LOOKING FOR PLANET 9

a status update

K.B., M. Brown, R. Mardling, A. Morbidelli, D. Nesvorny

TONU

Récits de données

Evénements

Prix scientifiques

Concours d’images

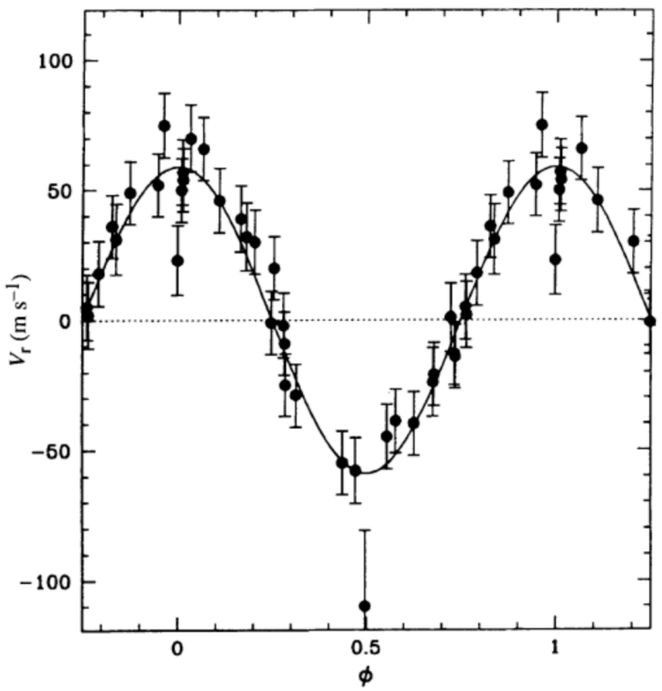
S’abonner à la newsletter

Service de presse

Comment le duo Mayor-Queloz a-t-il remporté le prix Nobel?

Contact

Division Communication
E-Mail: com@snf.ch



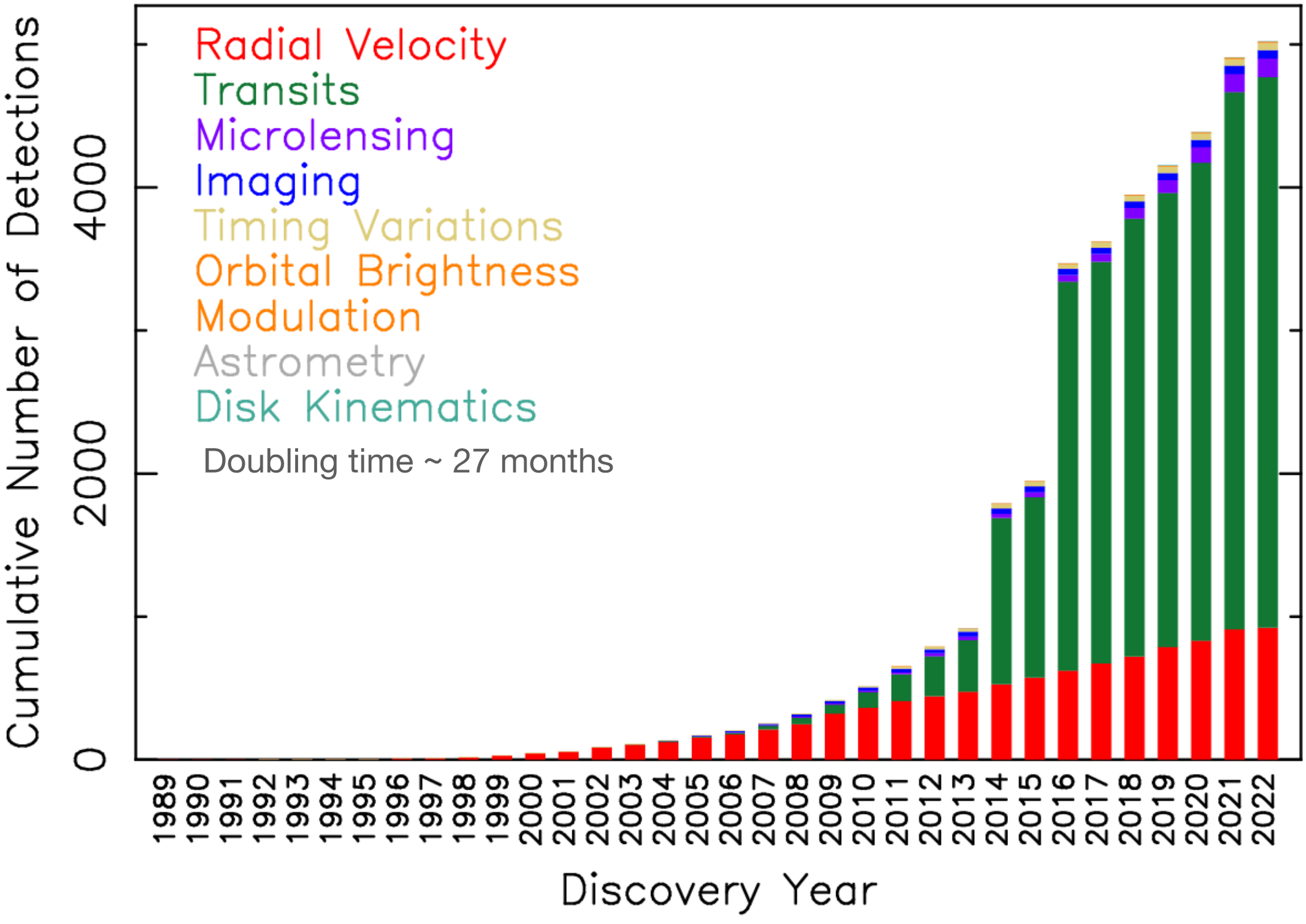
10.12.2019

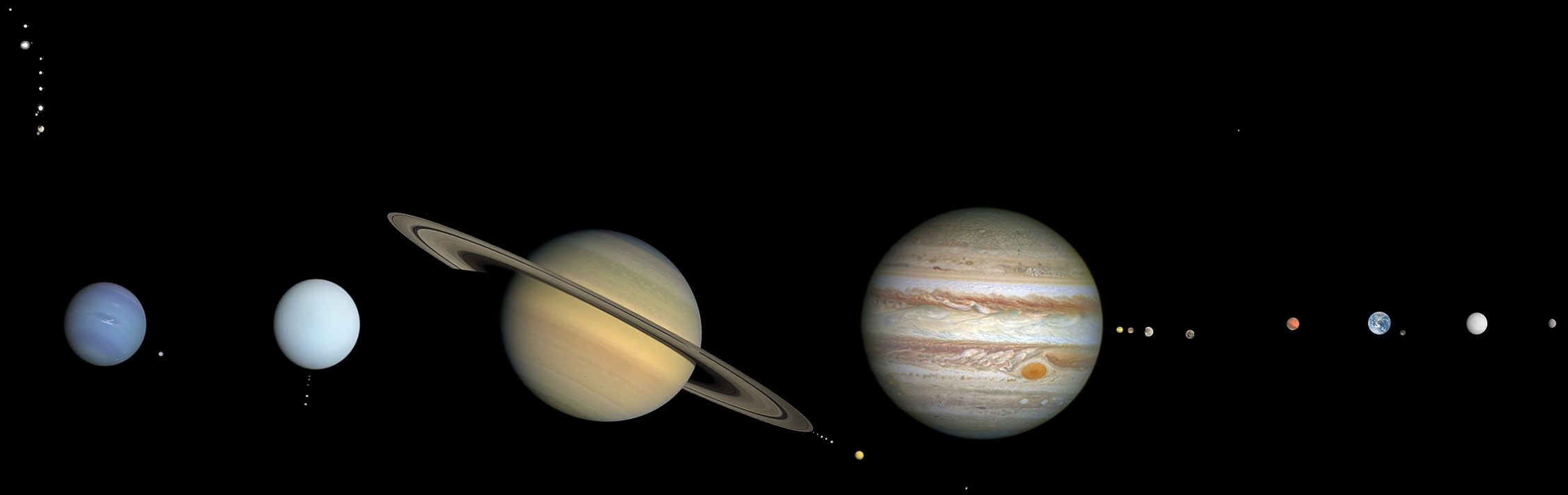
Les planétologues Michel Mayor et Didier Queloz recevront le prix Nobel ce soir. Citations de deux chercheurs courageux que le FNS a soutenus sur plusieurs décennies.

Les astrophysiciens genevois Michel Mayor (77 ans) et Didier Queloz (53 ans) ont mené courageusement leurs recherches, sans avoir d’application précise en tête et ont ainsi révolutionné la théorie qui régnait à l’époque sur la formation des planètes. Le prix Nobel de physique leur est décerné aujourd’hui à Stockholm. Les deux

Cumulative Detections Per Year

05 May 2022
exoplanetarchive.ipac.caltech.edu





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 Mme Ve Courcier, Libraires pour les Sciences, Rue du Jardinet-Saint-André-des-Arcs.

1821.

63 BS div.

Bouvard Tabl. astron

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 :

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

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

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

$$\text{I.....}\begin{cases}+(59427'',54-t.0'',3216)\sin(\varphi''-\varpi'')\\+(1733,14-t.0,0188)\sin2(\varphi''-\varpi'')\\+(70,08-t.0,0011)\sin3(\varphi''-\varpi'')\\+(3,25-t.0,0001)\sin4(\varphi''-\varpi'')\\+(0,16-t.0,0000)\sin5(\varphi''-\varpi'').\end{cases}$$

$$\text{II.....}\begin{cases}+68'',55\sin(\varphi'-\varphi''+23°,56)-12'',49.\sin2(\varphi'-\varphi'')\\-2'',55\sin3(\varphi'-\varphi'')-0'',72\sin4(\varphi'-\varphi'')-0'',24\sin5(\varphi'-\varphi'').\end{cases}$$

$$\text{III.....}\begin{cases}-(436'',41-t.0'',034)\sin(\varphi'-2\varphi''+79°,28+t.48'',7)\\-5'',07\sin(2\varphi'-4\varphi''+42°,87).\end{cases}$$

$$\text{IV.....}\quad+160'',92\sin(\varphi-\varphi'')-0'',59\sin2(\varphi-\varphi'').$$

$$\text{V.....}\quad-10,60.\sin(\varphi-2\varphi''-16°,50).$$

$$\text{VI.....}\quad+7,79.\sin(2\varphi'-3\varphi''+25°,92).$$

$$\text{VII.....}\quad+4,07.\sin(\varphi'+5°,09).$$

$$\text{VIII.....}\quad+3,89.\sin(2\varphi-\varphi''-11°,49).$$

$$\text{IX.....}\quad+3,81.\sin(\varphi+14°,87).$$

$$\text{X.....}\quad+2,86.\sin(2\varphi'-5\varphi''+75°,99).$$

$$\text{XI.....}\quad+2,55.\sin(2\varphi'-\varphi''-81°,89).$$

$$\text{XII.....}\quad+1,38.\sin(3\varphi'-4\varphi''+26°,24).$$

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.	Années.	Erreurs.	Années.	Erreurs.	Années.	Erreurs.	Années	Erreurs.
1690	+ 98″7	1783	+ 16″7	1792	— 13″0	1803	— 44″5	1814	+ 41″3
1712	+ 62,0	1784	+ 19,4	1793	— 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	1794	— 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	+ 50,9	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 longtems, 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 Tems 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)

Faillander

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 approximativement connu, il faut, premièrement, en la basant sur les lois de la gravitation universelle, et en tenant compte de l'influence de toutes les masses, rattacher avec soin la forme des expressions analytiques propres à représenter à une époque quelconque le mouvement de l'astre. Il faut, en second lieu, ~~en outre~~ disposer d'une série ~~suivie 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 les valeurs précises des constantes qui sont restées indéterminées dans les formules, et qu'on a pu réduire au plus petit nombre possible.

Les expressions analytiques des coordonnées d'Uranus se composent d'une partie, elliptique, due au mouvement elliptique, et des perturbations qu'elles éprouvent de la part de Planètes. Il ne sera question ici que des Planètes connues, parmi lesquelles Saturne et Jupiter sont les seules qui aient une influence sensible. Nous nous occuperons de déterminer les perturbations dues aux actions de ces deux Planètes.

On a généralement, dans la publication des recherches astronomiques, adopté le précieux usage de faire part aux lecteurs de tous les renseignements qui sont propres à l'éclairer sur la valeur des approximations qu'elles ont soumises. Je suis, sans aucun doute, me conformer à cet usage. L'importance de la question que j'examine, la nature des résultats auxquels je parviendrai, me font regarder comme un devoir de ce qui pourra servir à faire passer dans l'esprit des

Rectification de l'Orbite de la Planète en partant de $\delta = 0,51$ et de $\varepsilon' = 280$ grades pour première approximation.

Observations.

1° La racine δ étant toujours petite, égale à 0,001 pour unité, il résulte de mon calcul, que si l'on prend pour le rapport de la distance moyenne d'Uranus à X, $1,51 + \delta$ on aura la perturbation:

$$R = m'\left(20'',4h + 1'',81K + 0'',083\,\delta^2\right)\sin\left(n't - nt + \varepsilon' - \varepsilon\right)$$

L'inégalité correspondante de $\frac{1}{r}$ produite par Vénus, réduite à la même unité, et en prenant $\frac{1}{a}$ pour unité de la table Cl. est égale à $2'',44 \times 38,3187 \times 0,324 = 2'',44\,(1,093.91) = 25'',4$. La formule précédente donne pour le même numéro, en y faisant $\delta = 0,516$: elle donne $25'',3$.

L'inégalité de $\frac{1}{r}$ produite par k est de même $29'',59 \times 1,5590h \times 0,324 = 29'',59\,(1,086.81) = 27'',48$. La formule précédente donne pour $\delta = 0,5317$ l'inégalité $27,7$.

Enfin l'inégalité de $\frac{1}{r}$ produite par H est de même $28'',5866h \times 1,9506h \times 0,324 = 28,5866\,(1,800.67) = 18'',0$ et la formule précédente pour $\delta = -1,2806h$ donne $18'',0$. Ainsi la formule précédente est bien exacte.

Soit $n = 4^g,7610$ le moyen mouvement annuel d'Uranus. On aura en grades:

$$n' = n\left\{0,51 + \frac{\delta}{100}\right\}^{\frac{3}{2}}$$
$$= n\,(0,51)^{\frac{3}{2}} + \frac{3}{200}(0,51)^{\frac{1}{2}}\delta + \frac{3}{40000}(0,51)^{-\frac{1}{2}}\delta^2$$

ou bien

$$n' = 1^g,7340 + 0^g,0051.00\,\delta + 0^g,000.250\,\delta^2$$

formule qui pour $\delta = 1$ donnerait $n' = 1^g,7845$ et pour $\delta = 3$ donnerait $n' = 1^g,7892$; nombres qui sont assez peu différents entre eux pour $n\,(0,52)^{\frac{3}{2}}$ et $n\,(0,54)^{\frac{3}{2}}$.

