter}}$ $a \sim 15,000\text{ AU}$
 - 2012 Gomes $m \sim 20M_{\text{earth}}$ $a \sim 1,500\text{ AU}$
 - 2014 Trujillo, Sheppard $m \sim 5M_{\text{earth}}$ $a \sim 250\text{ AU}$



Clyde Tombaugh (1906-1997)

NINTH PLANET DISCOVERED ON EDGE OF SOLAR SYSTEM; FIRST FOUND IN 84 YEARS

LIES FAR BEYOND NEPTUNE

Sighted Jan. 21 After 25 Years' Search Begun by Late Percival Lowell.

SEEN AT FLAGSTAFF, ARIZ.

Observatory Staff There Spots It by Special Photo-Telescope — Makes Thorough Check.

ASTRONOMERS HAIL FINDING

The Sphere, Possibly Larger Than Jupiter and 4,000,000,000 Miles Away, Meets Predictions.

By The Associated Press.

FLAGSTAFF, Ariz., March 13.—In the little cluster of orbs which scampers across the sidereal abyss under the name of the solar system there are, be it known, nine instead of a mere eight, worlds.

The presence of a ninth planet in the retinue of the sun, long suspected, was definitely announced here to-

New Planet Compared With Earth and Neptune

Size:

Earth—8,000 miles in diameter.
Neptune—32,000.

New Planet—8,000 or more.

Distance from Sun:

Earth—One astronomical unit.
Neptune—Thirty astronomical units.

New Planet—About fifty units.

Speed of Revolution:

Earth—19 miles a second.
Neptune—3½ miles a second.
New Planet—From 1 to 2 miles a second.

Time of Revolution:

Earth—One year.
Neptune—146 Earth-years (entire revolution not yet observed).

New Planet—Probably 300 to 600 years.

Note—These figures on the new planet are tentative, based upon computations of astronomers here on the Flagstaff announcement.

M'DONALD RALLIES NAVAL CONFERENCE

Prime Minister Devotes Whole Day to Talks With Heads of All the Delegations.

PROHIBITION HAIL BY STAGG AS CI ON POST-WAR Y

Chicago Athletic Dire
Chief Dry Witness in S
Ending in Committee

DRY MEMBER ASSAIL

Celler Is Accused of "Ins
Mrs. Peabody by Cha
She Prompted Speak

ADJOURN FOR COOLIN

Sherwood Came Under
Attacking Anti-Dry Le
as "Fanatics."

Special to The New York WASHINGTON, March 13.—Alonzo Stagg, veteran director of athletics at the University of Chicago, testified before the Judiciary Committee today in favor of improved status of the nation under national prohibition.

Mr. Stagg, who headed the dry witnesses at today's hearing, said he supported the various modification bills introduced by the committee:

"In my judgment, since prohibition has been put into effect, hundreds of thousands more children have had a fairer start in life than during the pre-prohibition days. With the breakdown of the home life and the complexities of new opportunities for being misled, I tremble

Sighted Last 21 After 25 Years' Search Begun by Late Percival Lowell.

SEEN AT FLAGSTAFF, ARIZ.

Observatory Staff There Spots It by Special Photo-Telescope — Makes Thorough Check.

ASTRONOMERS HAIL FINDING

The Sphere, Possibly Larger Than Jupiter and 4,000,000,000 Miles Away, Meets Predictions.

By The Associated Press.

FLAGSTAFF, Ariz., March 13.—In the little cluster of orbs which scampers across the sidereal abyss under the name of the solar system there are, be it known, nine instead of a mere eight, worlds.

The presence of a ninth planet in the retinue of the sun, long suspected, was definitely announced here to

Earth—8,000 miles in diameter.
Neptune—32,000.

New Planet—8,000 or more.

Distance from Sun:

Earth—One astronomical unit.
Neptune—Thirty astronomical units.

New Planet—About fifty units.

Speed of Revolution:

Earth—19 miles a second.
Neptune— $3\frac{1}{2}$ miles a second.
New Planet—From 1 to 2 miles a second.

Time of Revolution:

Earth—One year.
Neptune—146 Earth-years (entire revolution not yet observed).
New Planet—Probably 300 to 600 years.

Note—These figures on the new planet are tentative, based upon computations of astronomers here on the Flagstaff announcement.

M'DONALD RALLIES NAVAL CONFERENCE

Prime Minister Devotes Whole Day to Talks With Heads of All the Delegations.

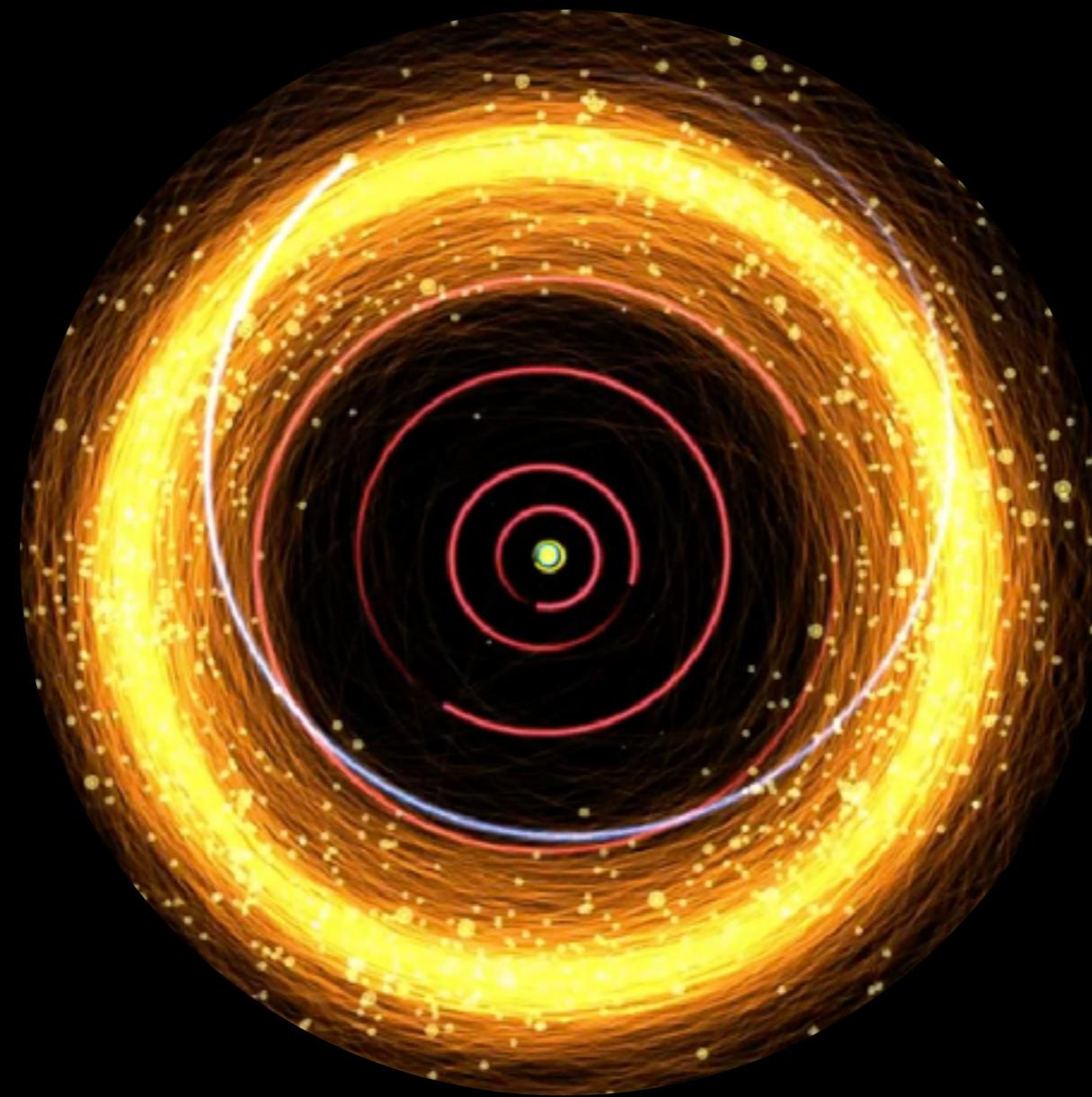
Celler Is Accused
Mrs. Peabody
She Promises

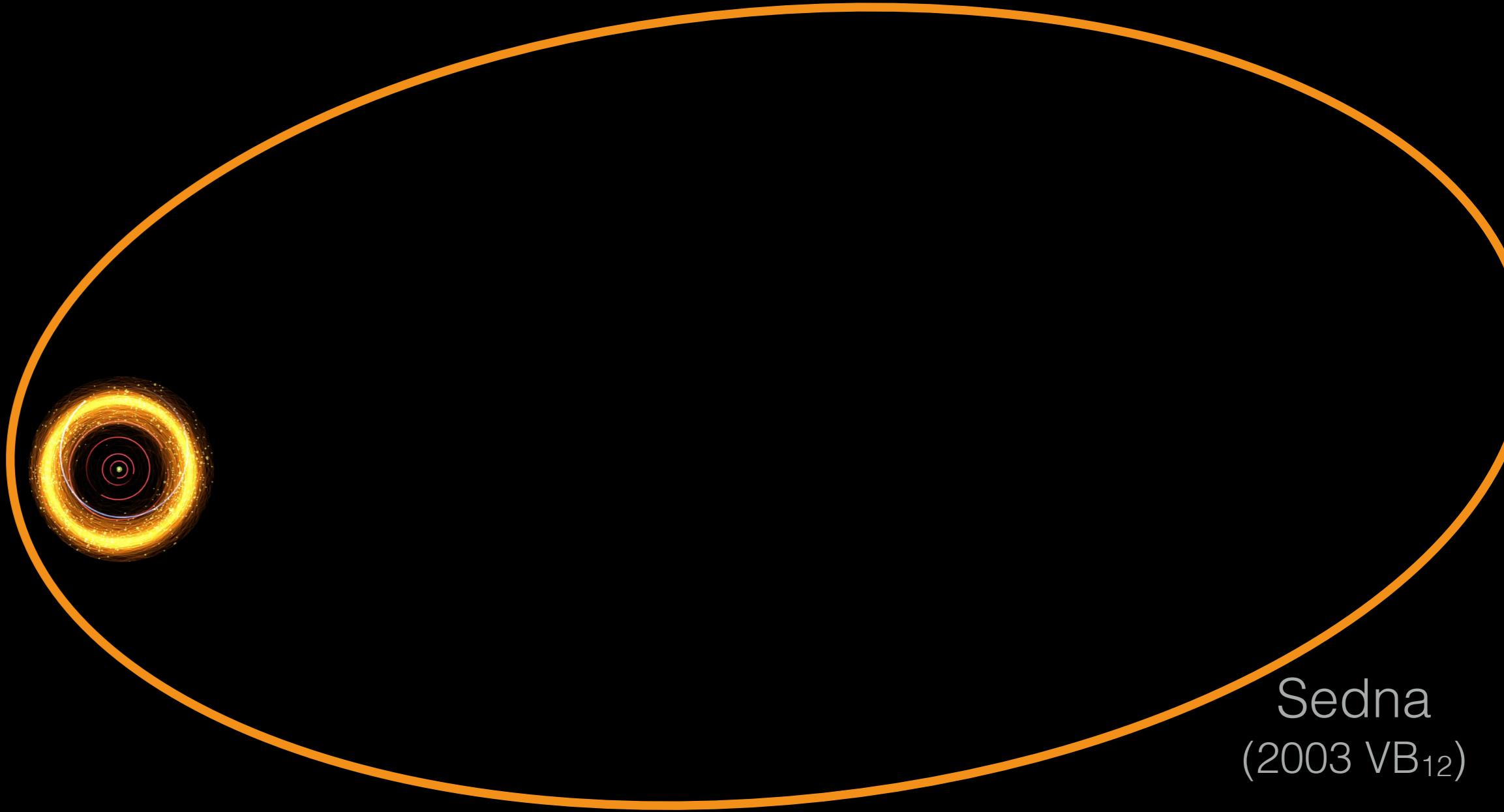
ADJOURN FOR

Sherwood Can
Attacking
as "

