

1

UNITED KINGDOM

If you could find the time, I would greatly appreciate it if you could email back and briefly sum the phenomena that your hypothetical planet helps to explain in non-technical language.

Let's recall that trans-neptunian objects (or TNOs, for short) are icy bodies orbiting the Sun beyond Neptune in a region called the Edgeworth-Kuiper belt (EK belt).

Summarizing three main features:

- It's hard to explain why several TNOs have quite inclined and/or elongated orbits within distances between about 40 and 50 times astronomical units AU (1AU = mean distance from the Sun to the Earth), because astronomers were expecting to find TNOs in that region mostly in almost circular orbits, and lying on the same plane as for the other 8 planets of the solar system.

However, the gravitational perturbation of Planet X during the early solar system (more than 4 billion years ago) could explain the orbits of those TNOs.

- According to observations and studies based on discovery statistics, there is a lack of TNOs orbiting at distances beyond about 50AU. The decrease of the number of TNOs from the 40-50AU reservoir to farther regions is too abrupt.

The existence of Planet X over long time spans would gravitationally perturb TNOs originally located beyond 50AU in a way that the majority of these objects could not survive until today (e.g., they would be deflected to orbits out of this region). Thus, this would explain the lack of such TNOs.

- The whole orbital structure of TNOs in the EK belt is very complex. Apart from the classes of TNOs I mentioned above, there are also TNOs in much more elongated or more inclined orbits (up to 50 degrees). Other TNOs are also locked in various different resonances with Neptune. For example, Pluto is in the 3:2 resonance, which means Pluto takes 2 orbits round the Sun while Neptune does 3. Finally, there are also TNOs in peculiar orbits whose origin is very difficult to understand. For example, Sedna's orbit.

Along with the perturbation of the four giant planets (Jupiter, Saturn, Uranus, and Neptune), Planet X's gravitational perturbation history over 4 billion years or so (since early times) would provide a way to explain why distinct classes of TNOs and other peculiar members exist today.

There are other merits of including Planet X in the dynamical evolution of the solar system and TNOs, but I suppose the three cases above would suffice.

2

FRANCE

It looks like the search of the planet X is an old hunt. And that some scientists who searched for it didn't find it. Why is it important for you to take back the chase?

Firstly, although the search for a distant planet in the solar system is old, it is far to be over. Indeed, planets as big as Mars or the Earth (or even a bit larger) may have easily escaped detection if they are either located too far away (say, a few times more distant than Pluto) or/and possess inclined orbits to the plane of the Earth's orbit (say, 10 degrees or more).

In addition, the number of modern theoretical studies based on "planet X" is quite small. Such a planet could have formed in distant outer regions of the solar system, or perhaps represent a remnant big object that was scattered outwards during late stages of planet formation.

It turns out that the problem involving a distant planet in the outer solar system is not well explored neither understood on both observational and theoretical grounds. Therefore, I decided to perform a much more comprehensive study of the role of an outer distant planet.

Among the evidences of this planet, you speak about orbital excitation in the 40-50AU region? Can you explain more about that? What are these bodies exactly? What were the effects of the planet on them and how did it work?

It is hard to explain why several TNOs have quite inclined and/or elongated orbits (more eccentric) within distances between about 40 and 50AU. In fact, when considering the architecture of the solar system (8 planets, the last one being Neptune), astronomers were expecting to find TNOs in that region mostly in almost circular orbits, and lying around the same plane of the solar system. Another remark is that TNOs in the 40-50AU region may represent remnants of planetesimals that formed locally more than 4 billion years ago, so these objects offer unique clues on the origin and evolution of the solar system.

When taking the gravitational perturbation of an outer planet into account, I found that this planet could explain the orbits of those TNOs remarkably well during the early solar system (more than 4 billion years ago). In other words, the planet perturbed the orbits of several TNOs in the 40-50AU region in a way that they acquired more eccentric and inclined orbits.