D'où nous déduisons l'inégalité:

$$\delta v = m'\left(20'',2h + 1'',91\delta + 0'',083\,\delta^2\right)\sin\left\{87^g,22 - 3^g,0170\,t + 0^g,0051.00\,\delta t + 0^g,000.250\,\delta t^2 + \delta\varepsilon'\right\}$$

développant le sinus par la formule:

$$\sin(x+K) = \sin x + (0,01708)K\cos x - \frac{(0,01708)^2}{2}K^2\sin x$$

l'inégalité devient en représentant pour l'unité $d\varepsilon' = 10^g = 1'$, pour abréger il faudra multiplier $\delta\varepsilon'$ par $10\,\varepsilon'$

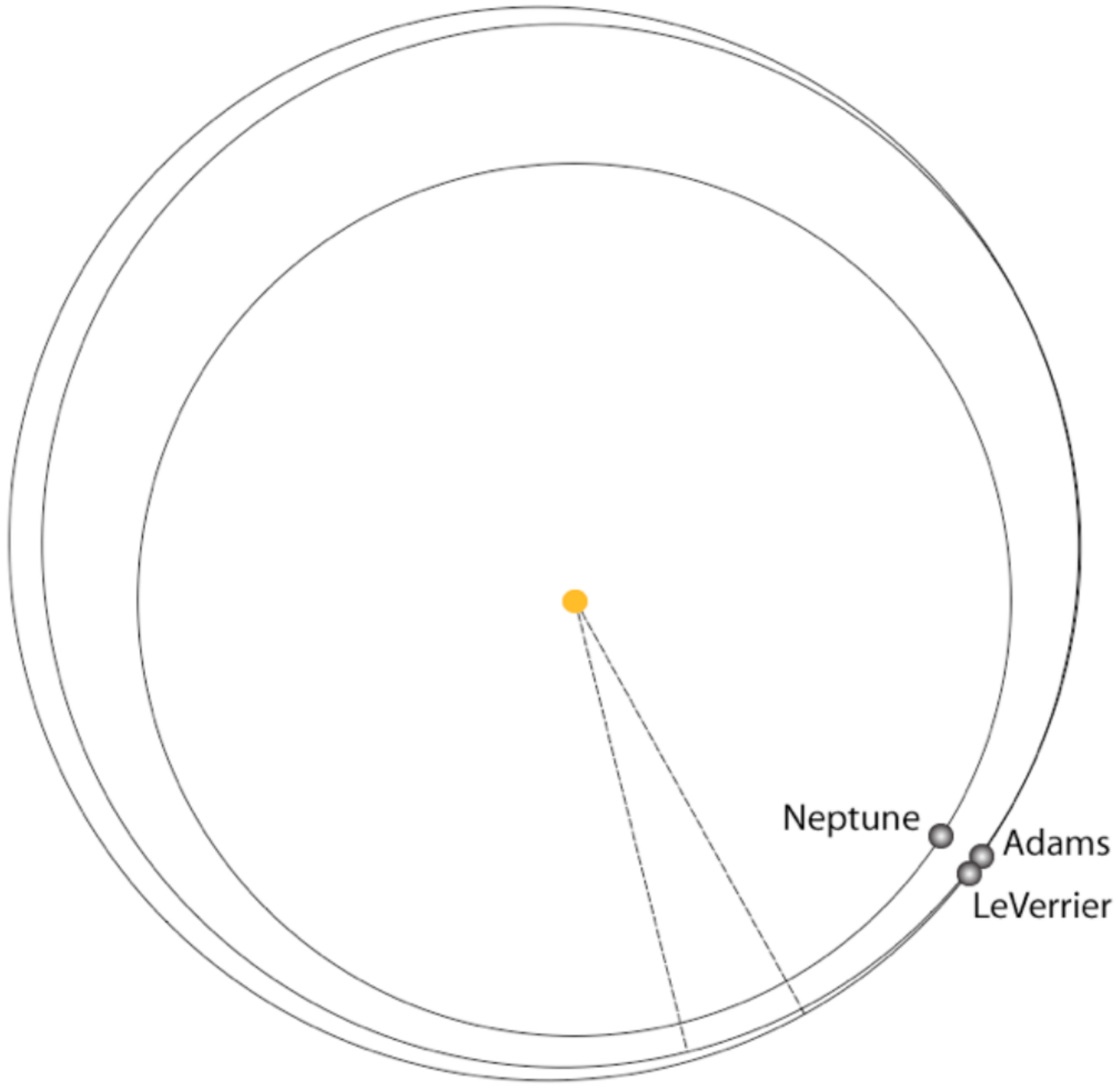
"I cannot attempt to convey... the impression which was made on me by the author's undoubting confidence, but the firmness with which he proclaimed to the observing astronomers, '*Look into the place which I have indicated, and you will see the planet well.*'"

--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"

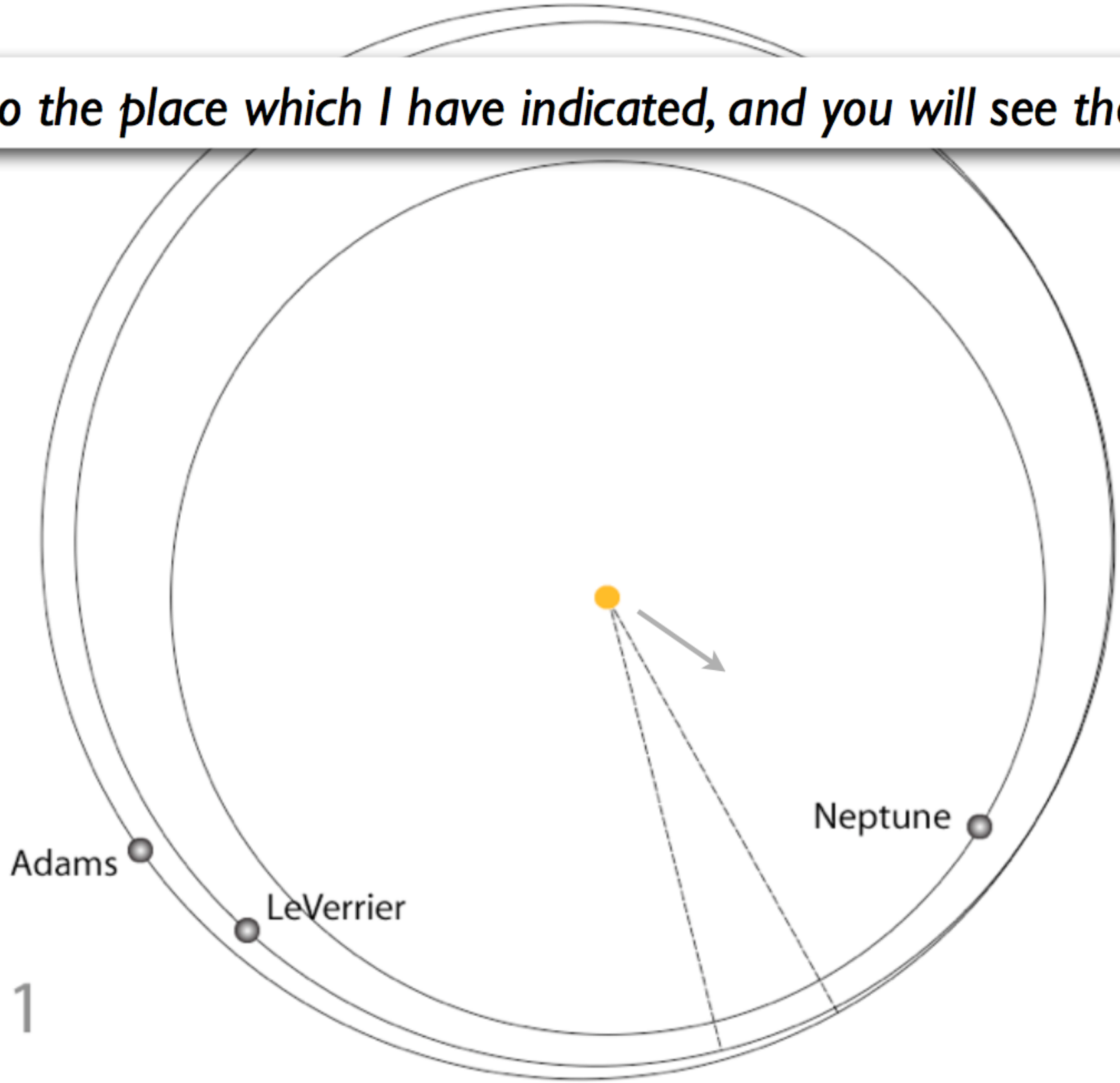
-- Flammarion

(Taken from Baum & Sheehan)



1846

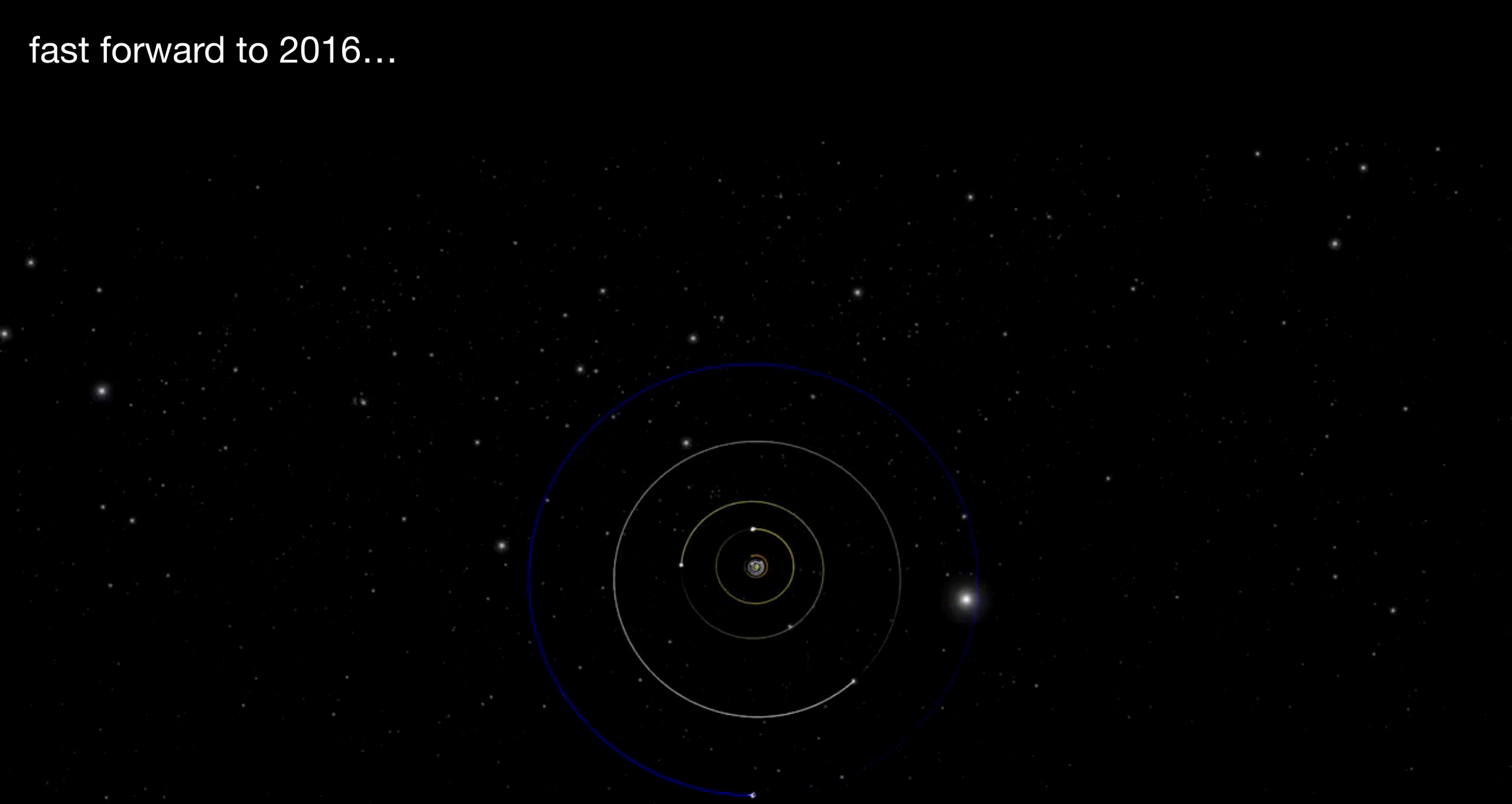
'Look into the place which I have indicated, and you will see the planet well.'



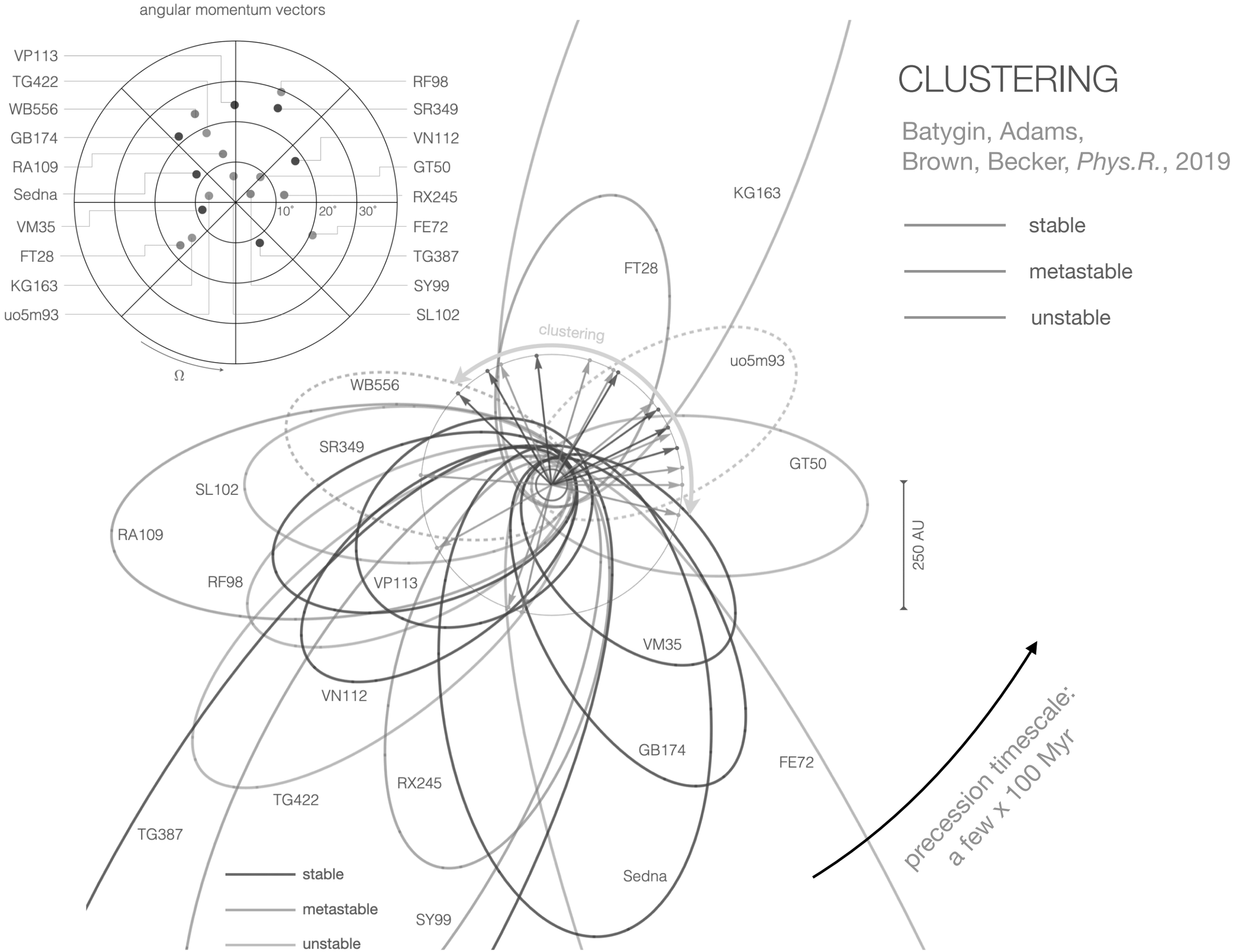
~4.5 billion years ago: formation of the Kuiper belt through outward scattering of icy debris by giant planets