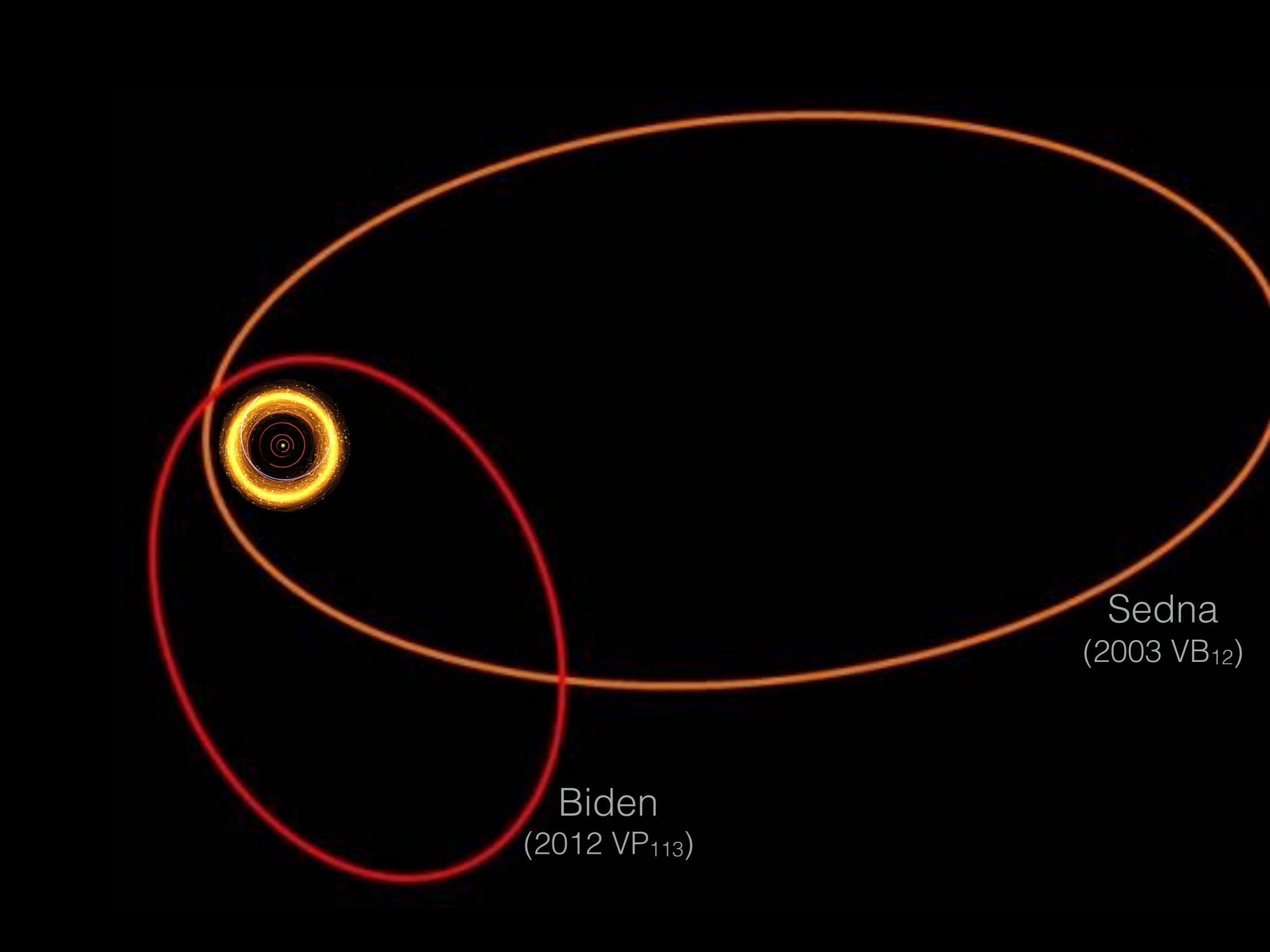
Special to The Times
WASHINGTON, March 13.—Alonzo Stagg, athletics at the Chicago, testified before the Judiciary Committee that the improved status of the national game under national park jurisdiction has been put into effect by the dry witnesses at the various meetings of the committee:

"In my judgment, the game has been put into effect by the thousands more fairer start in pre-prohibition days. The down of the home teams in the complexities of the game for being mislead





Sedna
(2003 VB₁₂)

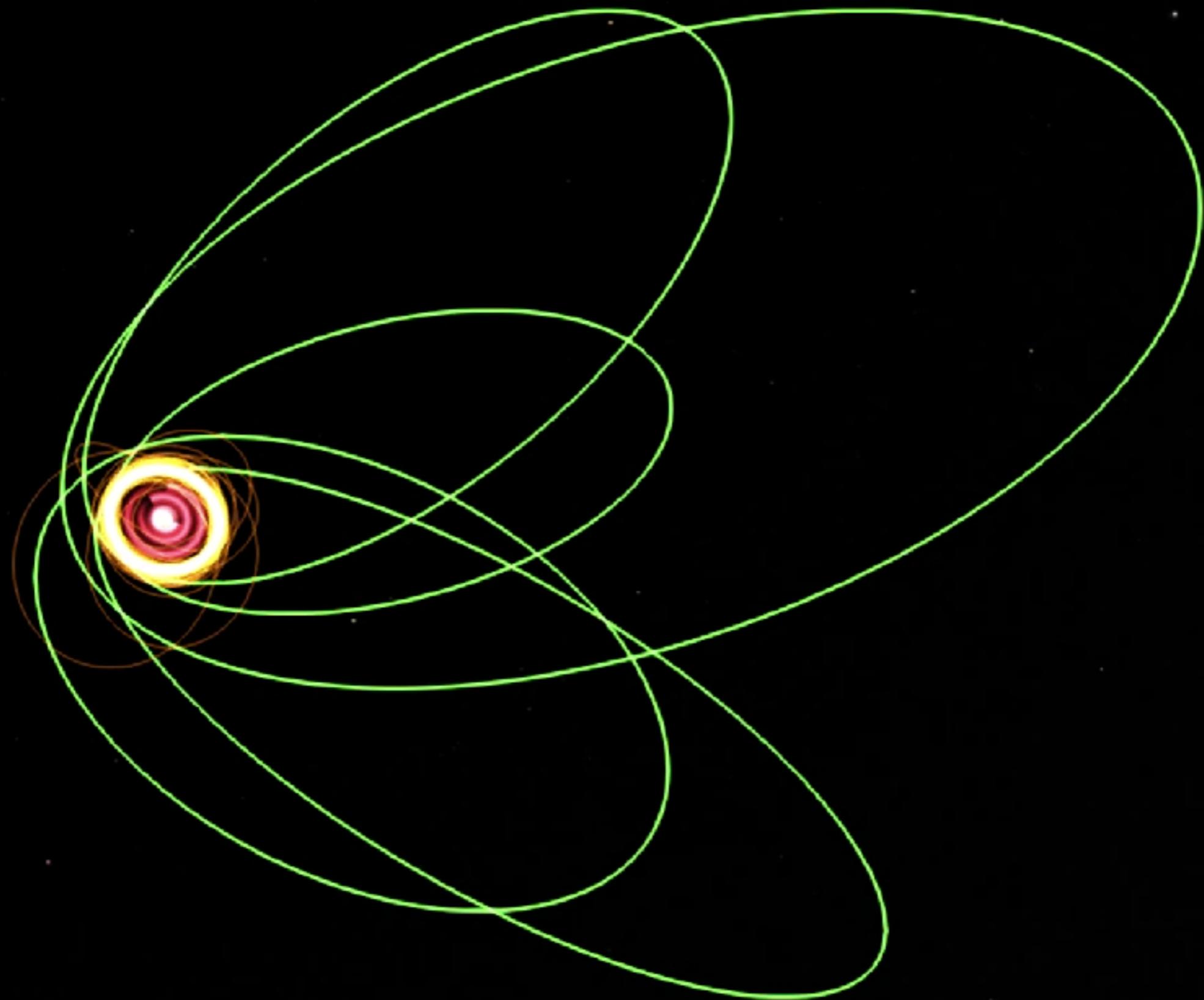


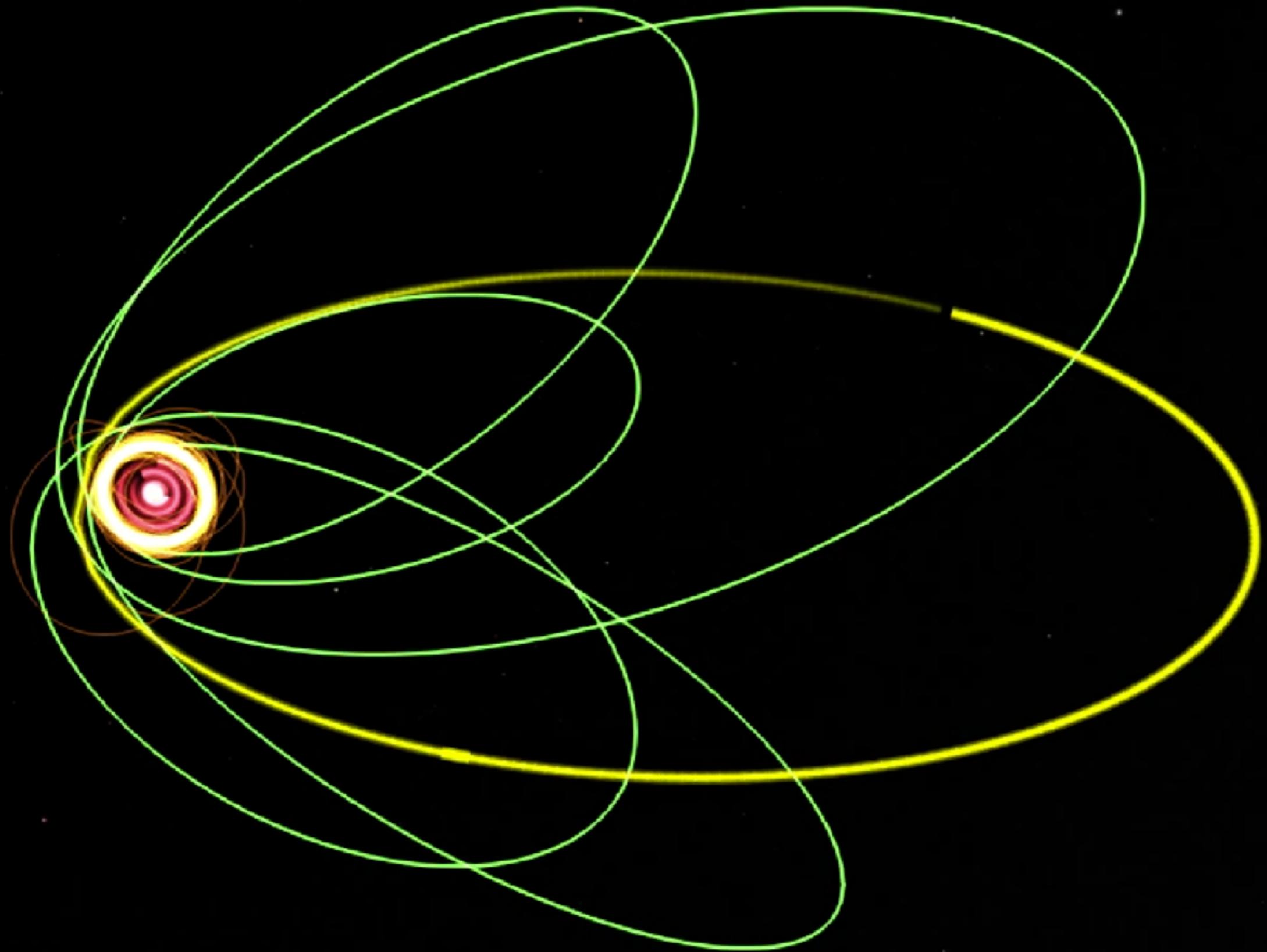
Sedna
(2003 VB₁₂)