About the scenario of its formation, you say it was scattered by a giant planet: which one has you preference? And how exactly was it ejected?

Where was the planet formed compared to the position of the giant planets?

I do not have the answer to these questions yet. I am currently performing new simulations to investigate what the best conditions in the early solar system were for the planetoid to be scattered from the giant planet region (initial position, giant planet with highest probability of scattering the outer planet, etc.). Anyway, this planet was gravitationally scattered by at least one of the giant planets, because an object located in between the giant planets has an unstable orbit. However, since Jupiter (and also Saturn at a lesser extent) tends to eject objects from the solar system more easily, I suspect the planet may have formed beyond the Jupiter-Saturn region to have a better chance of remaining bound to the solar system.

About the resonance of the KBO, what was the role of the planet?

If you refer to the populations of TNOs in resonances with Neptune, the role of the planet was to perturb the 40-50AU region of the Kuiper belt, thus providing the necessary initial orbital conditions for the formation of distant resonant TNOs, in particular (beyond 50AU).

Then, if I well understand the planet was trapped by a resonance of Neptune when Neptune migrated outwards. Is it correct?

Yes, that is one possibility. Another one is resonance capture after Neptune ended its migration phase.

So you say the planet X created the detached and the TNO with $i > 40^\circ$. Again, what was the mechanism exactly, the effects of the planet on the body?

Well, the mechanism is basically gravitational perturbation by the planet. That is, TNOs that were perturbed by the planet received subtle accelerations during close approaches with it, thus suffering “deviations” or “deflections” in their orbits. The cumulated effect of such perturbations over billion of years led then to the formation of almost all detached and TNOs with $i > 40^\circ$.

You speak about a stability of the TN belt. Why this term? What do you mean exactly? That the far region of the belt would have been broken without the planet?

For stability I mean that the orbits of objects in the belt remain essentially unchanged over very long timescales (for example, more than 4 billion years). In particular, this is an expected outcome for objects that do not get too close to Neptune or any other planet during their orbits. On the other hand, when considering the outer planet, it could not approach TNOs for too long, otherwise their orbits would become unstable, thus “destroying” the whole belt. That is why the planet must have a large final perihelion distance (at least 80AU).

Can we imagine some other planets were ejected like the planet X in the beginning of the solar system? So can we find other planets in the Kuiper belt?

Yes, indeed it is very probable that other planetoids were ejected, or collided with the giant planets or with each other in the beginning of the solar system. If the initial number of such massive bodies was relatively large (say, hundreds), it is possible that not only one, but maybe two or more planets survived in very distant orbits (beyond 100AU, at least).

What are the main observationally testable predictions?

The planet itself would appear as a bright and slowly moving object in the night sky. I estimated it could be as bright as Pluto if it was close to perihelion. It would also be moving at a slower apparent rate in the sky than Eris and other recently discovered big TNOs, for example. In addition, because of the planet’s inclined orbit (around $20-40^\circ$), its current position in the sky would be approximately the same amount of degrees away from the Earth’s orbit planet (the ecliptic, which is very close to the plane of the solar system), where most surveys focus their searches.

For TNOs, the main prediction is that detached TNOs would possess perihelia between 40 and 60AU, and inclinations ranging from nearly zero to about 50-60°.

[What will you do to find it? With which telescopes?](#)

I have no plan to conduct observations at the moment. In fact, because telescope times are quite limited, I need to better constrain any preferred locations in the sky before applying for telescope times. Therefore, more theoretical work is necessary.

[Why didn't we find it before?](#)

It should be noted that all wide area surveys (those able to find bright objects) conducted thus far have searched for objects moving at apparent sky motions equivalent to typical distances in the Kuiper belt, and on sky regions near the ecliptic. Thus, since the planet is quite distant and in an inclined orbit, it has very probably escaped detection because it is either too far away (moving below typical detectable sky motions), or because it is at a position far from the ecliptic (an inclined planet would spend very little time of its orbit near the ecliptic).