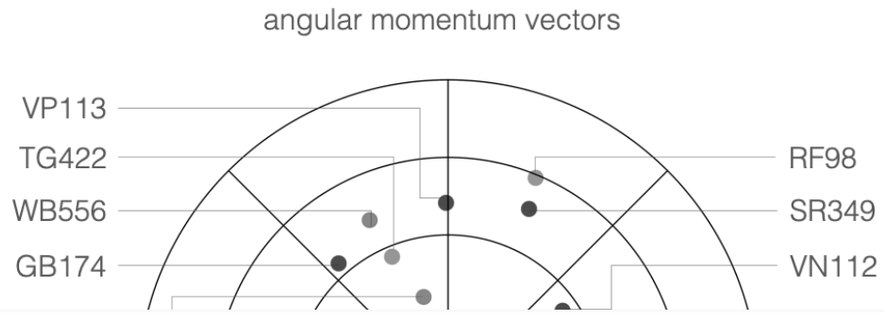
Video credit: California Academy of Sciences

fast forward to 2016…



Batygin & Brown, *Astron.J.*, 2016


angular momentum vectors
VP113
TG422
WB556
GB174
RA109
Sedna
VM35
FT28
KG163
uo5m93
RF98
SR349
VN112
GT50
RX245
FE72
TG387
SY99
SL102
10°
20°
30°
Ω
CLUSTERING
Batygin, Adams,
Brown, Becker, *Phys.R.*, 2019
stable
metastable
unstable
clustering
250 AU
precession timescale:
a few x 100 Myr



CLUSTERING

Batygin, Adams,
Brown, Becker, *Phys R.*, 2019

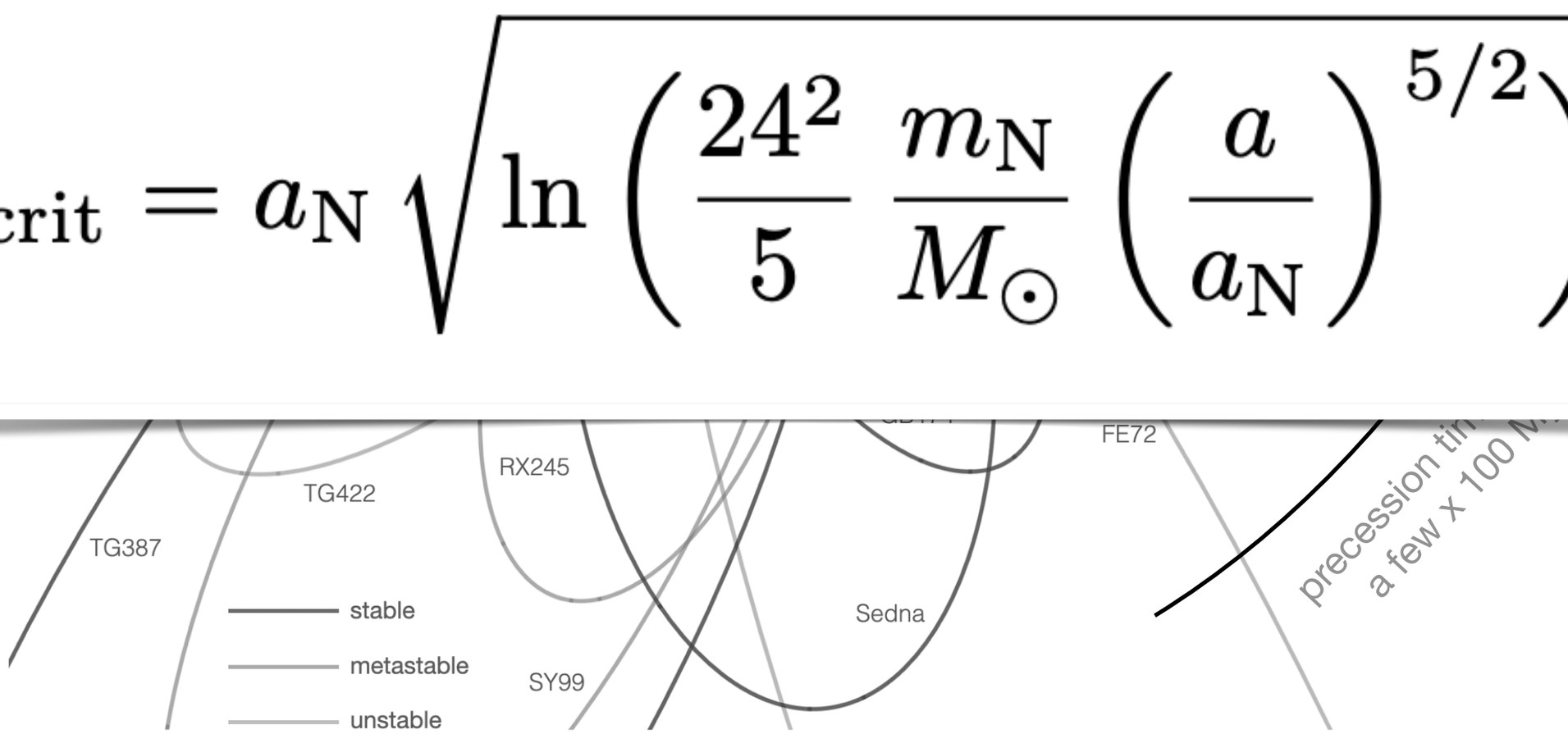
The Astrophysical Journal, 920:148 (11pp), 2021 October 20
© 2021. The American Astronomical Society. All rights reserved.
https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac19a4

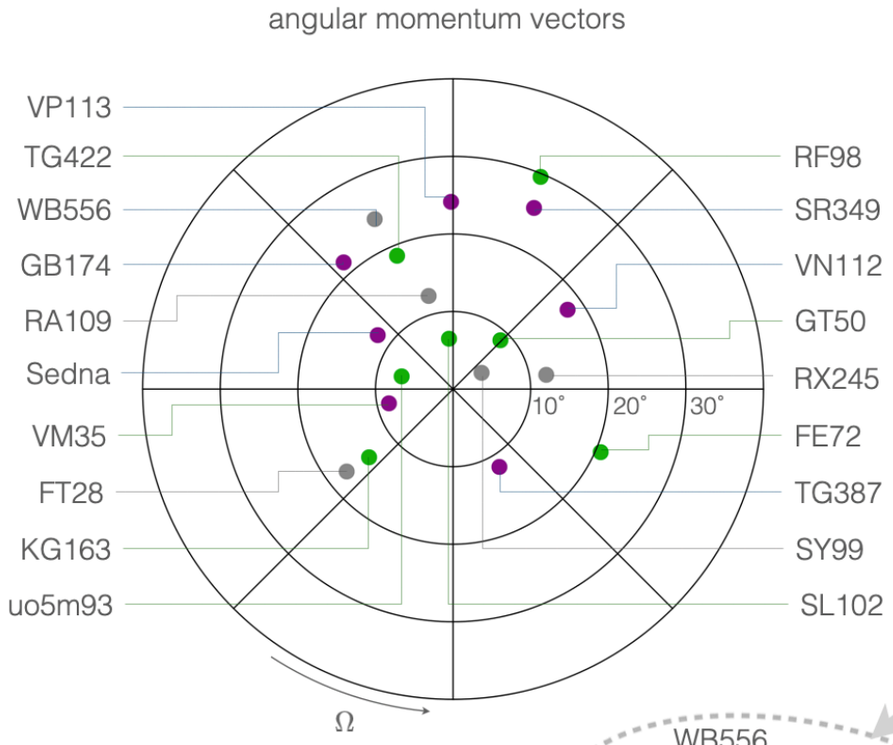
CrossMark

The Stability Boundary of the Distant Scattered Disk

Konstantin Batygin[1], Rosemary A. Mardling[2], and David Nesvorný[3]
[1] Division of Geological and Planetary Sciences, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91125, USA; kbatygin@gps.caltech.edu
[2] School of Physics and Astronomy, Monash University, Victoria, 3800, Australia
[3] Department of Space Studies, Southwest Research Institute, 1050 Walnut St., Suite 300, Boulder, CO 80302, USA
Received 2021 June 6; revised 2021 July 23; accepted 2021 July 29; published 2021 October 25

$$q_{\rm crit} = a_{\rm N}\sqrt{\ln\left(\frac{24^2}{5}\,\frac{m_{\rm N}}{M_\odot}\left(\frac{a}{a_{\rm N}}\right)^{5/2}\right)}.$$





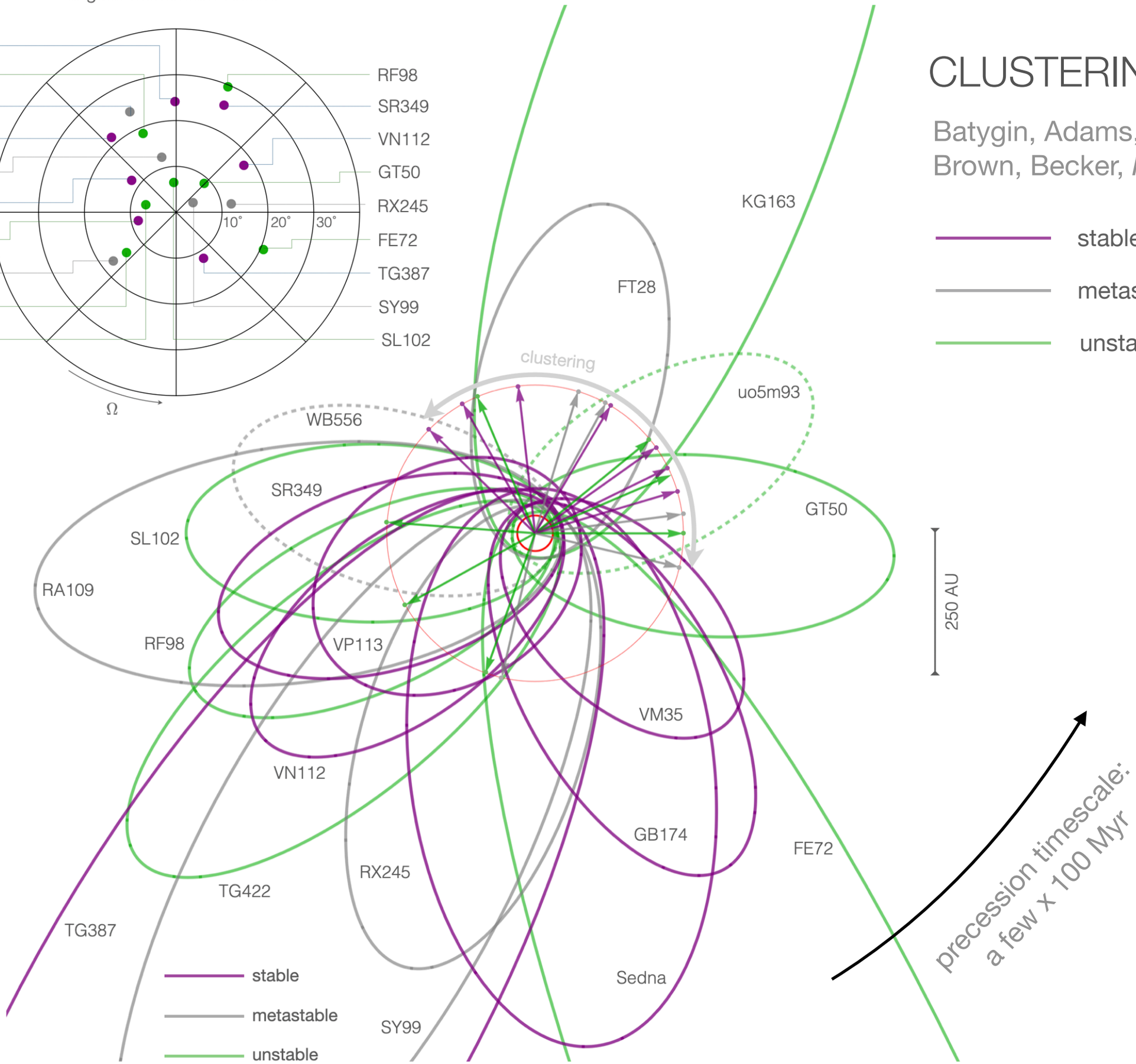
CLUSTERING

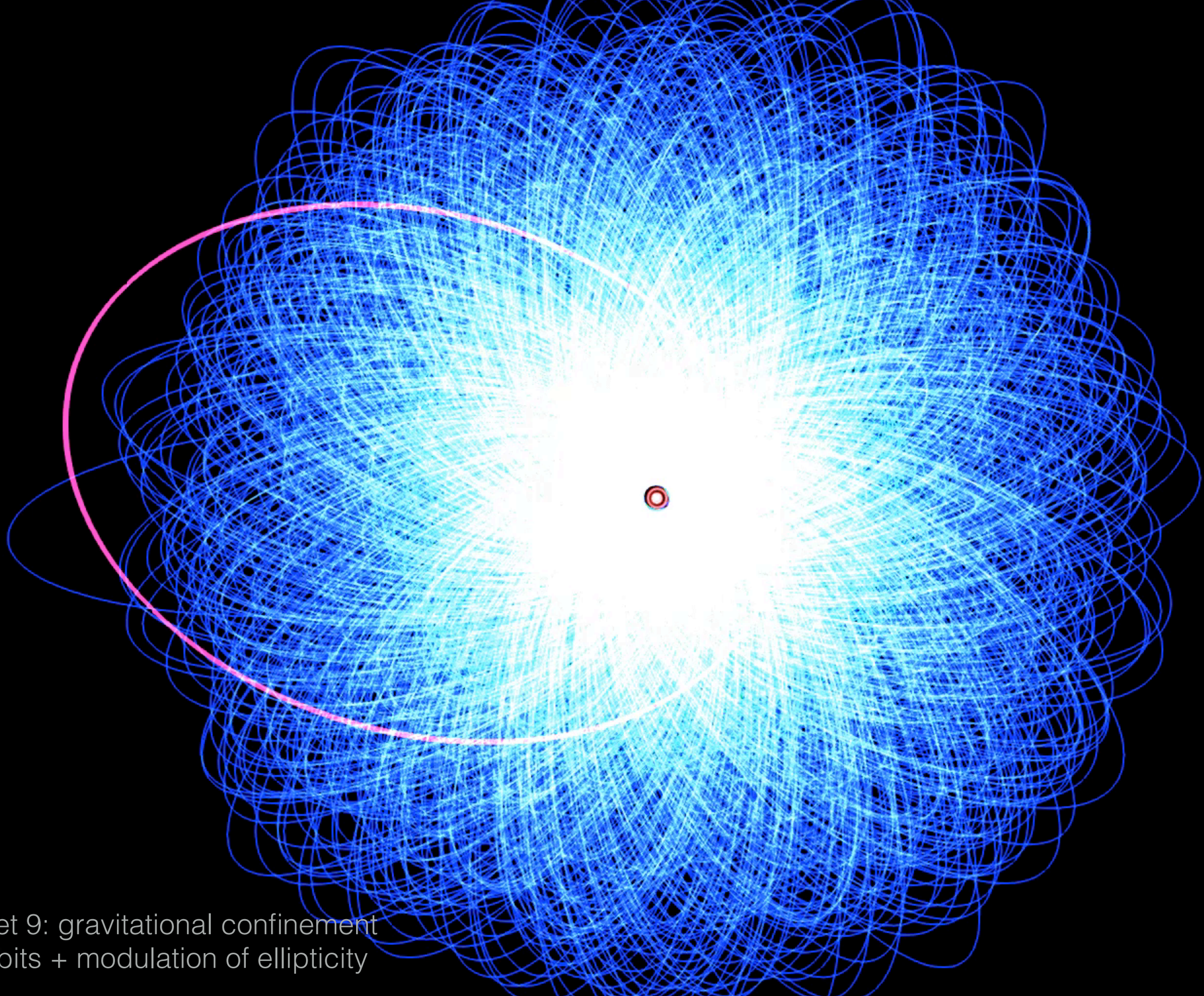
Batygin, Adams,
Brown, Becker, *Phys.R.*, 2019

stable

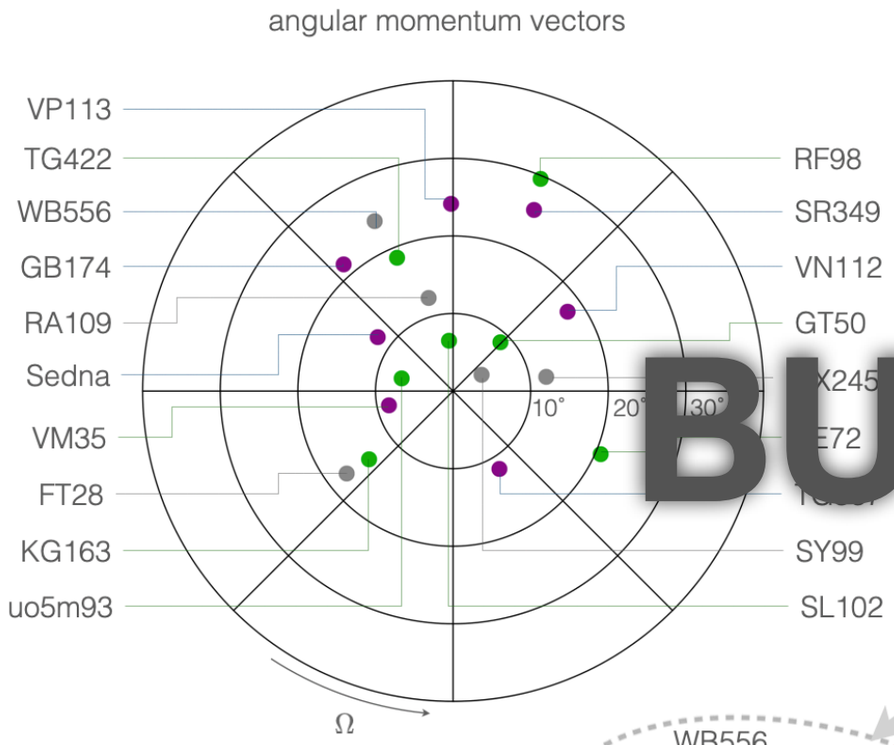
metastable

unstable





Planet 9: gravitational confinement
of orbits + modulation of ellipticity



BUT WAIT!