Biden
(2012 VP₁₁₃)



Strange things are happening beyond ~250 AU





EVIDENCE FOR A DISTANT GIANT PLANET IN THE SOLAR SYSTEM

KONSTANTIN BATYGIN AND MICHAEL E. BROWN

Division of Geological and Planetary Sciences, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91125, USA; kbatygin@gps.caltech.edu

Received 2015 November 13; accepted 2016 January 10; published 2016 January 20

$$\mathcal{H}_{\text{TP}} = -\frac{1}{4} \frac{GM}{\alpha} \left[\frac{1}{\sqrt{1-e^2}} \right]^3 \sum_i \frac{m_i \alpha_i^2}{M \alpha^2} \rightarrow \frac{P_{\text{tp}}}{P_{\text{orb}}} = \frac{4}{3} (1-e^2)^2 \sum_i \frac{M \alpha_i^2}{m_i \alpha_i^2}$$

$$\mathcal{H} = -\frac{1}{4} \frac{GM}{\alpha} \left[(1-e^2)^{-3/2} \right] \sum_i \frac{m_i \alpha_i^2}{M \alpha^2} - \frac{Gm'}{\alpha'} \left[\frac{1}{4} \left(\frac{\alpha}{\alpha'} \right)^2 \frac{1+3e^2/2}{(1-(e')^2)^{3/2}} \right]$$

Action transformation
- $\frac{15}{16} \left(\frac{\alpha}{\alpha'} \right)^3 ee' \frac{1+3e^2/4}{(1-(e')^2)^{5/2}} \cos(\bar{\omega}' - \bar{\omega}) \right]$

$$\Rightarrow \mathcal{H} = -\frac{1}{4} \frac{GM}{\alpha} (1-e^2)^{-3/2} \sum_i \frac{m_i \alpha_i^2}{M \alpha^2} + \sqrt{GM\alpha} (1-\sqrt{1-e^2})$$

$$- \frac{Gm'}{\alpha'} \left[\frac{1}{4} \left(\frac{\alpha}{\alpha'} \right) \frac{1+3e^2/2}{(1-e'^2)^{3/2}} - \frac{15}{16} \left(\frac{\alpha}{\alpha'} \right)^3 ee' \frac{1+3e^2/4}{(1-e^2)^{5/2}} \cos(\Delta\bar{\omega}) \right]$$

AUTONOMOUS, Semi-regular, i.e.

Type-2 generating function

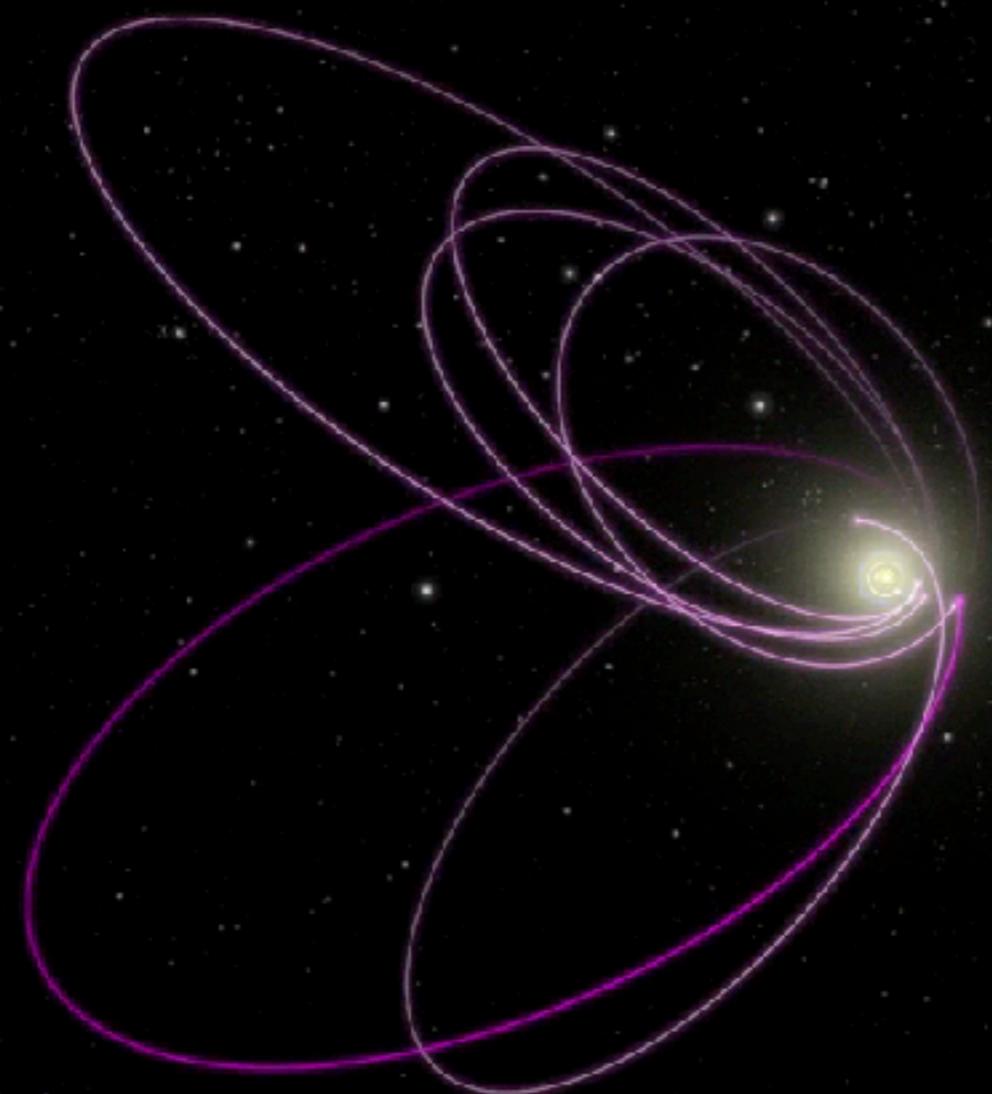
$$F_2 = \bar{\Phi}(\sqrt{t} - \bar{\omega})$$

$$\text{where } \sqrt{t} = \bar{\omega}'/t = \frac{\partial \mathcal{H}_{\text{TP}}}{\partial \bar{\omega}}$$

↓ new Action-angle coordinates

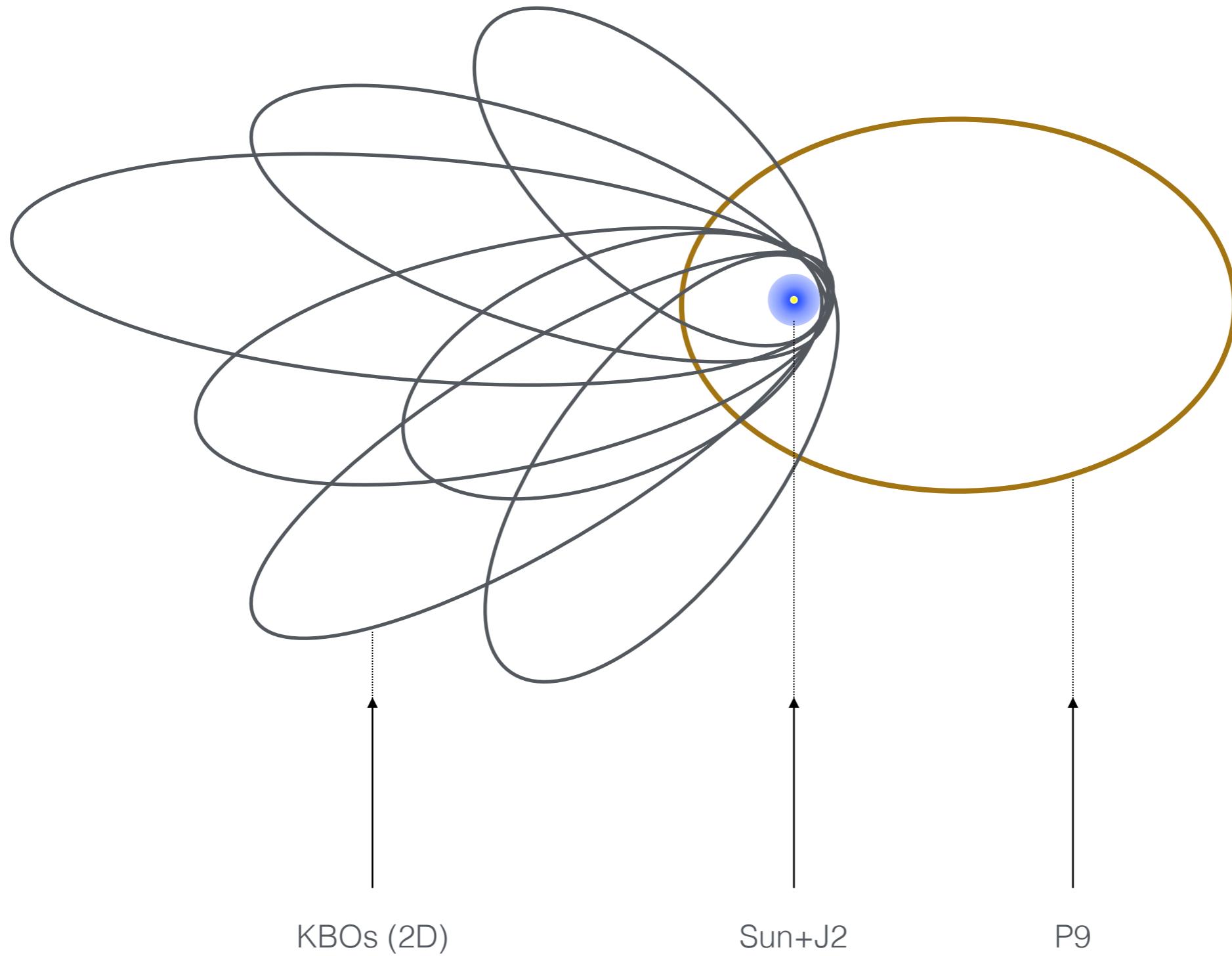
$$\bar{\Phi} = \sqrt{GM\alpha} (1-\sqrt{1-e^2})$$