[Can you speak about the characteristics of the planet: what would be its mass, size, distance, eccentricity, inclination and resonance with Neptune?](#)

[It would be made like Pluto of rock and ice?](#)

The following properties are somewhat uncertain, because they depend on various assumptions in the model. So, slightly different values cannot be ruled out.

Mass: 0.3-0.7 times the Earth's mass.

Size: 10000-16000km.

Distance: 80-120AU for the closest, and 80-270AU for the farthest orbit (standard case).

Eccentricity: 0.20 for the closest, and 0.54 for the farthest orbit.

Inclination: 20-40°.

Resonance: r:1, where r is an integer ranging from 6 to 14.

About the physical composition, the planet would be a body with a rocky core and several ices in upper layers and on the surface. It could be imagined as a "superpluto".

[What about the problems with the other models? Particularly with the Nice model.](#)

[For you it is not complete and the planet X is precisely what it missed?](#)

[Do you think their model has more problems than yours? Which one?](#)

Except the Nice model, the problem with past models is that they in general try to explain only one or a few constraints from the Kuiper belt at a time, while a comprehensive model should try to satisfy as many constraints as possible.

Although the Nice model is a recent and comprehensive scenario for the outer solar system, the results concerning the Kuiper belt do not seem to reproduce all main constraints simultaneously. The results are also not presented with the detail needed for a full comparison with a fine structure such as the Kuiper belt (with distinct populations, peculiar TNOs, etc.). Concerning some specific problems with the Nice model, it is unclear if a substantial detached population (as estimated by unbiased observations) with its orbital structure can be obtained in the model. Besides, the model has still great difficulty in reproducing TNOs with low inclinations in the 40-50AU region. Another

problem is the model does not address certain important features, such as the abrupt decrease of the number of TNOs beyond about 45AU, formation of very high inclined TNOs (ex: Eris), origin of Sedna's orbit, formation of Neptune Trojans, among others. Finally, the Nice model does not provide any predictions. In other words, the model cannot be tested with future observations.

Worth noting, all these features are much less problematic to explain in our proposed scenario. Indeed, our model has less problems overall. The model can also explain in detail an unprecedented large number of features of the Kuiper belt. Therefore, it is currently the most complete scenario to explain the whole trans-neptunian region.

[What do you answer against the critics of your model, particularly the critics of the authors of the Nice model?](#)

Well, only the authors of the Nice model criticized negatively the model. However, I believe their criticism was exaggerated and unbalanced, because it does not make sense trying to dismiss a promising scenario that has just born. Besides, our scenario's virtues were also completely ignored. But of course, this is not so surprising, because we have competing models.

[They say you don't reproduce the late heavy bombardment. What is your answer?](#)

This is not a problem at all. The Late Heavy Bombardment (LHB) event is still under debate in the astronomy community, so that the LHB claim is completely inconclusive yet. Saying that the LHB happened or not has the same weight.

Therefore, the LHB event cannot be considered evidence in favor of the Nice model because we even do not know if the LHB is real. The only thing we can affirm is that the Nice model supports a LHB-like event in the past, not the opposite!

[Why are you against the other hypothesis of the passing star?](#)

The passing star scenarios have a major drawback. For these scenarios to work, a star must have passed nearby the solar system when our system was very young, perhaps when it was only a few million years old. However, if a star passed during this early time, TNOs would not have formed yet by accretion. And worse, the growth of TNOs would have been interrupted, in complete conflict with observed TNOs. Alternatively, TNOs could form very quickly by gravitational instability, but this mechanism is much disfavored in Kuiper belt science.

[Concerning the cliff in the KB. Why can we compare it to the phenomenon that explains the same sharp end of the Saturn's rings? How does it work?](#)

I am not sure how it could be compared, because I did not make this comparison in my present research.