IS THIS CLUSTERING

REAL OR OBS BIAS?

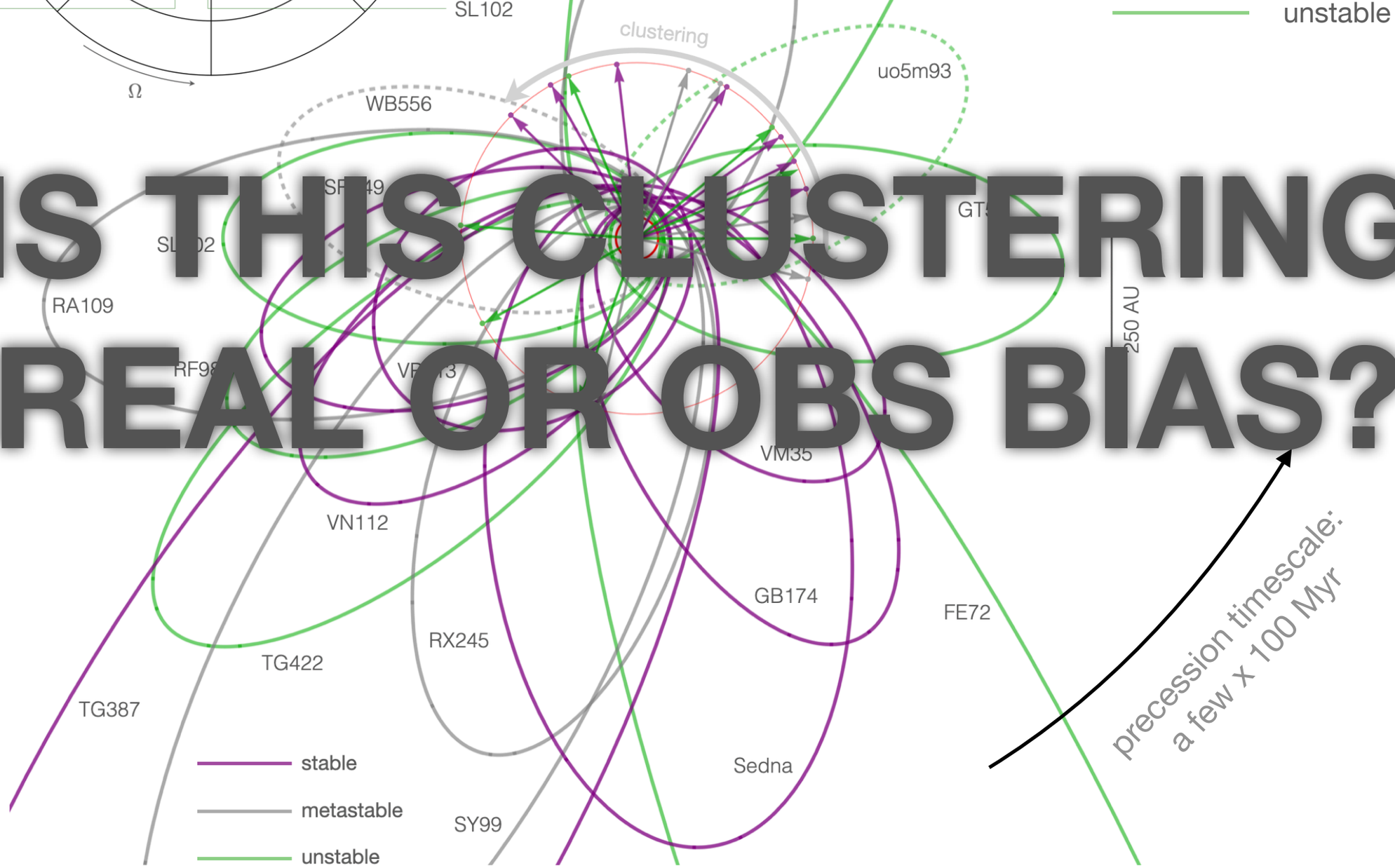
CLUSTERING

Batygin, Adams,
Brown, Becker, *Phys.R.*, 2019

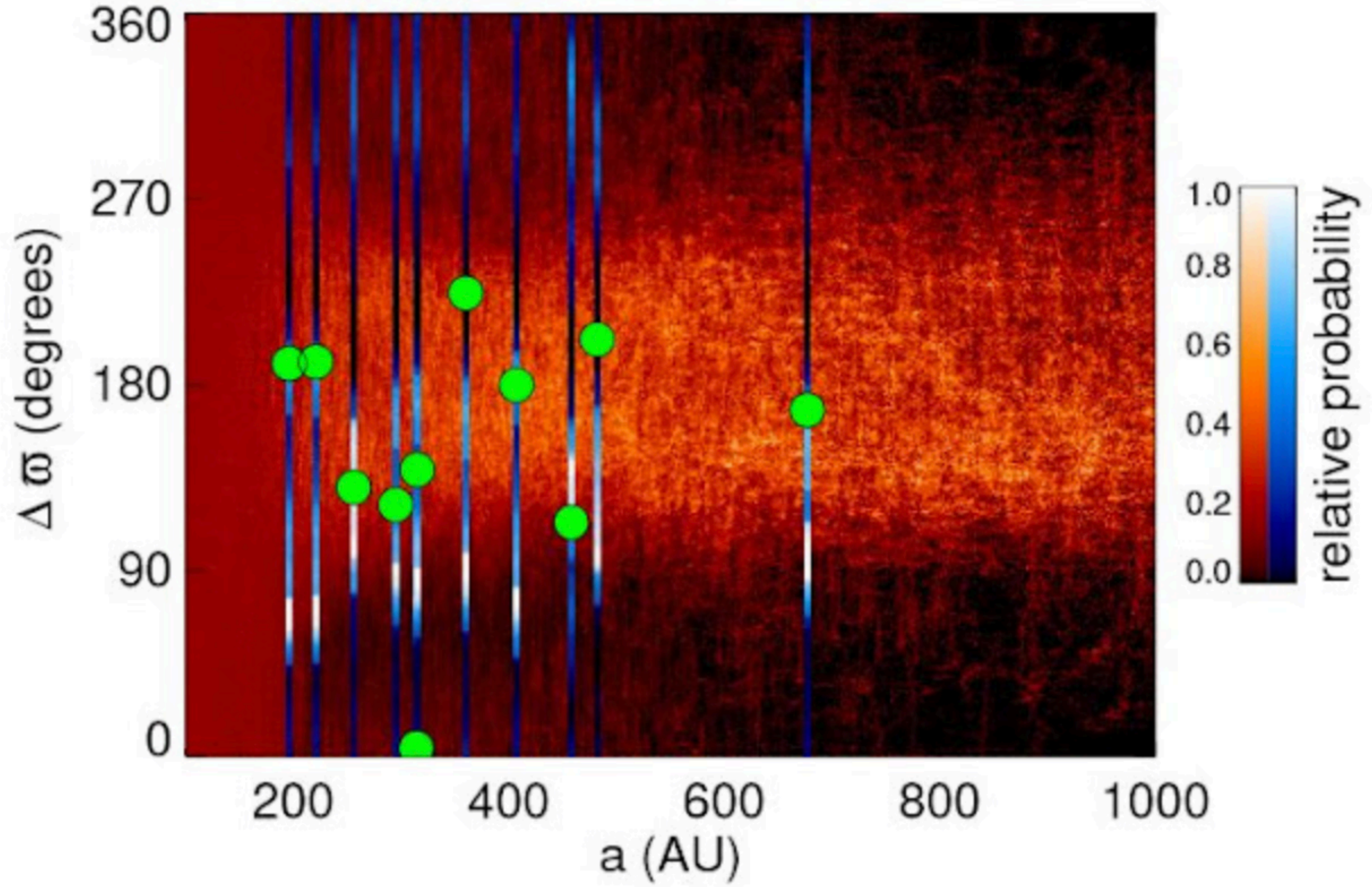
stable

metastable

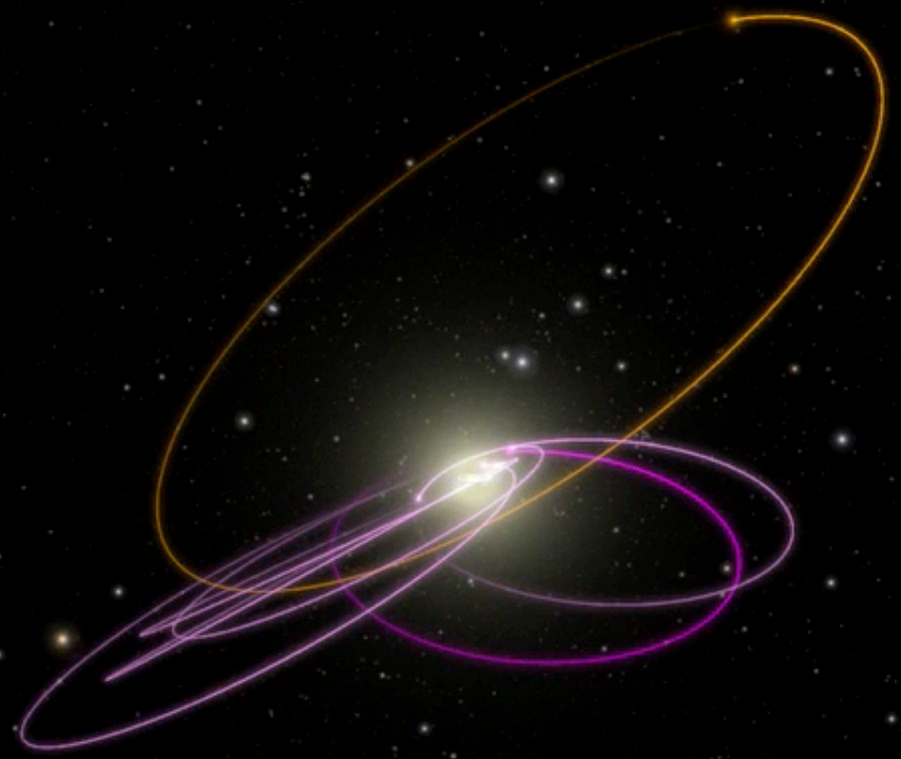
unstable

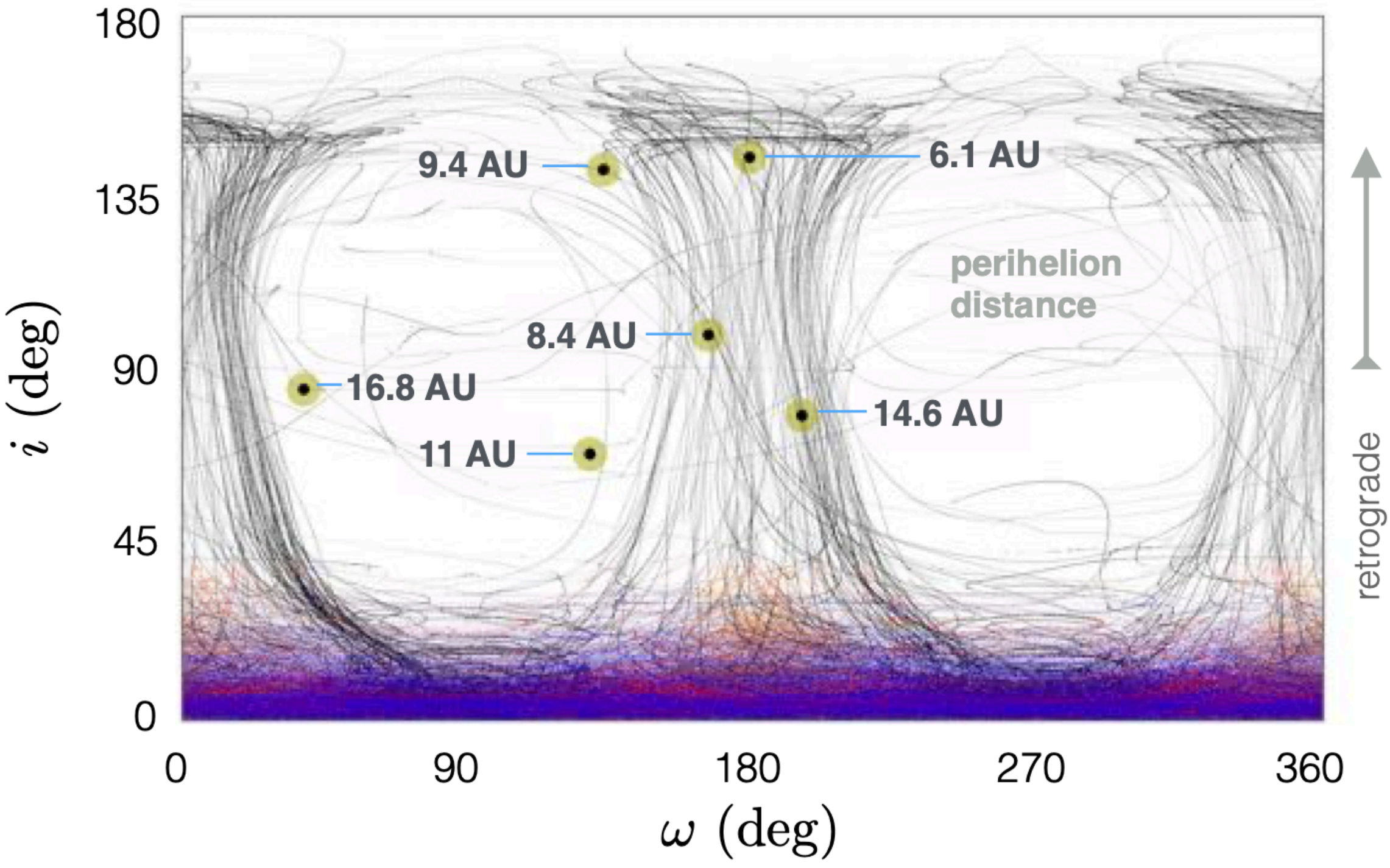


false alarm probability ~ 0.4%



Brown & Batygin 2021





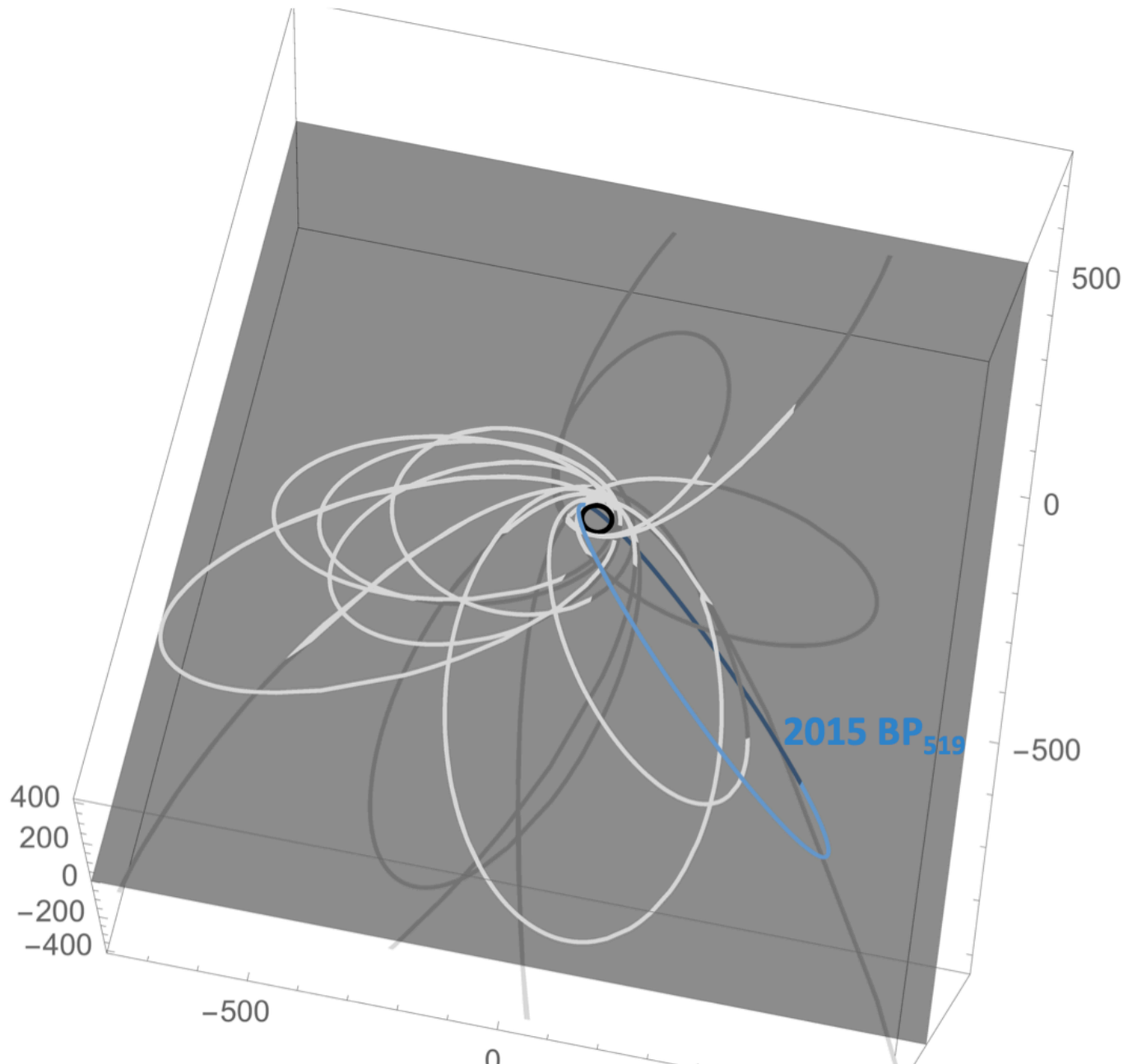
Batygin & Morbidelli 2017

Draft version August 7, 2018
Typeset using LaTeX **twocolumn** style in AASTeX61

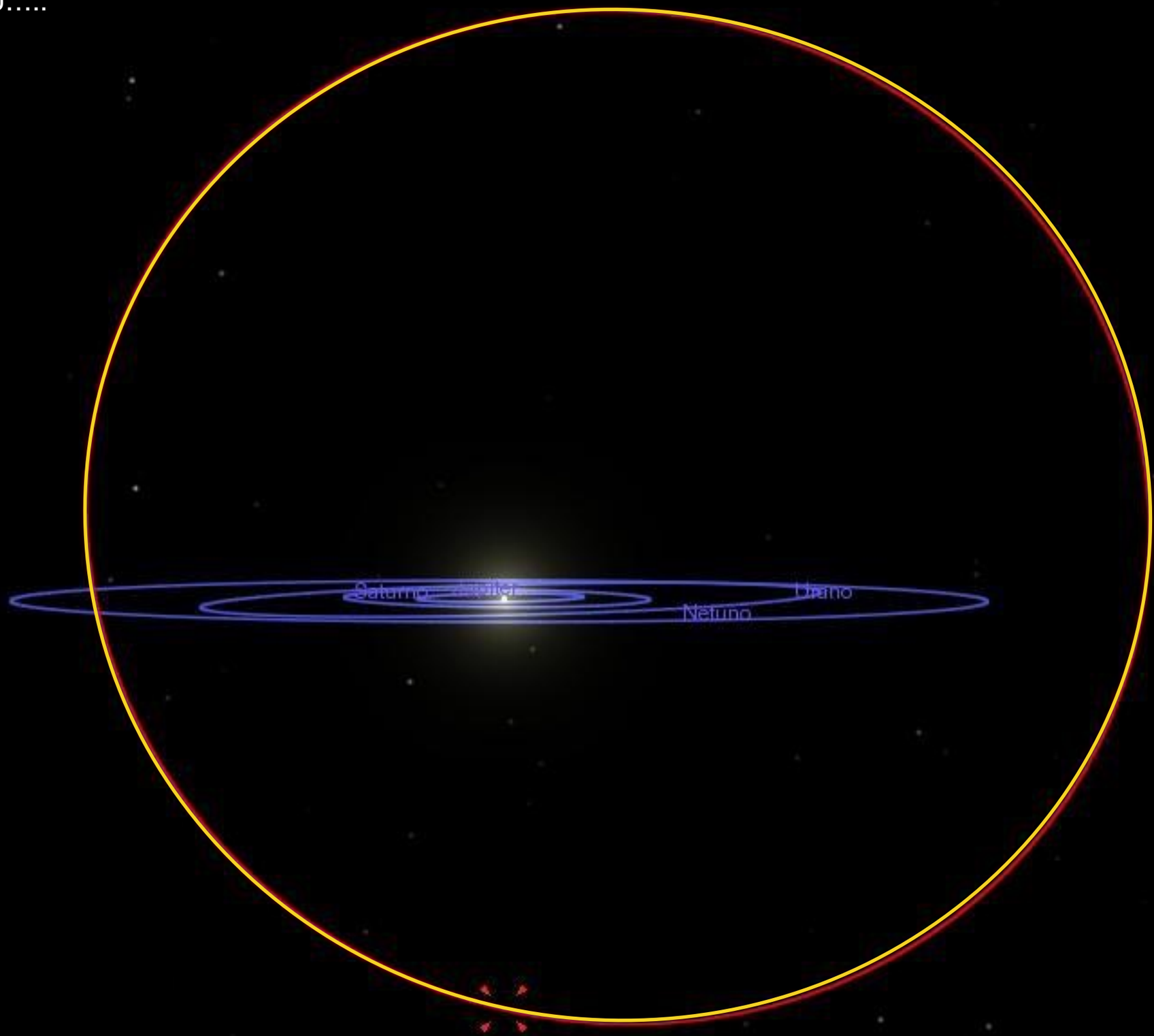