$$\varphi = \bar{\omega}' - \bar{\omega}$$

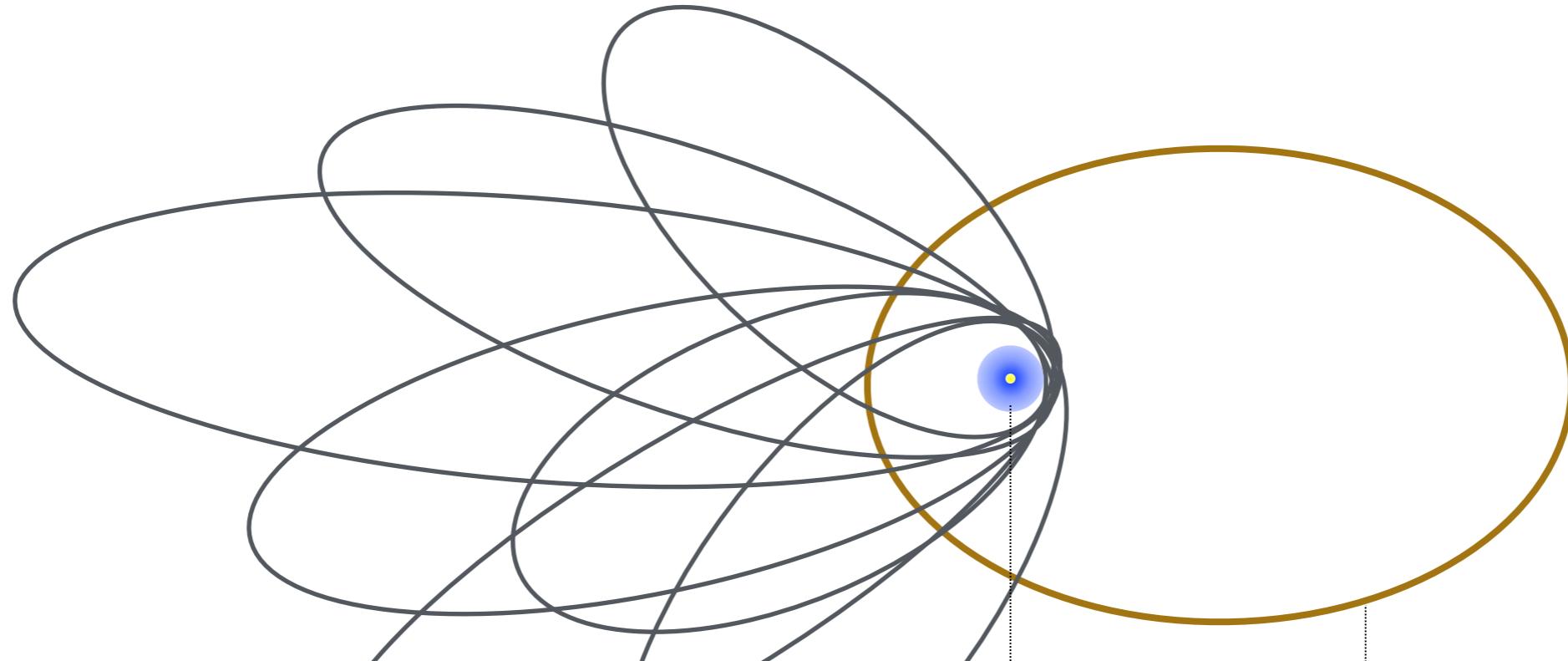
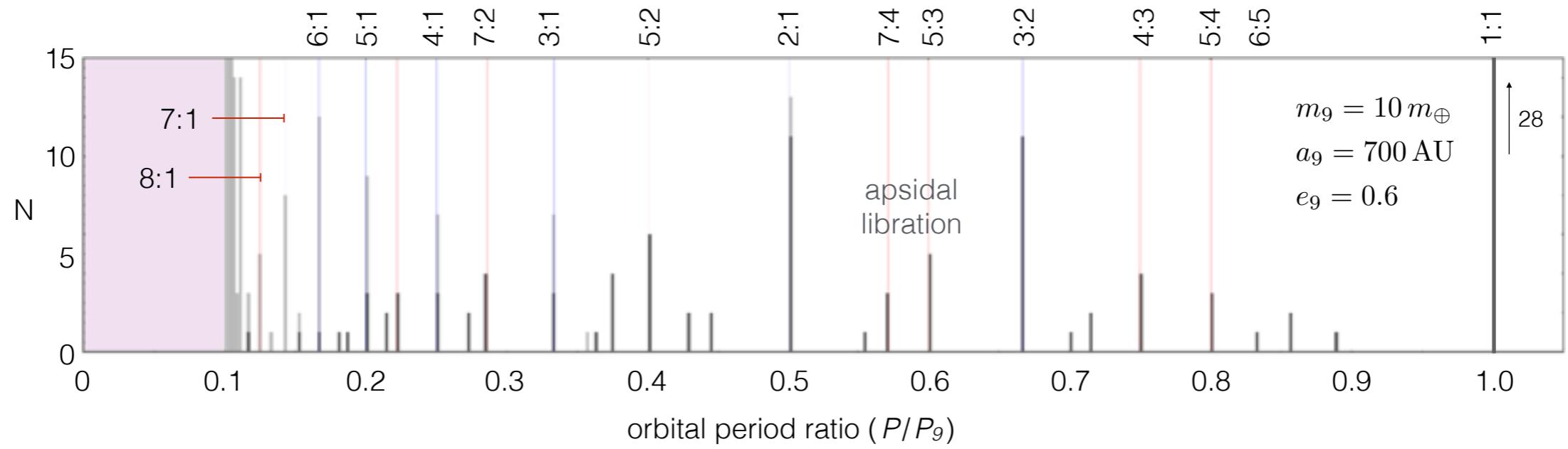


a key challenge: characterize P9-KBO dynamics

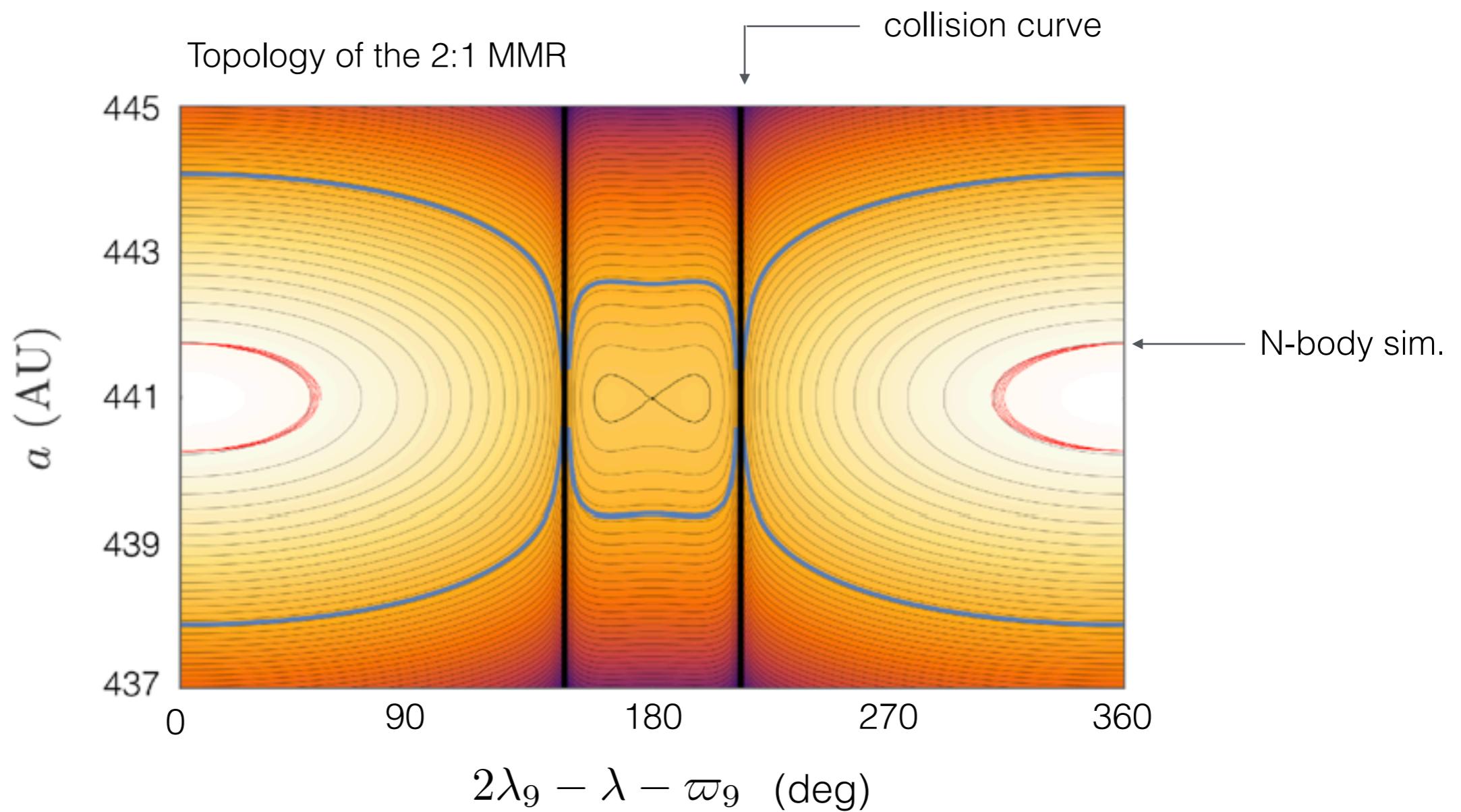
dynamics: a 2D toy model



after 4 Gyr...