[Can we say the planet was smaller when it formed and after swept matter during its movement outwards the solar system?](#)

I think this is unlikely, because the planet would have ended in an orbit relatively close to the solar system and at the same time near the ecliptic plane. With such characteristics, it would hardly be missed by observations.

3

BRAZIL

About this hypothetical Planet X (using the same nomenclature used by American astronomer Percival Lowell in early century XX during his search for a planet beyond Neptune), could it satisfy the three criteria of the IAU to be considered a planet?

In principle, yes, because the planet would gravitationally dominate its orbital region. However, it is not possible to answer this question for sure, because several uncertainties are involved.

These uncertainties are the total mass of the Kuiper belt, the exact mass of this planet, a more clear definition of “orbital clearance” (third IAU criterion), among others.

In particular, notice that it is not possible to determine the exact mass of this planet at the moment. According to the results, I estimate it would have at least several tenths of the Earth’s mass. That would be already much more massive than Pluto though.

[Portuguese]

Mas e quanto a esse hipotético Planeta X (para usar a mesma nomenclatura que o americano Percival Lowell usou no início do século XX para dar início à busca de um planeta além de Netuno), ele poderia cumprir os três critérios?

Em princípio, sim, pois o planeta dominaria sua região gravitacionalmente. Mas não é possível responder a essa questão com 100% de segurança, pois há várias incertezas envolvidas.

Essas incertezas vão desde a quantidade de massa total no cinturão de Kuiper até a imprecisão na definição do que é uma "limpeza" de órbita.

Também não é possível determinar a massa exata desse planeta. De acordo com as estimativas feitas até agora, ele teria, por baixo, alguns décimos da massa da Terra -- o que já é bem mais que o porte de Plutão. E poderia até ser maior que a Terra!

4

PORTUGAL

[Portuguese]

Poderia explicar numa linguagem mais corrente no que consiste a vossa proposta?

A teoria de formação planetária mais aceita prevê que os planetas formam-se através da acreção de planetesimais, que são os objetos menores formados nos primeiros milhões de anos do sistema solar, distribuídos num disco protoplanetário (ou seja, no início o disco é composto por inúmeros planetesimais). Nos primeiros instantes após a formação dos planetas gigantes, estes ainda estavam mergulhados no disco protoplanetário com a presença de uma população remanescente de planetesimais, dentre os quais havia dezenas ou centenas de objetos com massas consideráveis (na ordem de poucos/alguns décimos a massa da Terra). A última etapa de formação planetária é a “limpeza” das regiões próximas das órbitas dos planetas gigantes. Em outras palavras, os planetas tornam-se tão massivos que eles ejetam os planetesimais na vizinhança deles através de espalhamento gravitacional.

Então, eu proponho que um desses planetesimais bastante massivos (por exemplo, com a metade da massa da Terra), originalmente ejetado da região próxima de onde Urano e Netuno se formaram, perturbou o cinturão de Kuiper primordial por talvez uns 100 milhões de anos, e depois adquiriu uma órbita estável, inclinada e longínqua, sobrevivendo por mais de 4 bilhões de anos nos confins do sistema solar. Este planetesimal massivo estaria agora orbitando o Sol a uma distância média de pelo menos 100 UA (unidades astronômicas), ou cerca de 3-4 vezes mais distante que Plutão. Ou seja, um planeta transplutônio distante e massivo.

É importante notar que a evolução orbital desse planeta seria responsável para explicar várias características do cinturão de Kuiper, dentre as quais destaco algumas em especial: 1) a excitação atualmente observada na região entre 40-50 UA; 2) os diferentes tipos de populações de objetos do cinturão e suas características orbitais; 3) o truncamento do cinturão em torno de 48 UA; 4) a pequeníssima massa total do cinturão.