2015 BP519: caught in the act

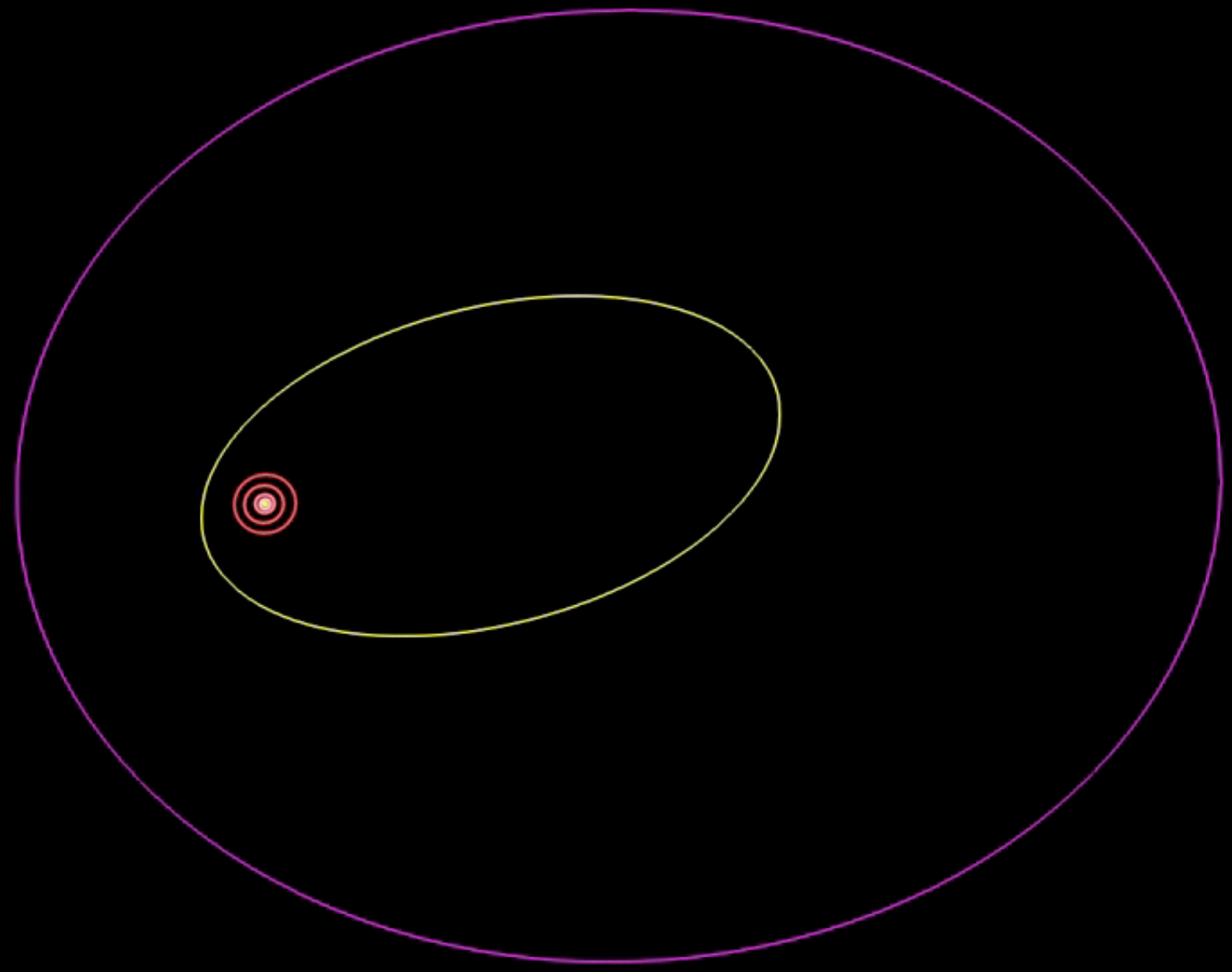
DISCOVERY AND DYNAMICAL ANALYSIS OF AN EXTREME TRANS-NEPTUNIAN OBJECT WITH A HIGH ORBITAL INCLINATION

J. C. Becker,[1,*] T. Khain,[2] S. J. Hamilton,[2,*] F. C. Adams,[2,1] D. W. Gerdes,[2,1] L. Zullo,[2] K. Franson,[2] S. Millholland,[3] G. M. Bernstein,[4] M. Sako,[4] P. Bernardinelli,[4] K. Napier,[2,5] L. Markwardt,[1,*] Hsing Wen Lin (林省文),[2] W. Wester,[6] E. B. Abdalla,[7,8] S. Allam,[6] J. Annis,[6] S. Avila,[9] E. Bertin,[10,11]