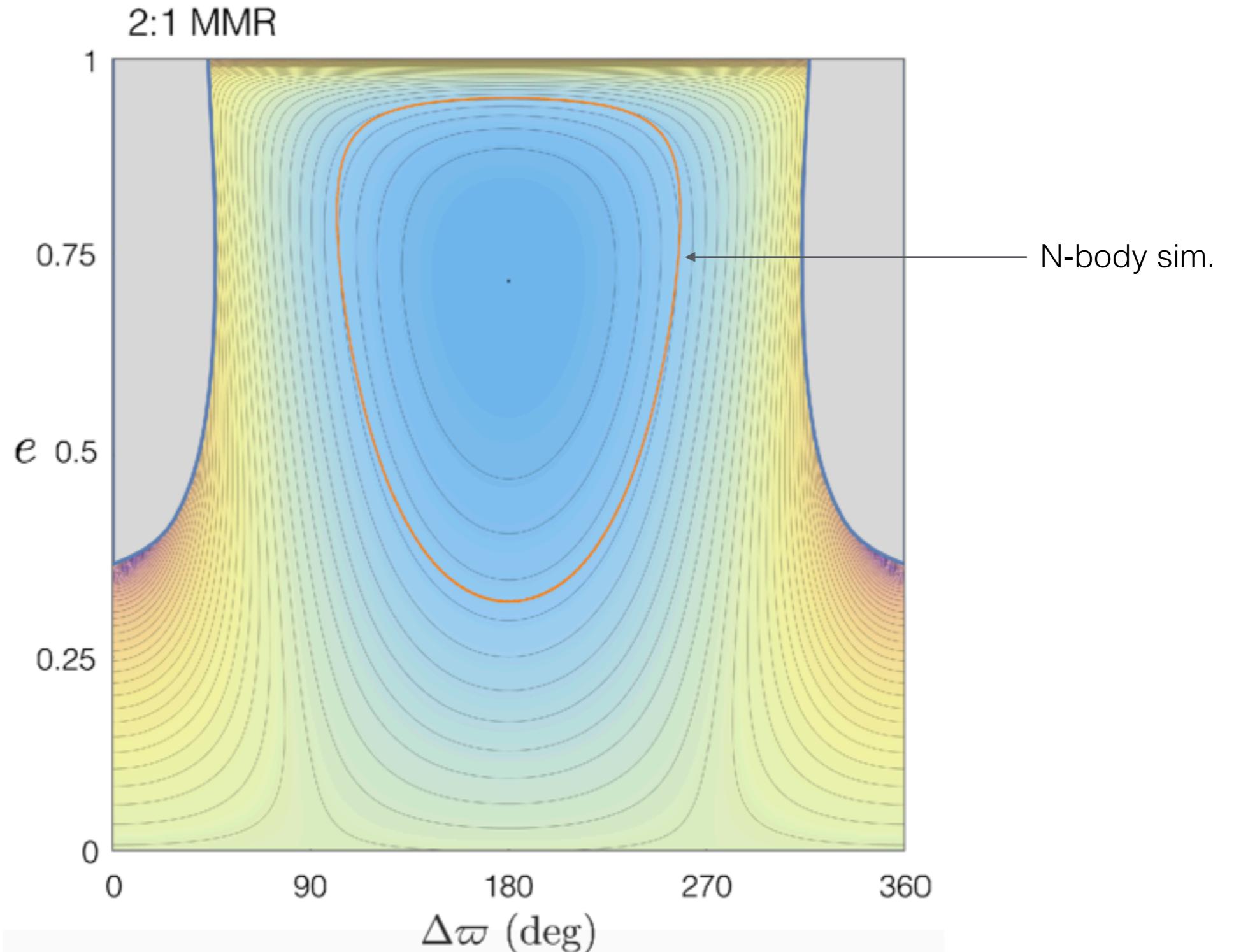


Resonant Dynamics



$$\mathcal{H} = -\frac{\mathcal{G}M}{2a} - n_9 \left(\frac{p}{q} \right) \sqrt{\mathcal{G}M a} - \frac{\mathcal{G}m_9}{2\pi q} \int_0^{2\pi q} \left(\frac{1}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_9|} - \frac{\mathbf{r} \cdot \mathbf{r}_9}{|\mathbf{r}_9|^3} \right) \Big|_{\Delta\varpi=\pi} d\lambda_9$$

Resonant Secular Dynamics



$$\mathcal{H} = -\frac{1}{4} \frac{\mathcal{G} M}{a} \frac{1}{(1-e^2)^{3/2}} \sum_{j=5}^8 \frac{m_j a_j^2}{M a^2} + \left(\frac{d\varpi_9}{dt} \right) \sqrt{\mathcal{G} Ma} (1 - \sqrt{1-e^2}) - \frac{\mathcal{G} m_9}{2\pi q} \int_0^{2\pi q} \left(\frac{1}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_9|} - \frac{\mathbf{r} \cdot \mathbf{r}_9}{|\mathbf{r}_9|^3} \right) \Big|_{\phi_{\text{res}}} d\lambda_9$$

Dynamical Evolution Induced by Planet Nine

Konstantin Batygin¹ and Alessandro Morbidelli²

¹ Division of Geological and Planetary Sciences, California Institute of Technology, 1200 E. California Blvd., Pasadena, CA 91125, USA

² Laboratoire Lagrange, Université Côte d'Azur, Observatoire de la Côte d'Azur, CNRS, CS 34229, F-06304 Nice, France

Received 2017 August 10; revised 2017 October 2; accepted 2017 October 3; published 2017 MM DD

Purely secular

$$\mathcal{F}_S = -\frac{1}{4} \frac{GM_0}{a} \frac{1}{(1-e^2)^{3/2}} \sum_{j \neq 1} \frac{m_j a_j^2}{R a_j^2} m_j$$
$$+ \dot{\omega} \sqrt{GM_0} (1 - \sqrt{1 - e^2})$$
$$- \frac{1}{4\pi^2} \iint \frac{GM_0}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} M d\mathbf{r}'$$

$\Rightarrow A_1 \cos \varphi_1 = A_2 \cos \varphi_2$ Poincaré

$$\Rightarrow J = \sqrt{GM_0} \quad \lambda = M - \omega$$
$$R = \sqrt{GM_0(1 - \sqrt{1 - e^2})} \quad \delta = -\omega$$
$$H_P = -\frac{GM_0}{2a} - n_a \left(\frac{k}{\ell} \right) \sqrt{GM_0}$$
$$J = \frac{GM_0}{2\pi} \int \left(\frac{1}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} - \frac{n_a}{|\mathbf{r}'|^2} \right) d\mathbf{r}'$$