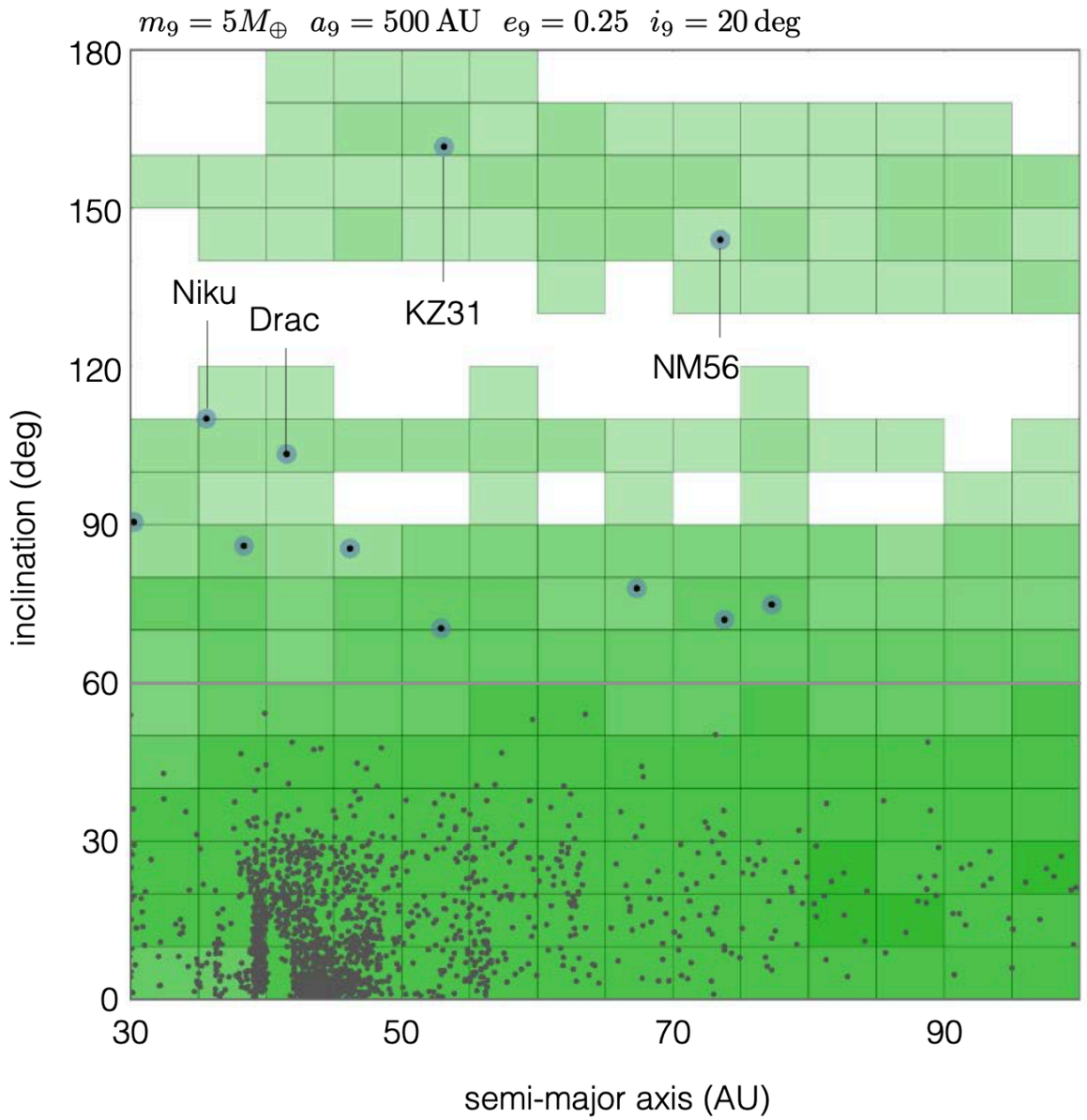


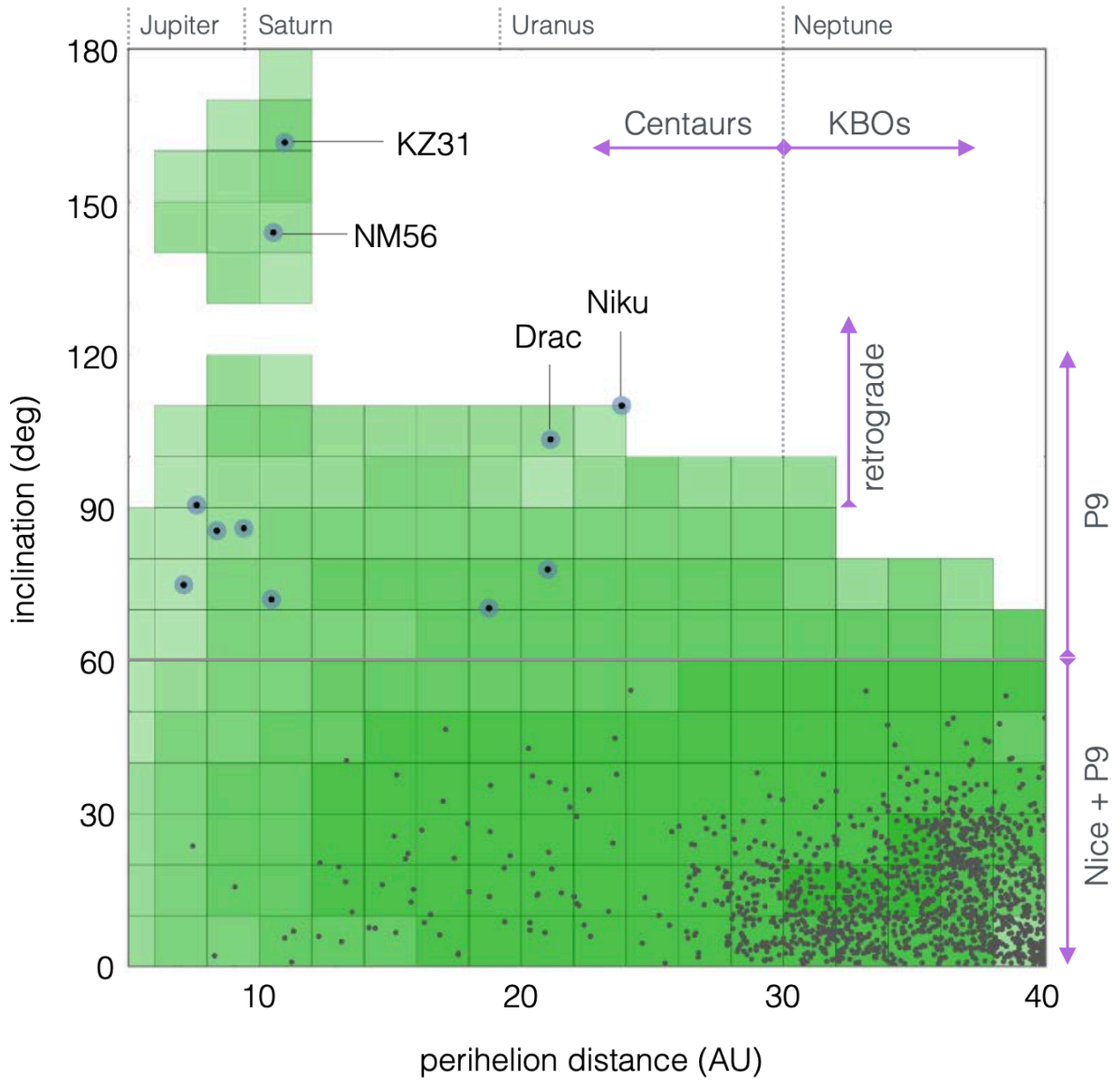
Returning to 30AU…..





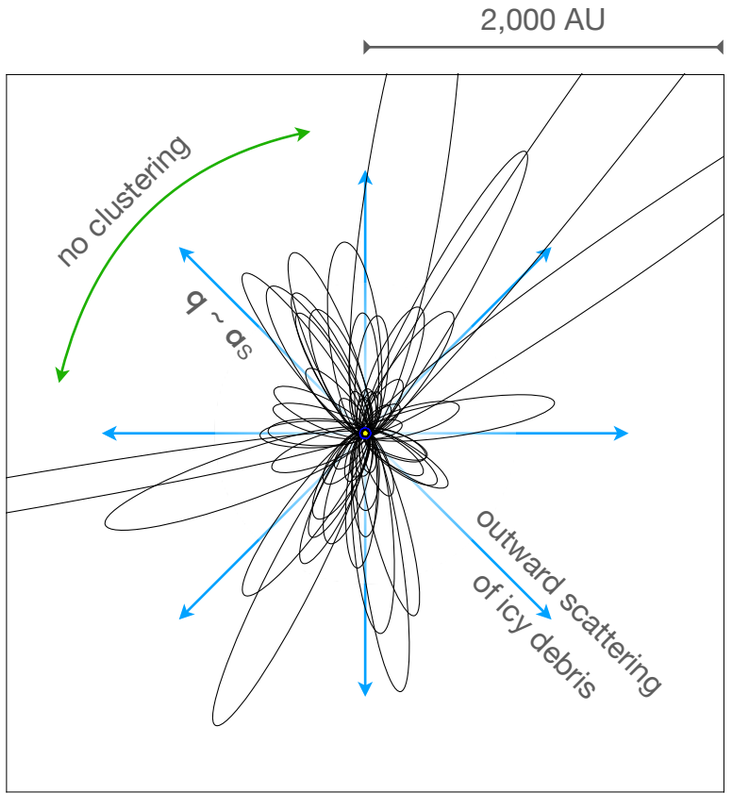
Injection of high-inclination Centaurs into the solar system by P9





Batygin et al 2019

but hang on… the sun didn’t form alone.
it formed in a cluster…



giant planet formation epoch

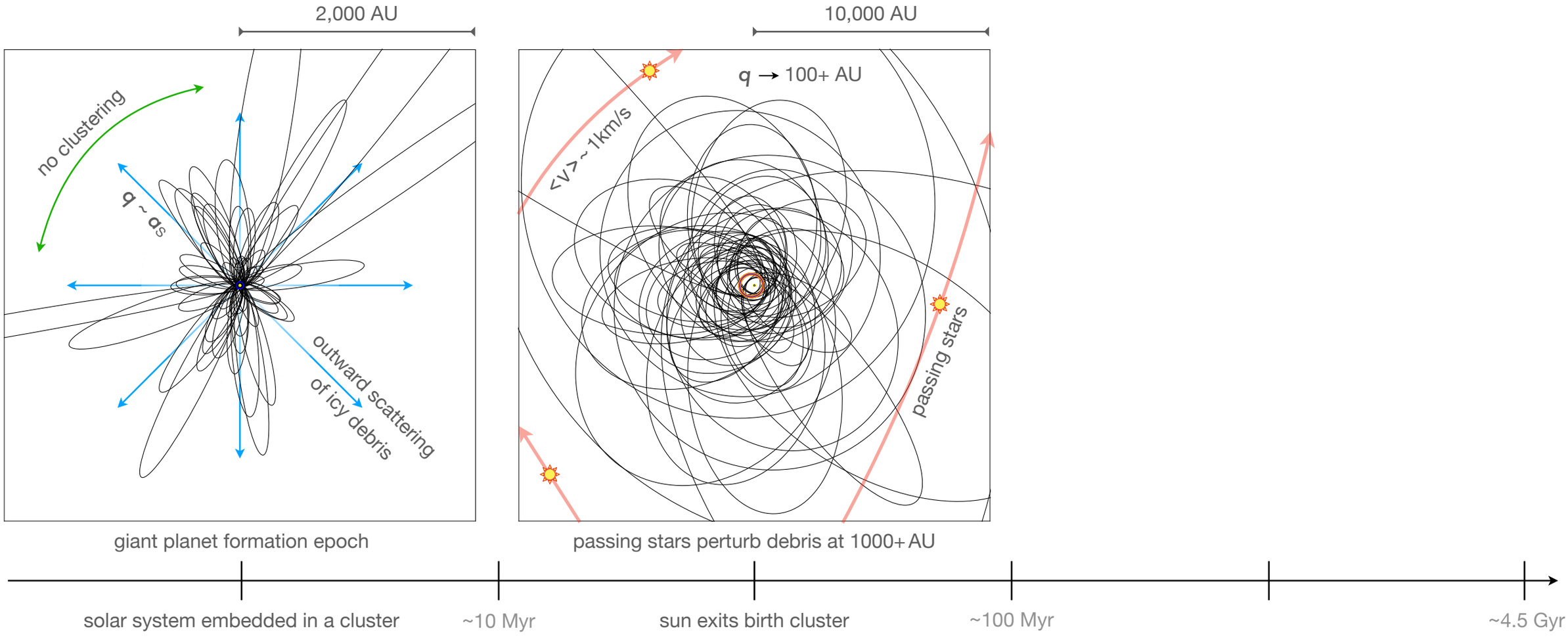
solar system embedded in a cluster

~10 Myr

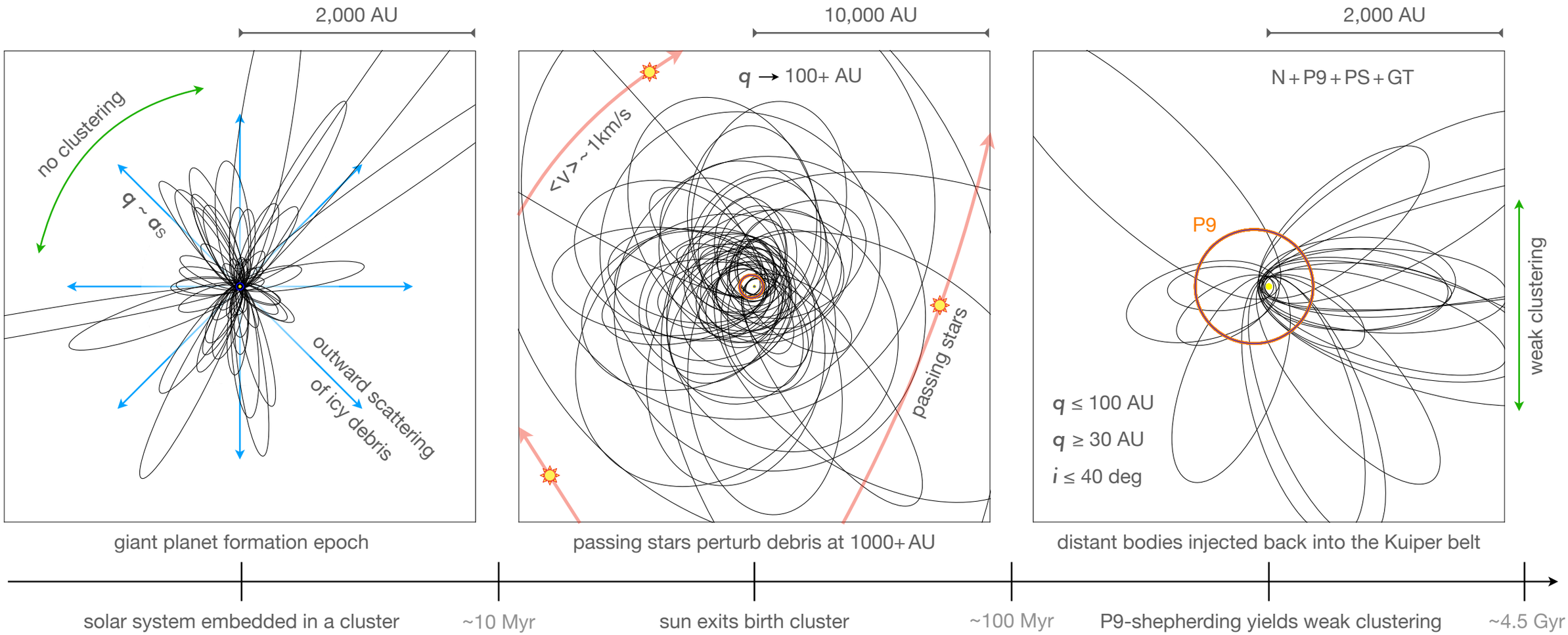
~100 Myr

~4.5 Gyr

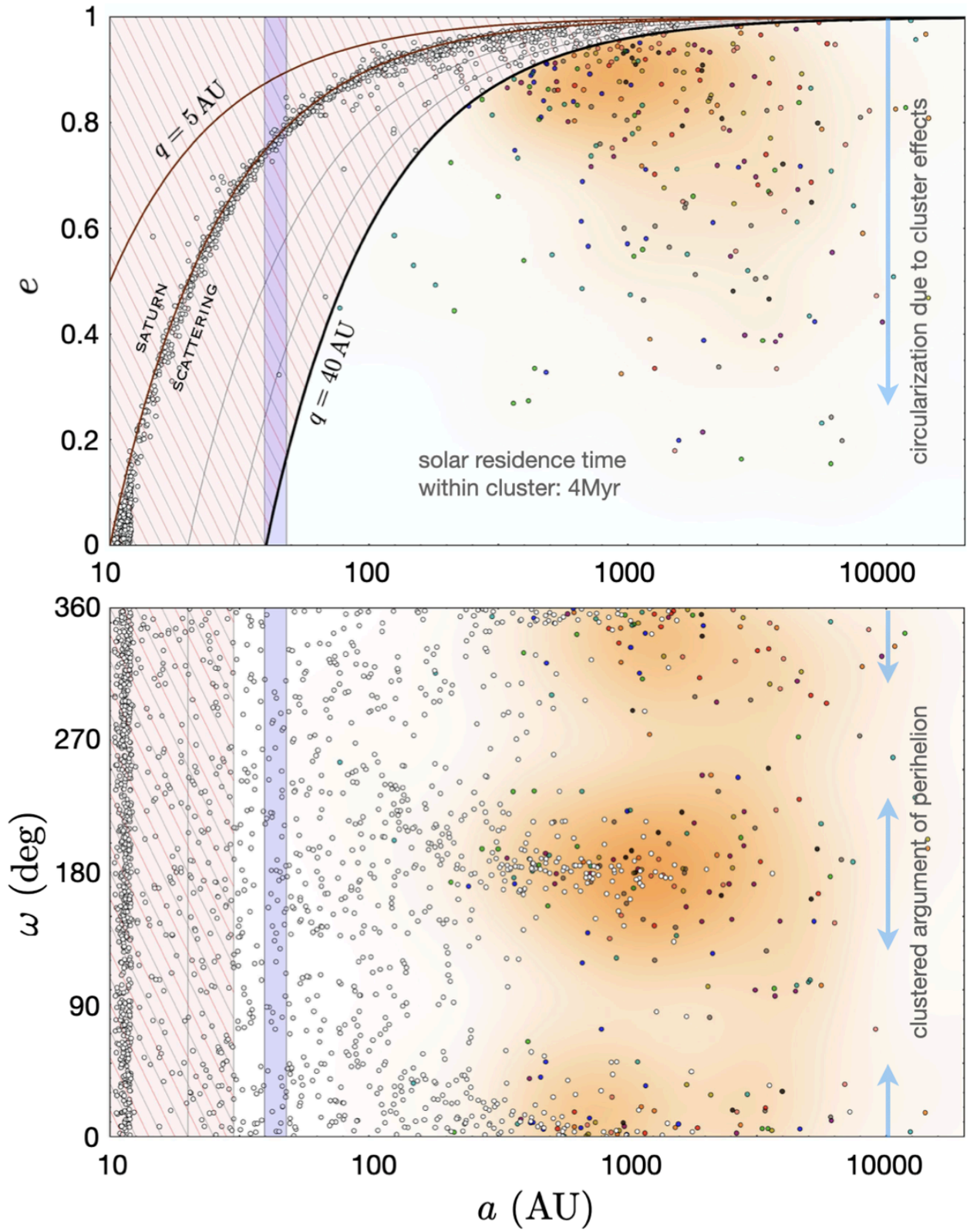
Batygin & Brown 2021

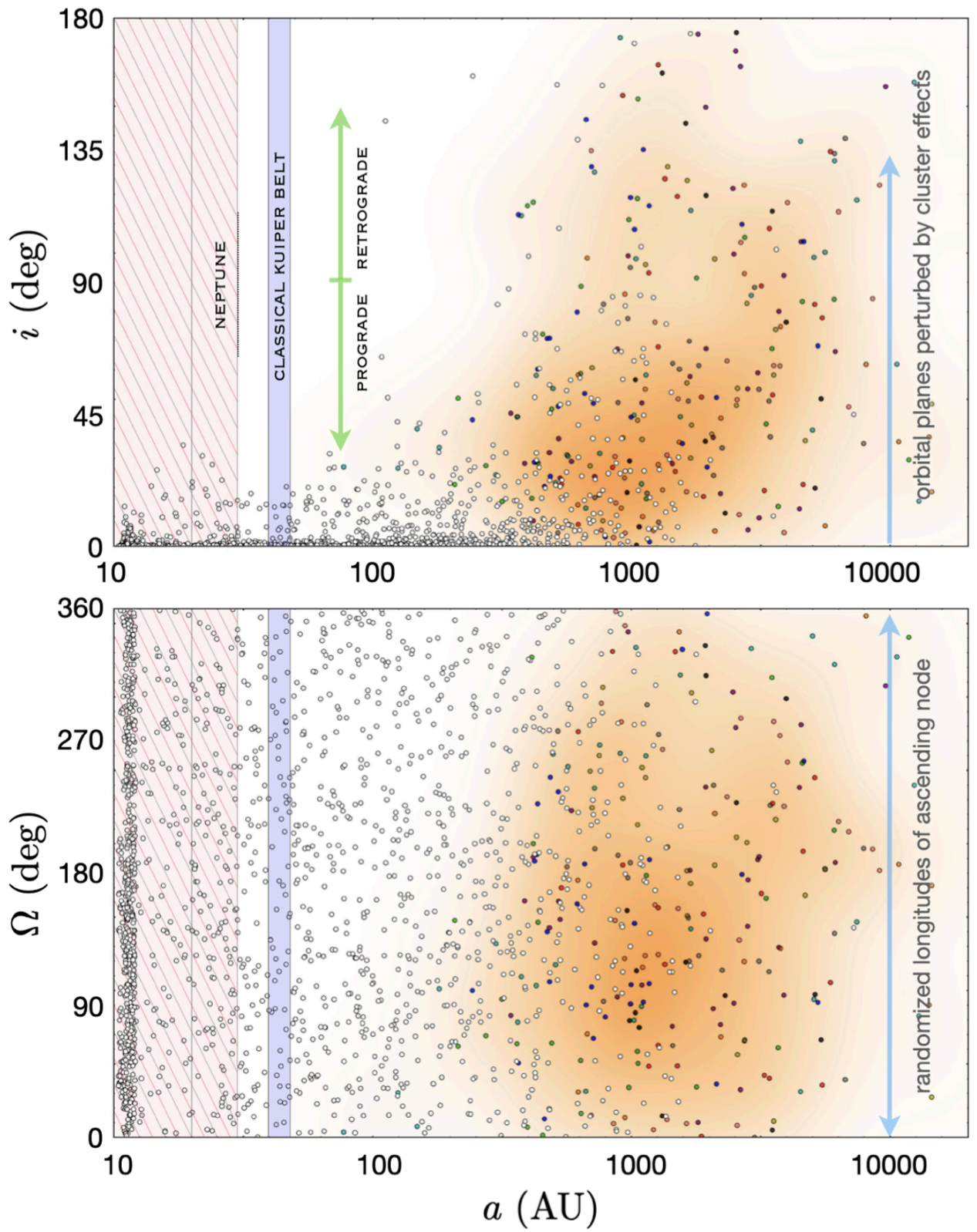


Batygin & Brown 2021



Batygin & Brown 2021



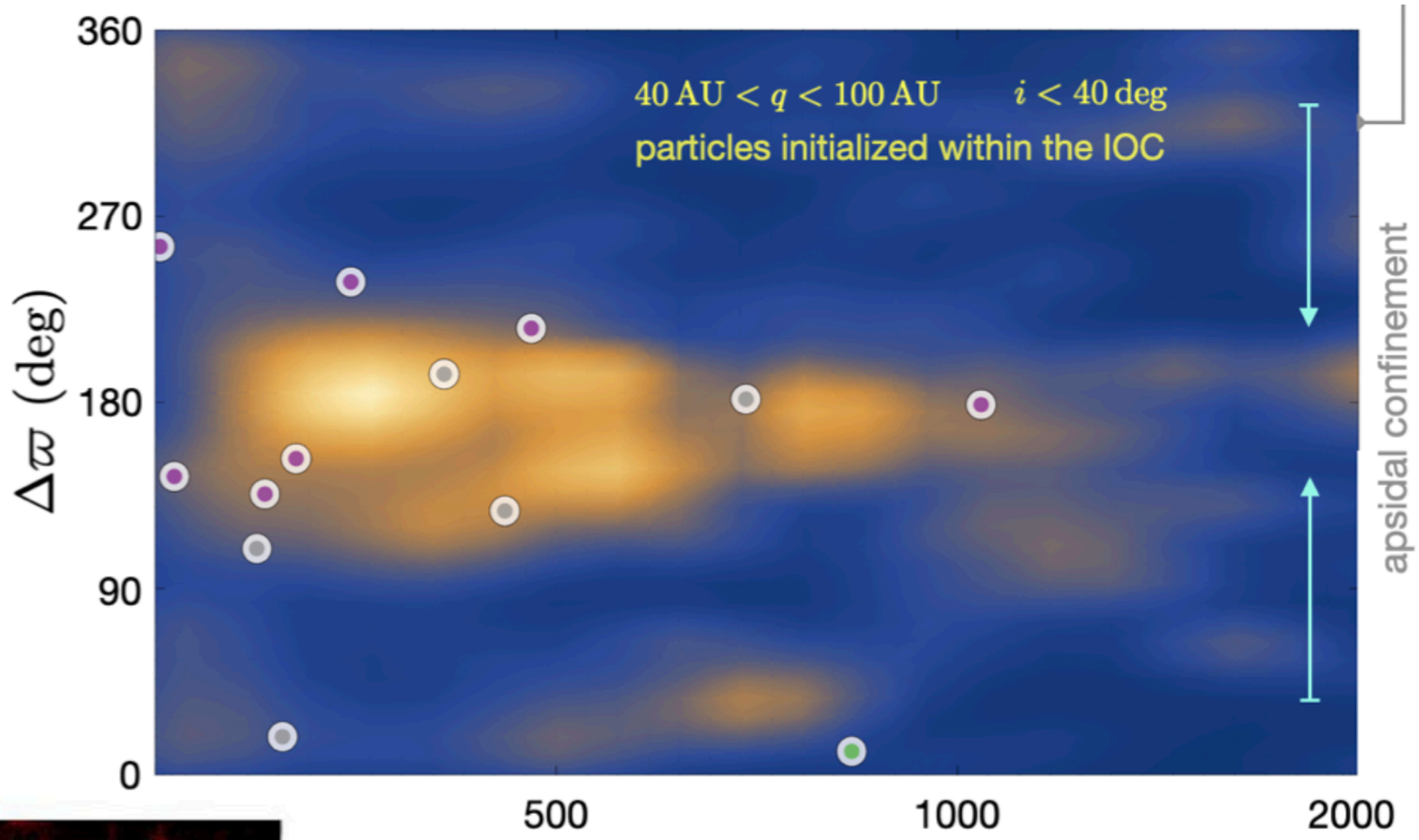


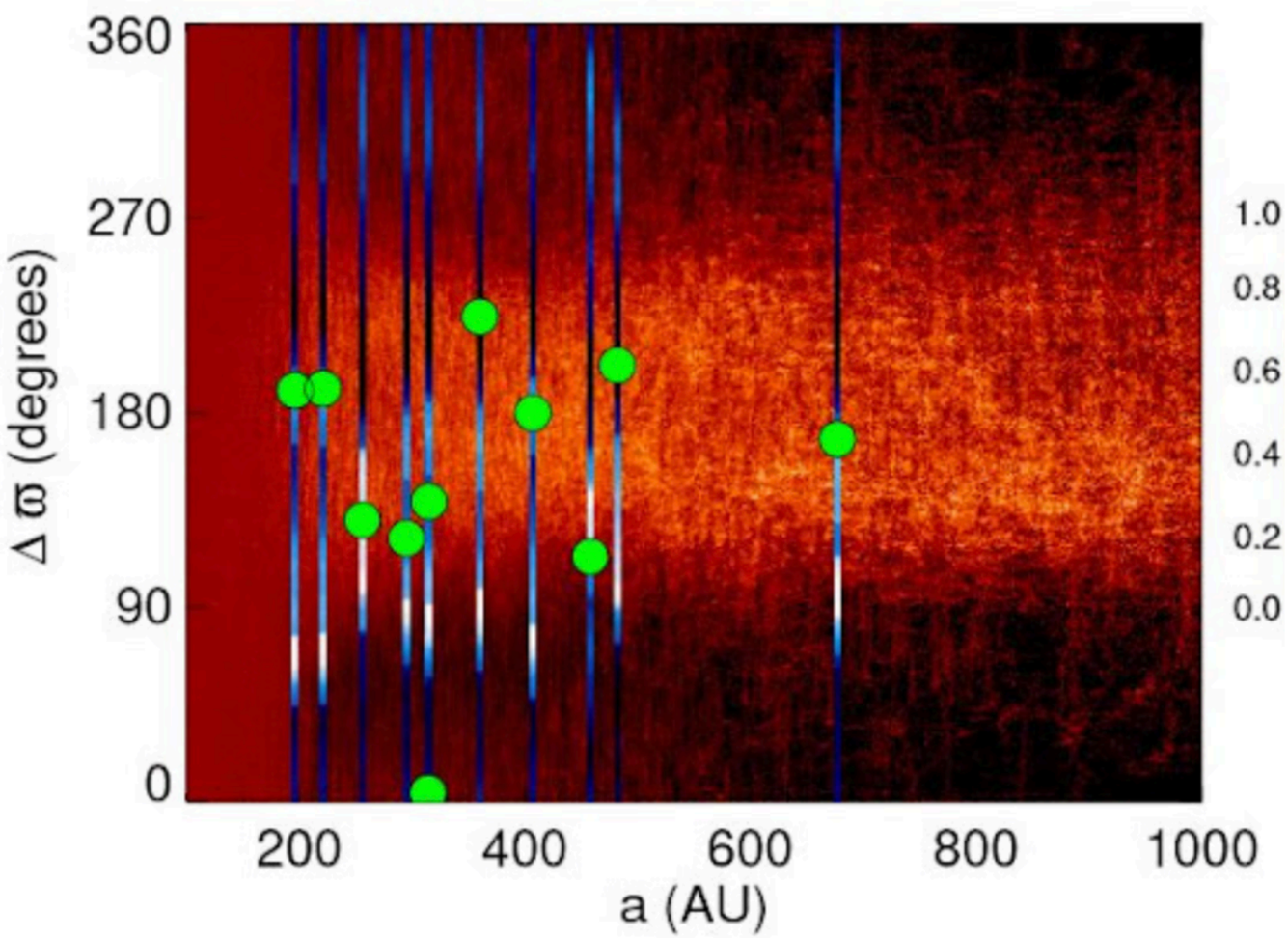
Batygin & Brown 2021

Distant scattered disk fully sourced from the inner Oort Cloud

More distant, highly eccentric P9

(Batygin & Brown 2021)