Angular velocity ω

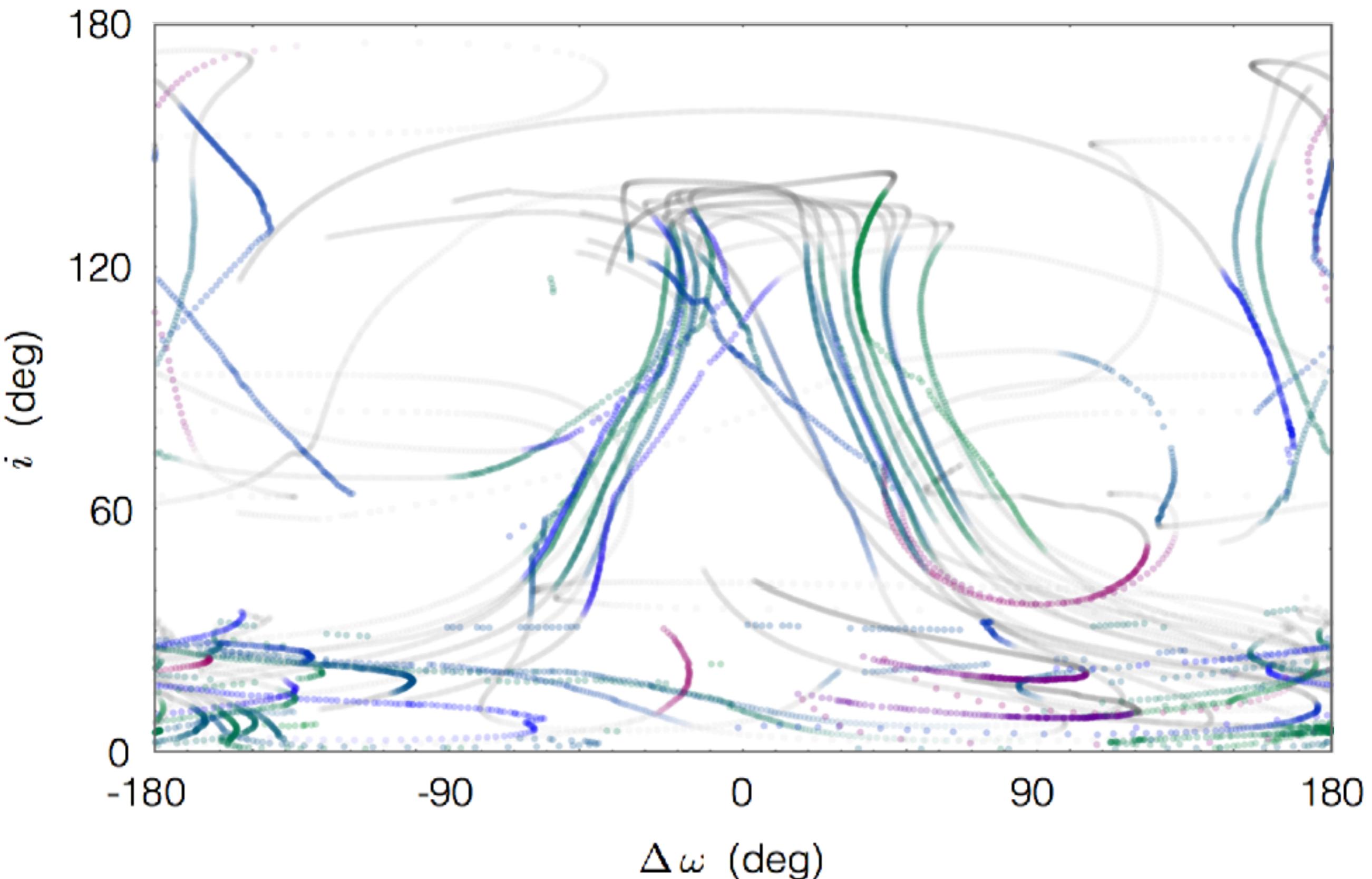
Anti-aligning dynamics

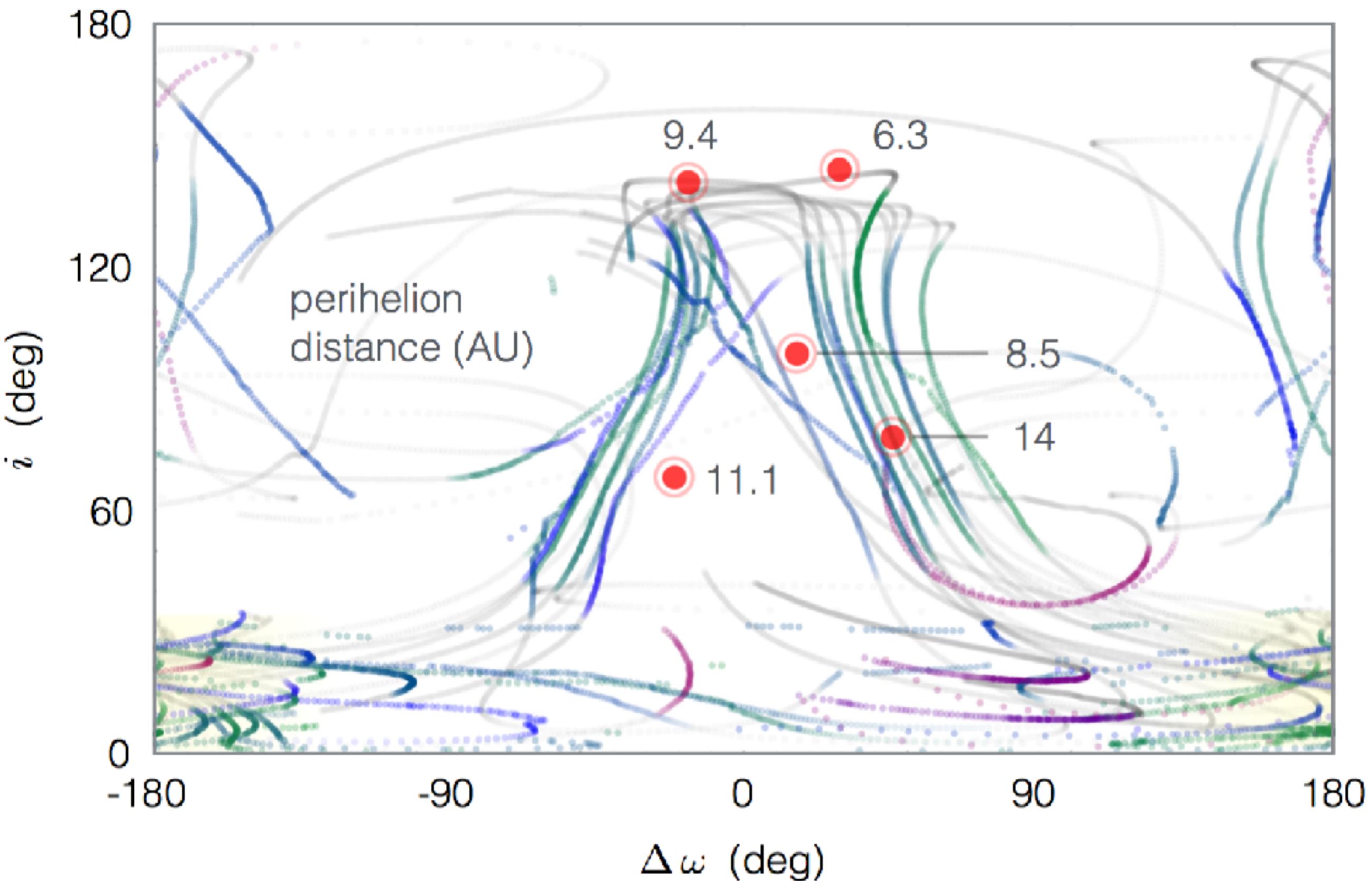
aligned dynamics

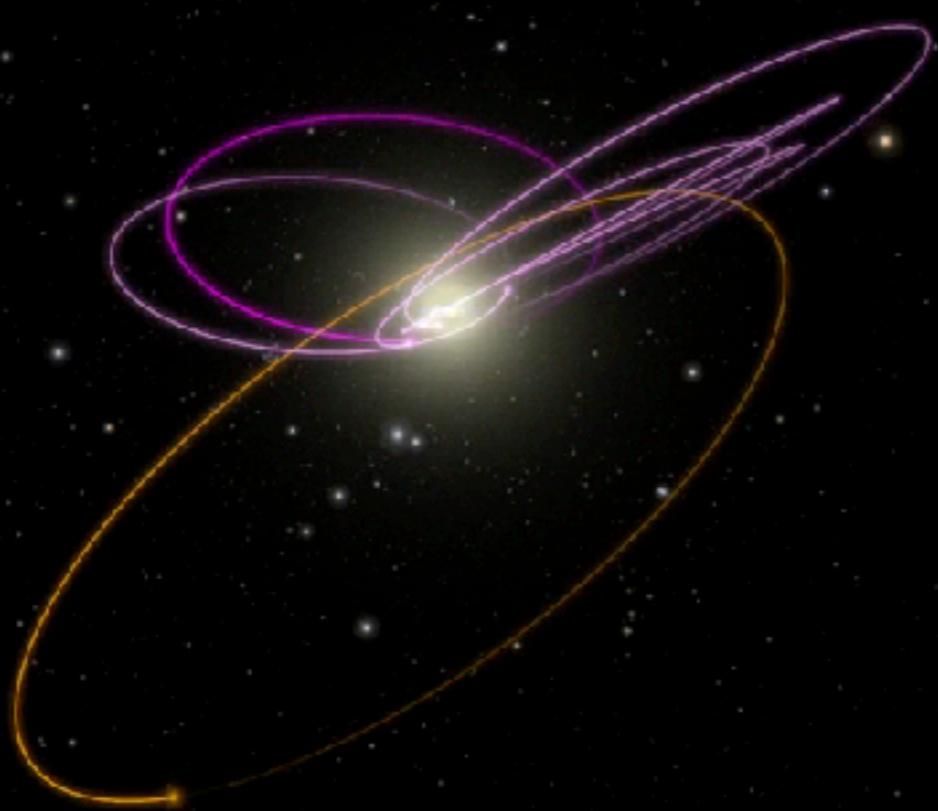
ADIABATIC INVARIANT

$J = \int \frac{1}{\ell} \Lambda d\theta_{\text{per}}$

B+







Meet Niku, the Object No One Can Figure Out

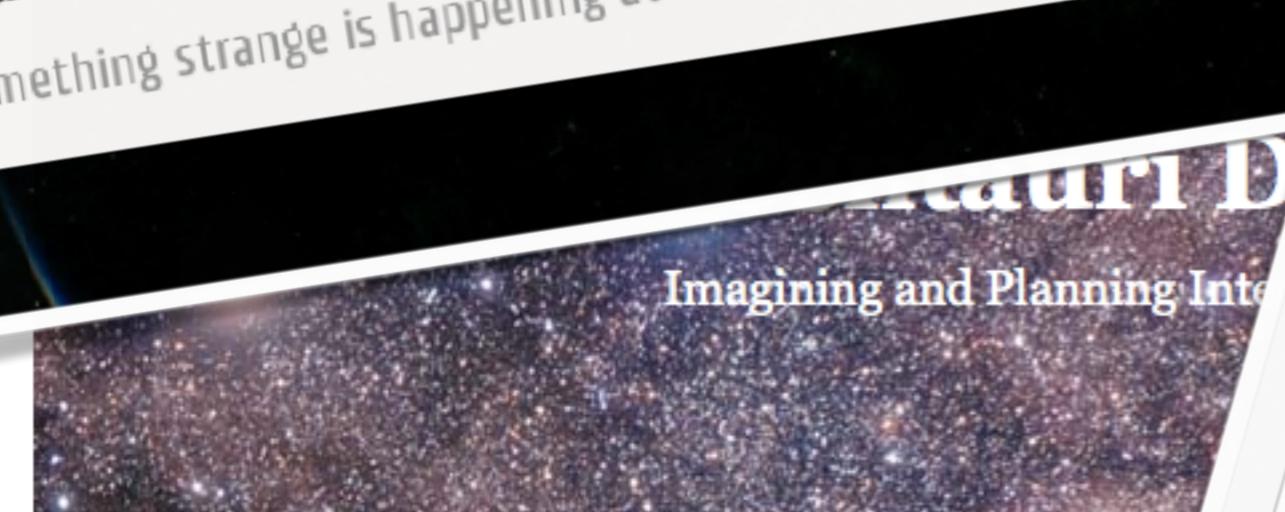
Something strange is happening at the outer reaches of the solar system.

By Paul Gilster | August 15, 2016

Imagining and Planning Inter-

Niku: A 'Rebellious' Trans-Neptunian Object

by PAUL GILSTER on AUGUST 15, 2016

BEYOND NEPTUNE, ORBITING THE SUN IN THE OPPOSITE DIRECTION  A recent study has found that beyond the orbit of Neptune there exists a population of Trans-Neptunian Objects (TNOs) substantially altered by Neptune's gravity over the last half of the 20th century. This is the first time such a population has been identified.



Article Updated: 26 Sep , 2016
by Matt Williams

Beyond the orbit of Neptune, the farthest recognized-planet-like body in the solar system, lies a mysterious population known as the Trans-Neptunian Objects (TNOs). Astronomers have been discovering bodies and minor planets influenced by Neptune's gravity, and orbit our Sun at an average distance of about 30 astronomical units.

There's an unidentified object past Neptune, and no one can figure out what it is.  The outer Solar System just got even more interesting. On Aug. 11, 2016, Peter Dockrill reported on Space.com that an unnamed object had been discovered beyond the orbit of Neptune.

PETER DOCKRILL 11 AUG 2016

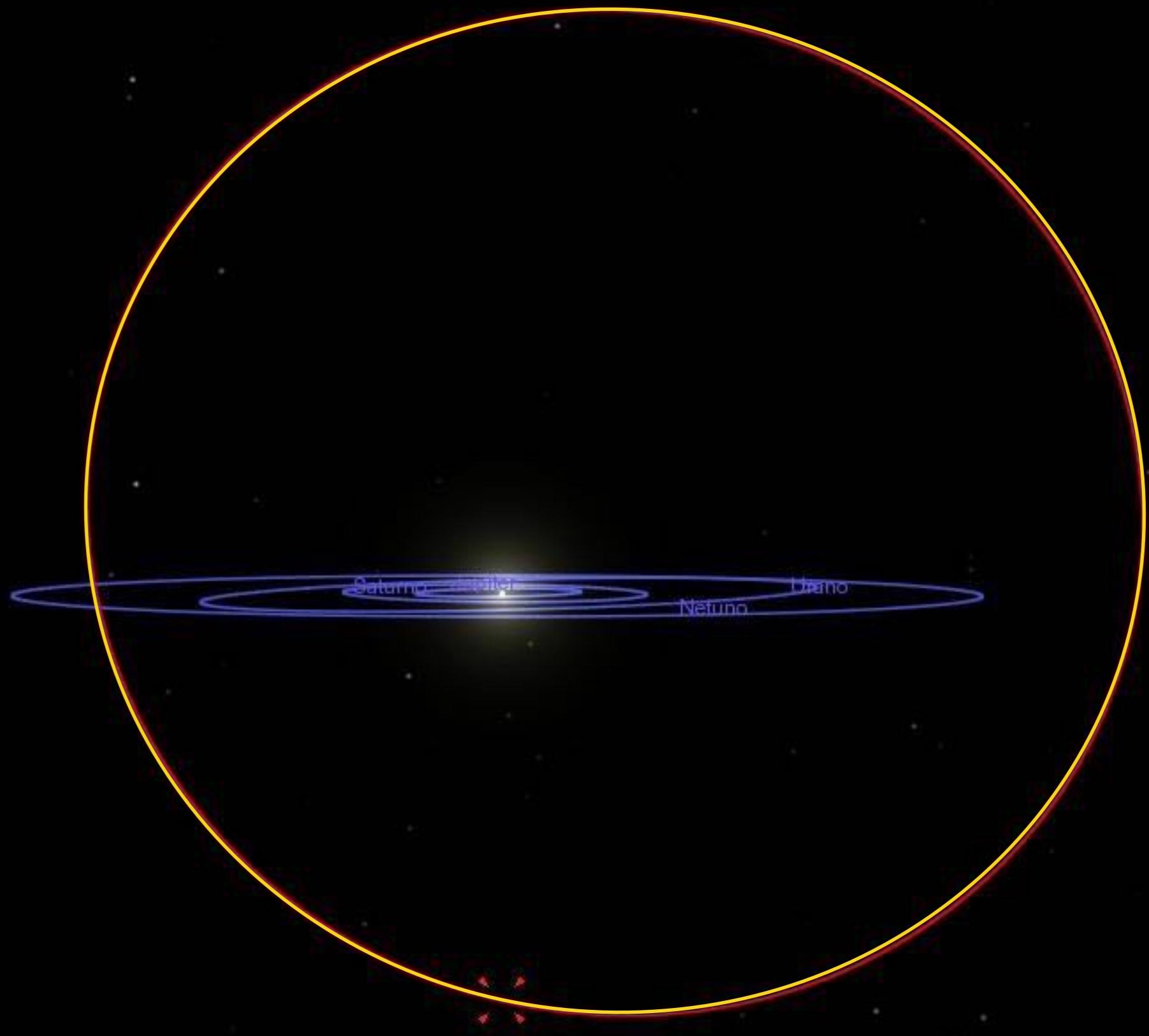


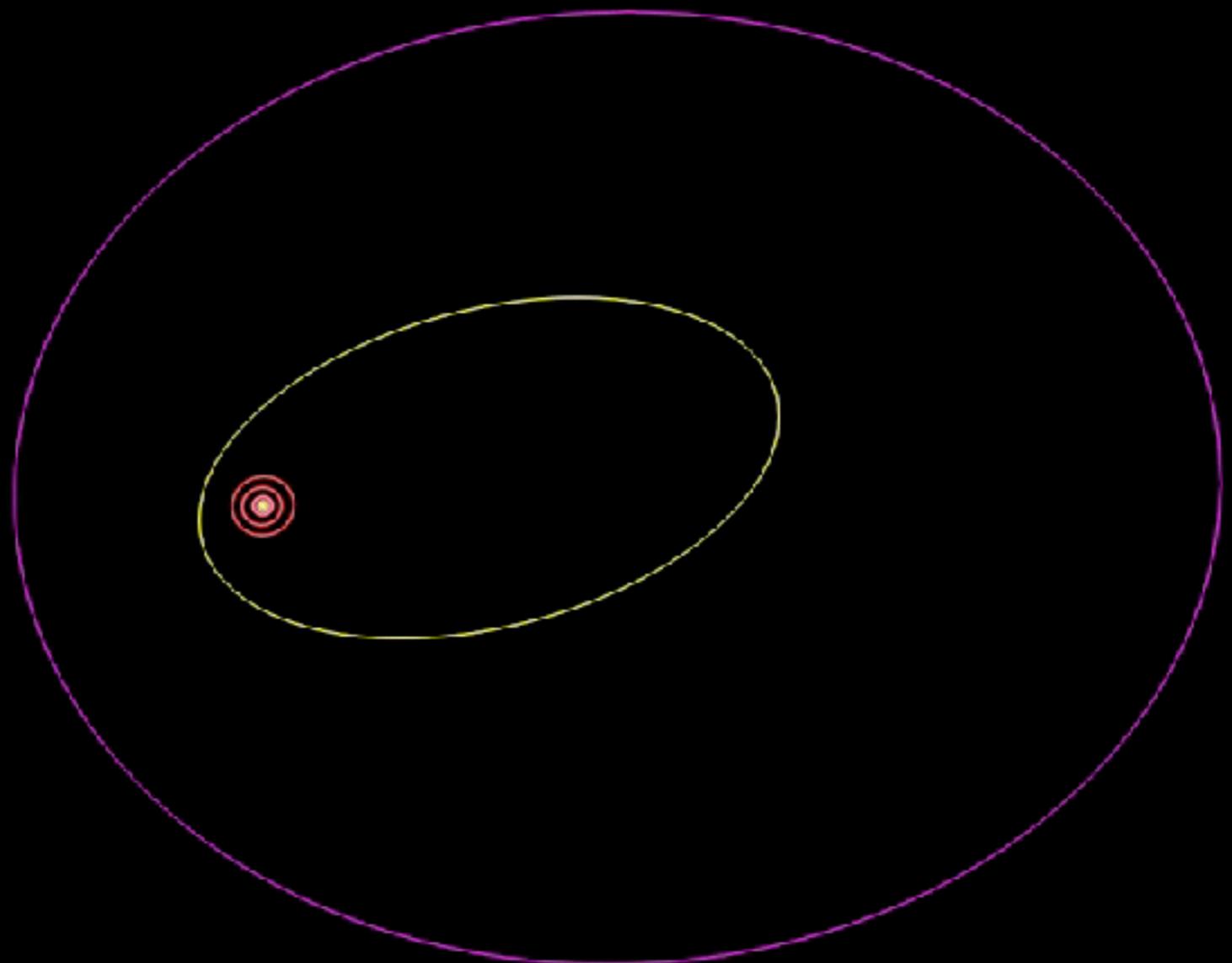
SPACE.com

Space.com > Science & Astronomy

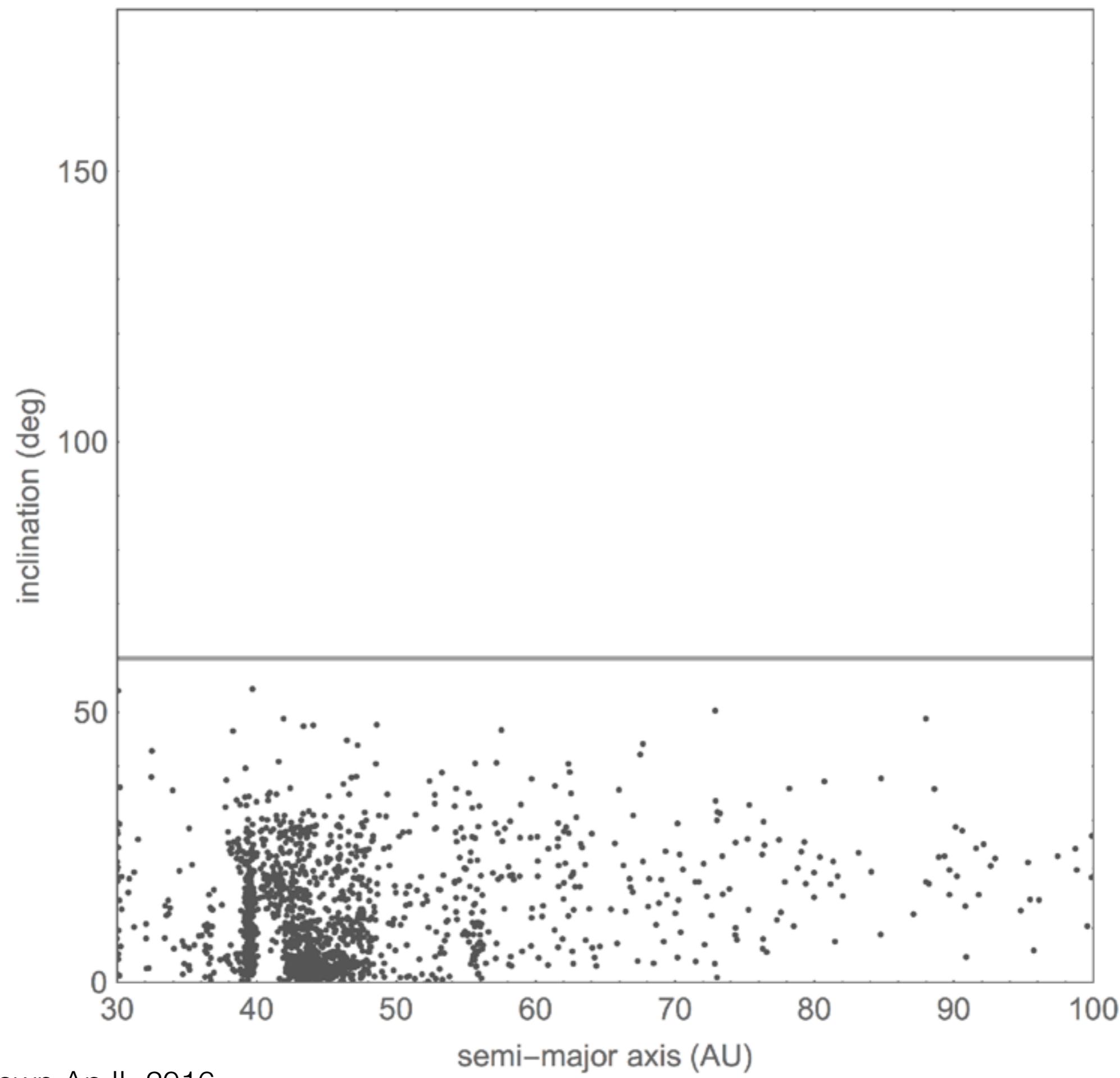
What's Up with 'Niku'? Object's Weird Orbit Puzzles Scientists

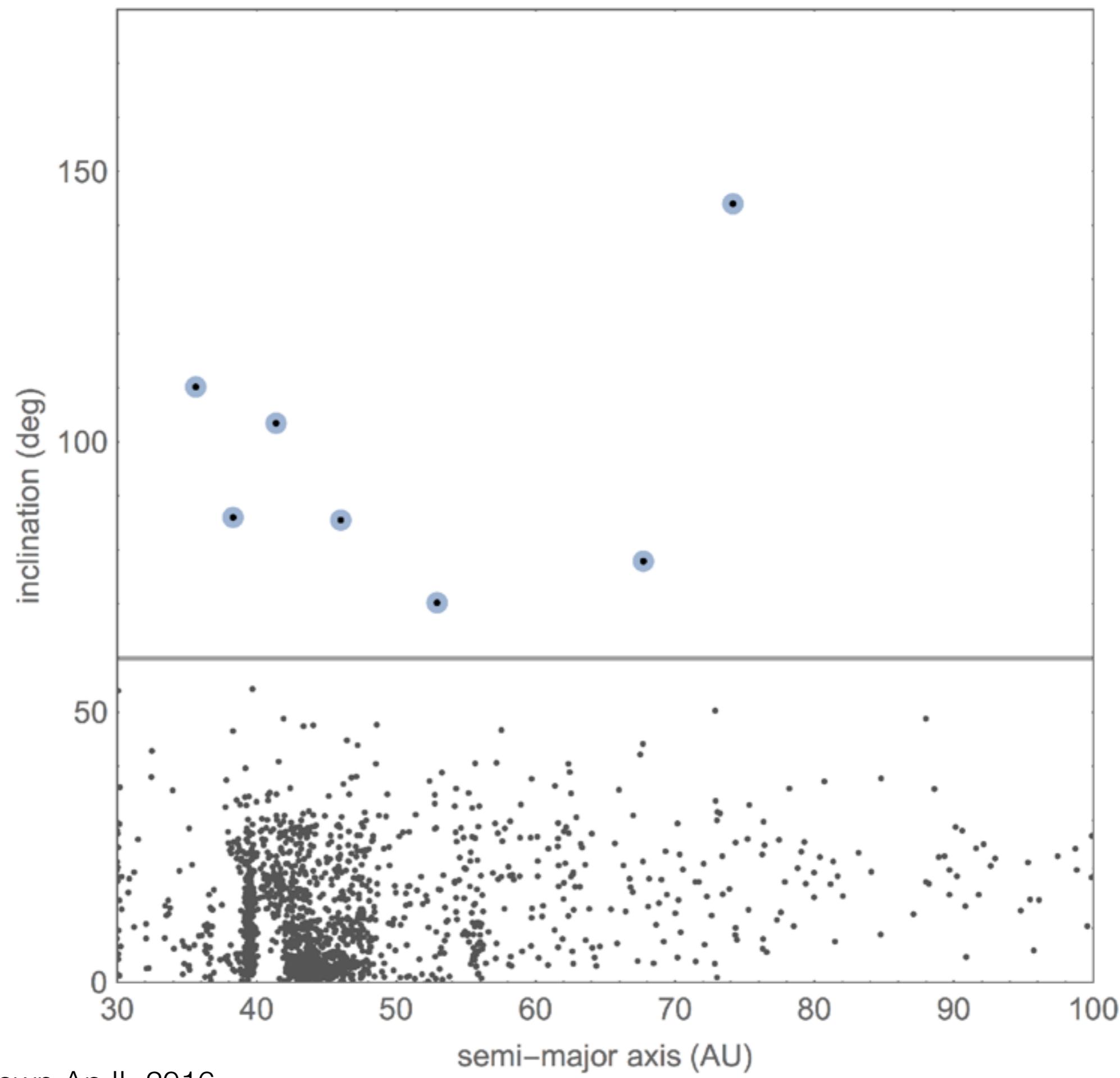
By Charles Q. Choi, Space.com Contributor | October 24, 2016 01:19pm ET