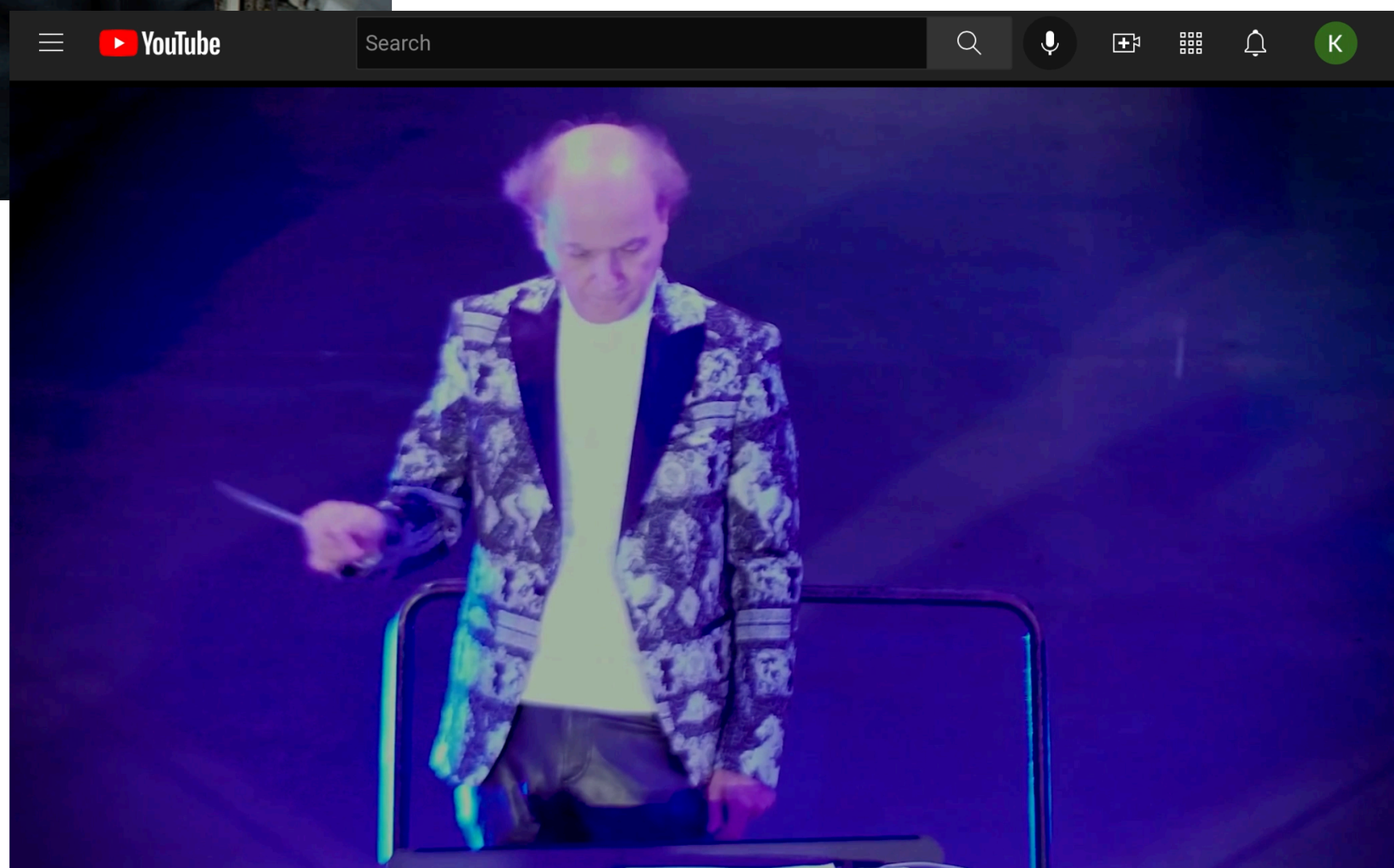


Distant scattered disk fully sourced from the Kuiper belt

More proximate, mildly eccentric P9

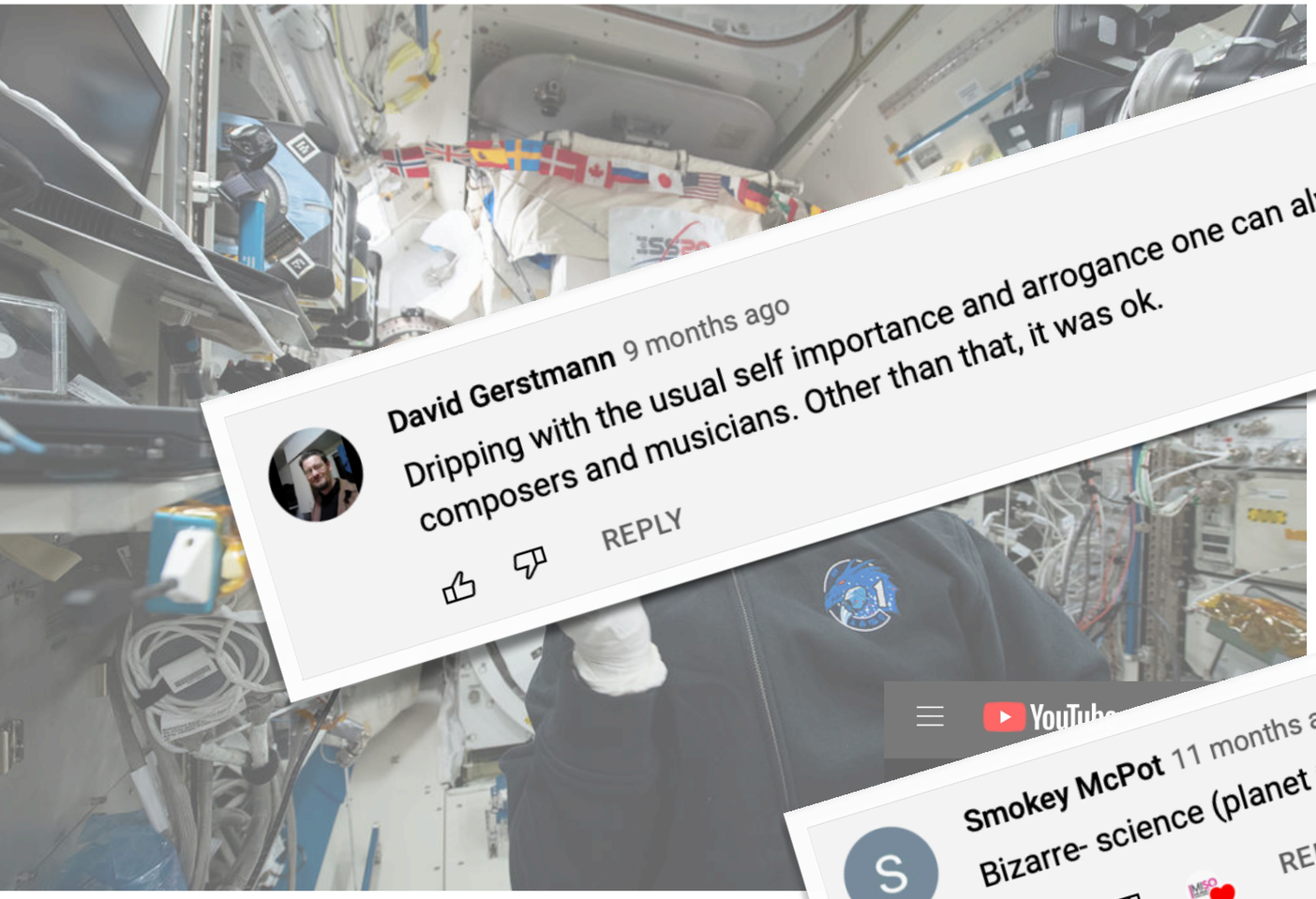
(Brown & Batygin 2021)

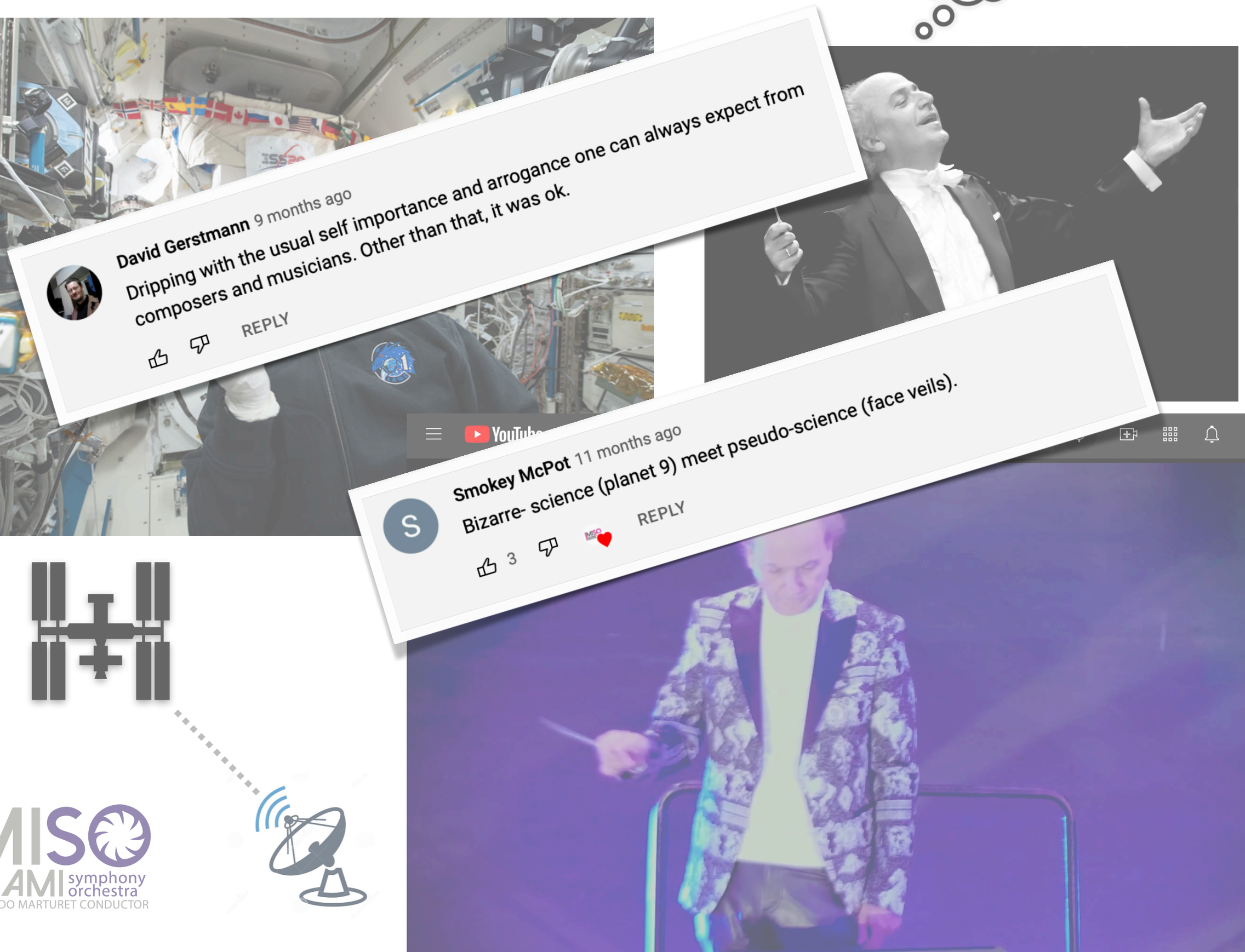
JAXA astronaut Soichi Noguchi displays plants grown on the station



MISO
MIAMI symphony orchestra
EDUARDO MARTURET CONDUCTOR

JAXA astronaut Soichi Noguchi displays plants grown on the station





MISO MIAMI symphony orchestra
EDUARDO MARTURET CONDUCTOR

Lucinetic

Elevate Your Influence

Get a Free Account

Lucinetic
Elevate Your Influence

Home About Who We Are

Get a Free Account

Smokey McPot 1 year ago
Bizarre- science (planet 9) meet pseudo-science (face veils).
3 REPLY

L Paine 9 months ago
Where can one purchase one of those idiotic masks that says 'Genius' ?....LOL
REPLY

christopher burns 1 year ago
Event horizon
8 REPLY

Juan Tovar 1 year ago
Eduardo it's really true that Planet X or Nibiru how it's called too, will arrive to earth and destroy everything trough its passage ? Many YouTube channels
REPLY
View 2 replies

David Gerstmann 1 year ago
Dripping with the usual self importance and arrogance one can always expect from composers and musicians. Other than that, it was ok.
REPLY
View 2 replies

ELSEVIER

Physics Reports
Volume 805, 3 May 2019, Pages 1-53

The planet nine hypothesis

Konstantin Batygin [a], Fred C. Adams [b, c], Michael E. Brown [a], Juliette C. Becker [c]

Show more

Share Cite

https://doi.org/10.1016/j.physrep.2019.01.009 Get rights and content

Abstract

Over the course of the past two decades, observational surveys have unveiled the intricate orbital structure of the Kuiper Belt, a field of icy bodies orbiting the Sun beyond Neptune. In addition to a host of readily-predictable orbital behavior, the emerging census of trans-Neptunian objects displays dynamical phenomena that cannot be accounted for by interactions with the known eight-planet solar system alone. Specifically, explanations for the observed physical clustering of orbits with semi-major axes in excess of ~ 250 AU, the detachment of perihelia of select Kuiper belt objects from Neptune, as well as the dynamical origin of highly

Caltech Division of Geological & Planetary Sciences

Dr. Konstantin Batygin
Professor of Planetary Science
1200 E. California Blvd, Pasadena, CA 91125
(626) 395-2920
kbatygin@gps.caltech.edu

Dear Selection Committee,

I am writing to recommend Dr. Konstantin Batygin for the PSI Thursday Colloquium. Dr. Batygin is an astrophysicist at the California Institute of Technology, and he is one of the world's leading experts on Solar System evolution and planetary formation. He has made numerous important contributions to our understanding of the Solar System, and his work has been widely recognized in the scientific community.

Dr. Batygin's recent work is on the Planet Nine hypothesis, which posits the existence of a new planet in the Solar System with a mass of 5-10 Earth masses, orbiting at a distance of 400-800 AU from the Sun. This work has been widely recognized as being of great importance, and it has generated a great deal of excitement in the astronomical community. Dr. Batygin is a leading expert on this topic, and we believe that he is unequivocally deserving of a colloquium presentation at PSI.

Konstantin Batygin's electric guitar performance, however, was disappointing and did not lack the usual self-importance and arrogance one can expect from a composer and musician. The mask he wore was also idiotic and did not add to the performance. Overall, it was an ok performance, but there are better electric guitarists out there.

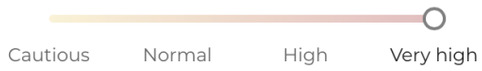
Despite this, I genuinely believe in Dr. Batygin's candidacy. He would be an excellent addition to your colloquium series, and I strongly recommend him.

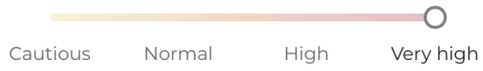
Thank you for your consideration.

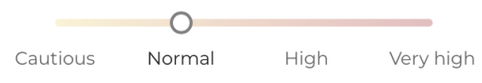
Best Regards,

Dr. Konstantin Batygin
Professor of Planetary Science
California Institute of Technology

Enthusiasm level







Lines of Evidence

Apsidal clustering (alignment of eccentricity vectors)

Grouping of angular momentum vectors (orbital planes)

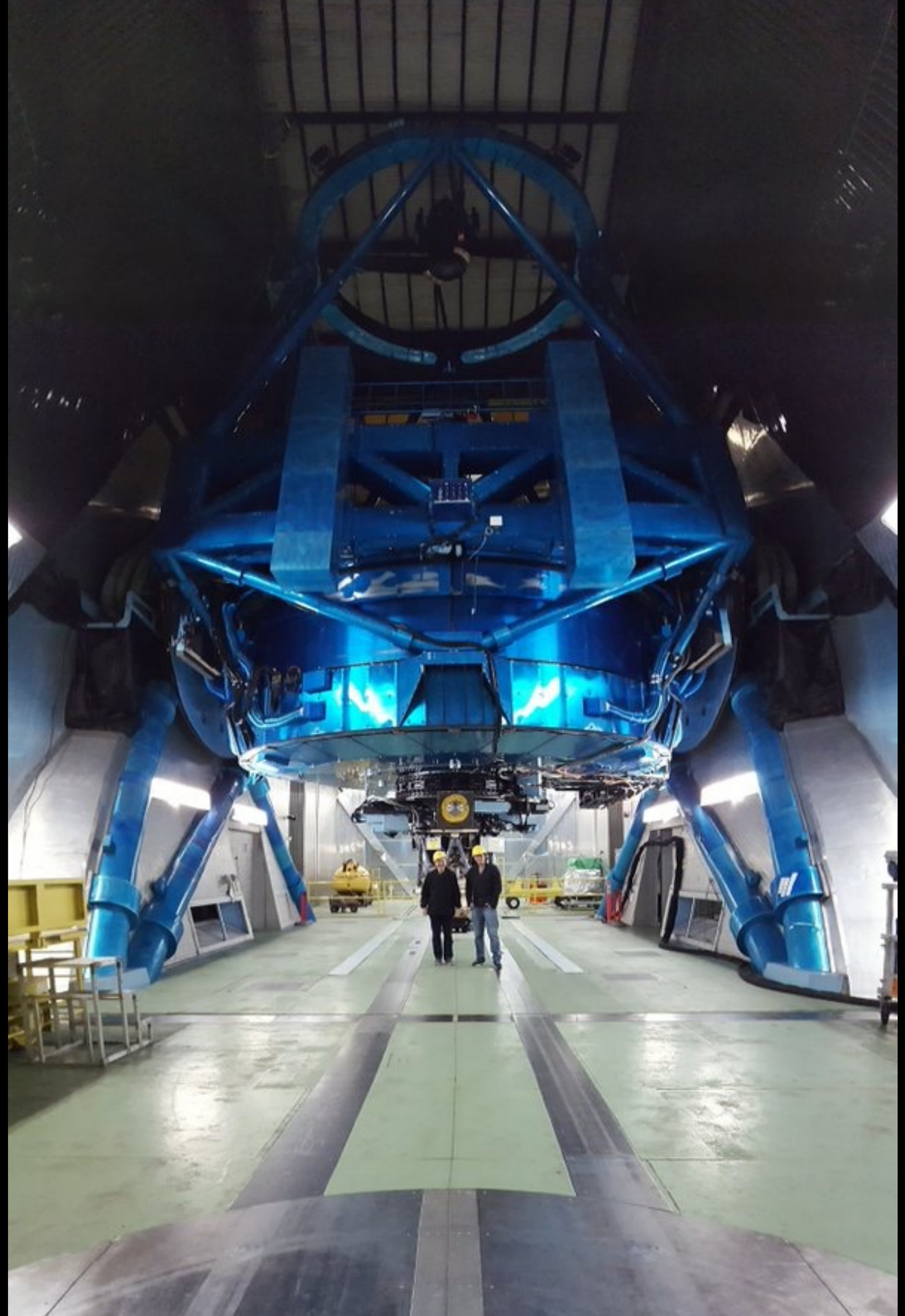
Excitement of high-inclination long-period TNOs

Pollution of the solar system with retrograde Centrars

Caveats

Icy bodies injected into the Kuiper belt from the inner Oort Cloud by Planet Nine show weaker clustering than icy objects that originate in the Kuiper belt

If the data is indeed contaminated by inner Oort Cloud objects, then the orbit of P9 is more eccentric and more distant than we have estimated.



All bets on gravity…..

A&A 640, A6 (2020)

New constraints on the location of P9 obtained with the INPOP19a planetary ephemeris

A. Fienga[1,2], A. Di Ruscio[3,1], L. Bernus[2,1], P. Deram[1], D. Durante[3], J. Laskar[2] and L. Iess[3]

Received: 10 March 2020 | **Accepted:** 27 May 2020