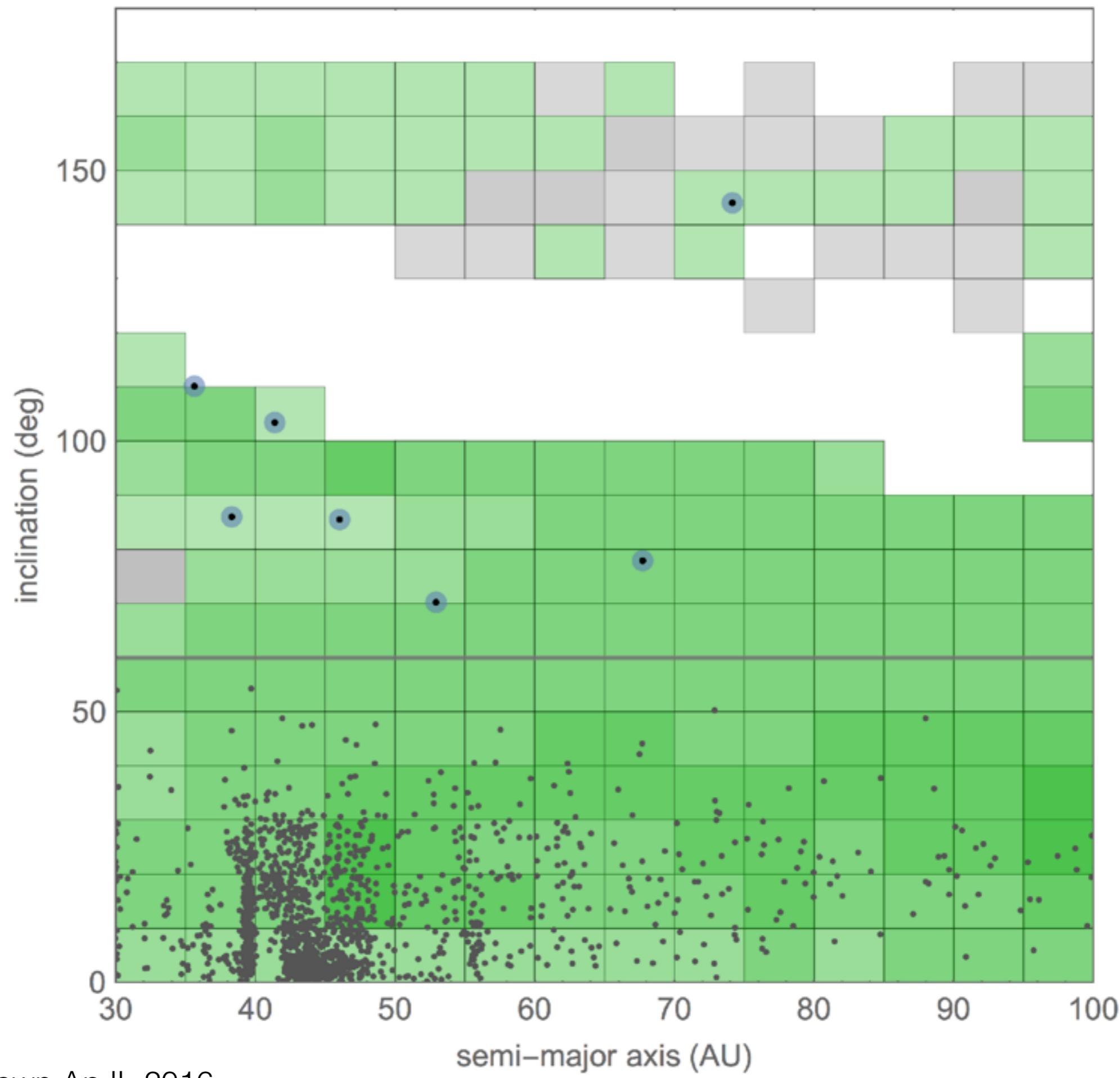


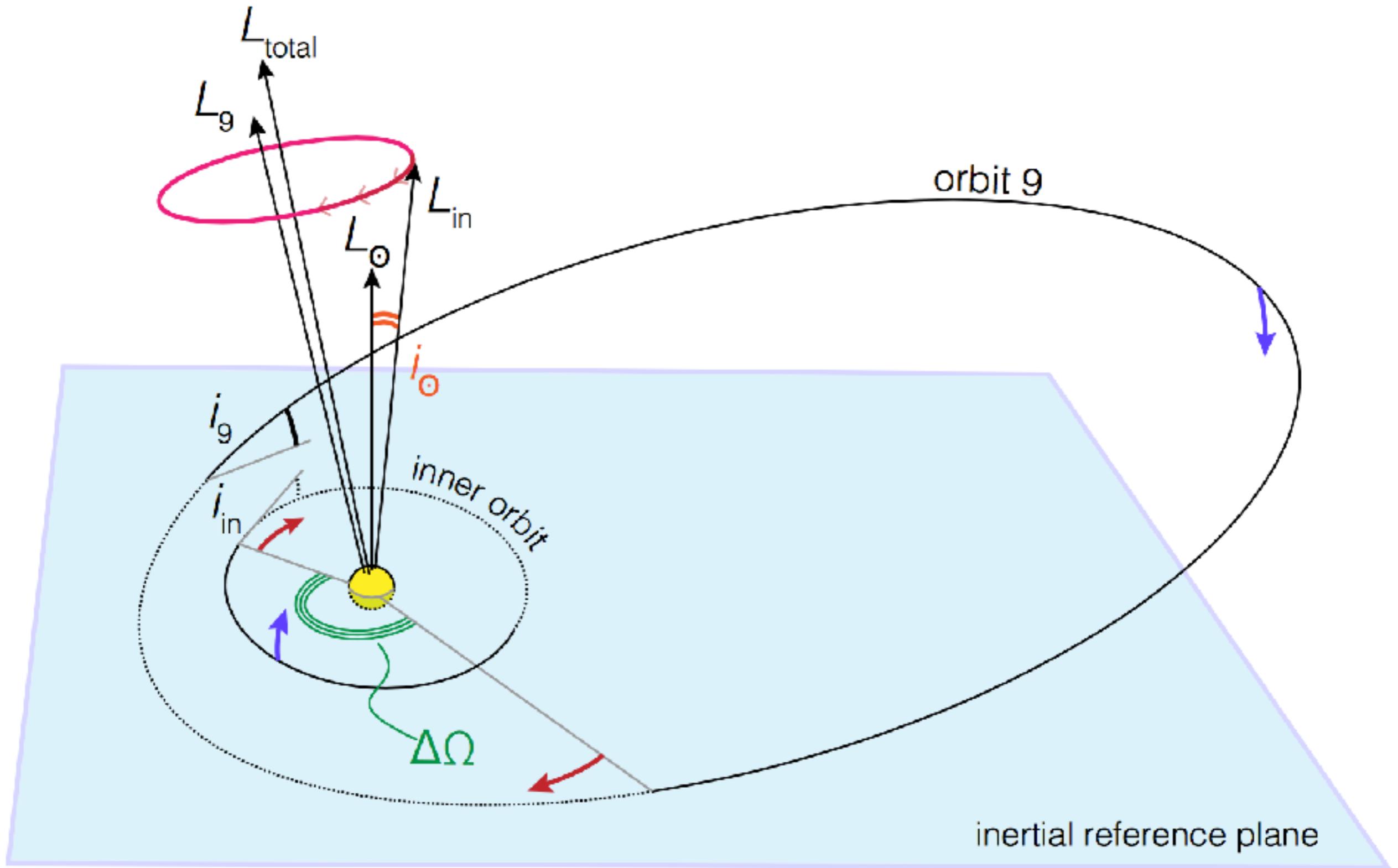


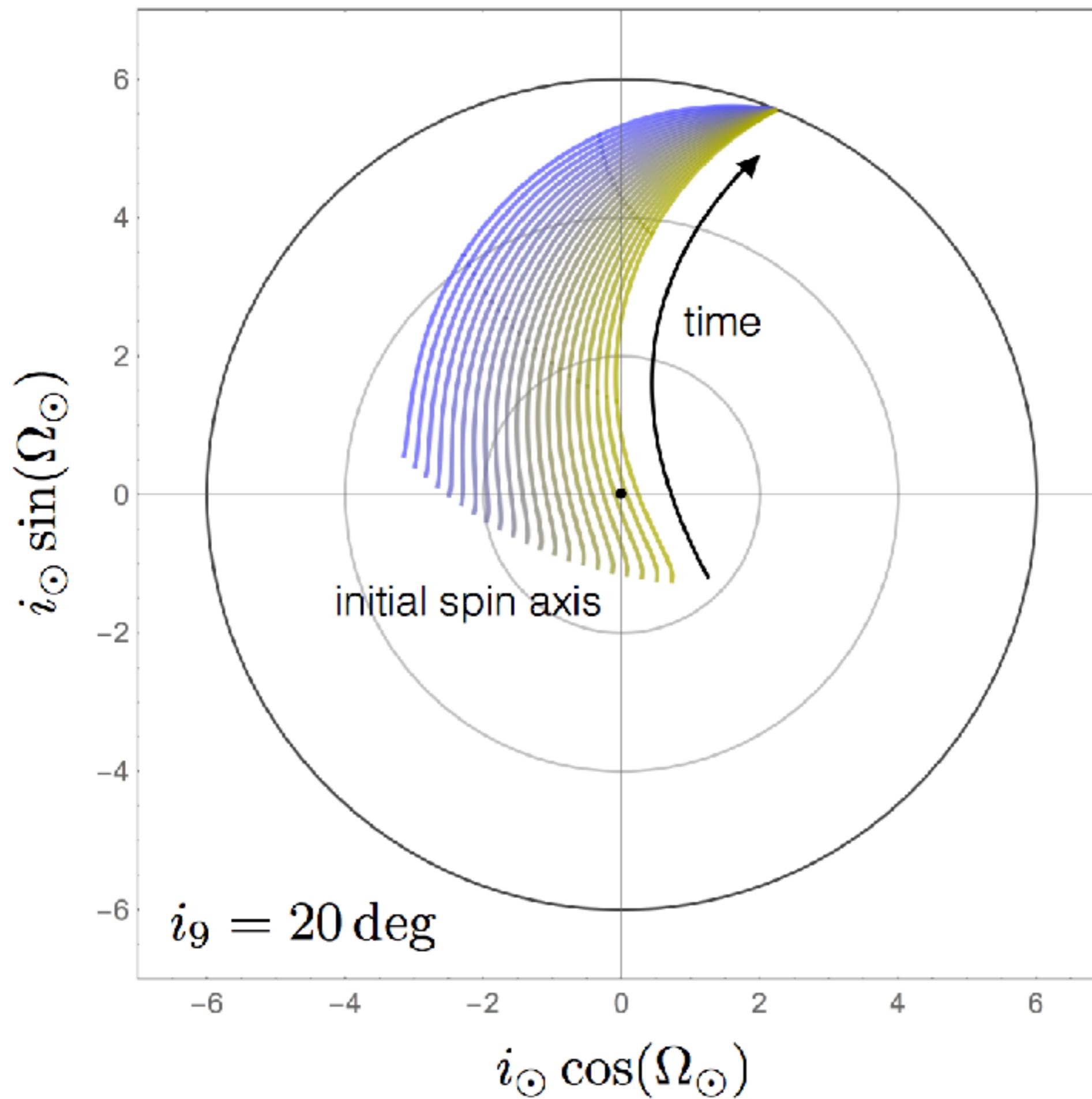
Mark Subbarao (Adler) Konstantin Batygin (Caltech) Mike Brown (Caltech)











Planet Nine

Period $\sim 20,000$ years

Mass $\sim 10 \times$ Earth

Radius $\sim 2 - 4 \times$ Earth

Eccentricity ~ 0.6

Inclination ~ 30 deg

Magnitude ~ 24

Planet Nine

Clustering of long orbits

Sedna-type orbits

Highly inclined centaurs

Niku-type orbits

Solar obliquity