O modelo em si consiste em simulações dos 4 planetas gigantes, o planeta transplutônio, e discos de planetesimais compostos de milhares de objetos. O modelo é dividido em 3 fases principais para a história do sistema solar logo após a formação dos planetas gigantes: I – excitação do cinturão de Kuiper e truncamento do mesmo nos primeiros 100 milhões de anos pelo planeta; II – migração dos planetas gigantes e transporte do planeta para uma órbita inclinada e longínqua através de interações ressonantes com Netuno (durante algumas centenas de milhões de anos); III – evolução do sistema solar exterior com esses planetas e o cinturão por cerca de 4 bilhões de anos.

É a primeira vez que este cenário é colocado?

Apesar de que a ideia da existência de um planeta além de Plutão não é nova (vide o “Planeta X” tratado em artigos científicos anteriores), o meu cenário como explicado acima é totalmente novo. A propósito, os resultados do meu modelo eliminam a validade de todos os cenários anteriores baseados nessa ideia!

Enfim, é a primeira vez que a ideia de um planeta espalhado gravitacionalmente da região Urano-Netuno, e que sobreviveu no sistema solar numa órbita longínqua, é proposta.

Tendo já sido detectados outros corpos mais pequenos para lá de Plutão porque nunca foi detectado um planeta destas dimensões?

Ha' varios motivos: 1) o planeta seria brilhante por ser grande e possuir uma superficie razoavelmente refletiva. Mas objetos brilhantes sao raros no ceu. Logo, para acha-los e' preciso observar grandes areas do ceu. Esses sao os wide area surveys. Acontece que a grande maioria desses surveys tem uma sensibilidade limitada para detectar o movimento aparente no ceu de tais objetos, em torno de 1.5 arcsec/hora. No meu cenario, o planeta teria pelo menos uma distancia media de 100 UA, implicando em movimentos aparentes geralmente menores do que 1.5 arcsec/h; 2) o planeta teria uma inclinacao orbital entre 20 e 45 graus. O detalhe e' que em tal configuracao o planeta passaria proximo do plano do sistema solar durante apenas 1-4% de sua orbita. Como todos os surveys ate' o momento sondaram regioes geralmente proximas desse plano, os mesmos tiveram chances infimas de detecar quaisquer planetas em orbitas mais inclinadas.

Concluindo, o planeta transplutoniano proposto aqui muito provavelmente escapou de ser detectado porque esta' movendo-se aparentemente no ceu muito lentamente (abaixo da sensibilidade dos surveys ate' o momento), ou porque esta' longe do plano do sistema solar em sua orbita inclinada, ou por ambos os motivos combinados.

Quais seriam as características de um corpo com estas dimensões e nesta específica localização? Um gigante rochoso?

O planeta seria uma especie de “superPlutao”, pois muito provavelmente seria composto por gelos (ex: de agua, metano e monoxido de carbono) e rochas. Apesar de que e' dificil dar um valor “exato”, o planeta teria o diametro da Terra, aproximadamente.

Poderia indicar-me se através do vosso estudo é possível ter uma ideia acerca de dados mais concretos? Órbita? Afélio? Periélio? Possível atmosfera? Constituição química? Um Plutão XXL?

O valor do semi-eixo maior (a) estaria entre 100 e 175 UA, e o perielio (q) certamente maior ou igual a 80 UA. O afelio (Q) seria mais incerto, pois depende das incertezas dos valores anteriores, mas poderia ser 120 ou mesmo 270 UA. Vale lembrar que nenhum desses valores pode ser considerado “exato”. Alguns exemplos de possiveis orbitas hipoteticas: a = 100 UA, q = 80 UA, Q = 120 UA; a = 130 UA, q = 80 UA, Q = 180 UA; a = 175 AU, q = 80 UA, Q = 270 UA. Se q for maior, os valores de Q diminuiriam.

Com uma orbita longinqua e com a possivel composicao que comentei acima, o planeta provavelmente nao teria atmosfera. Em outras palavras, o planeta seria um mundo congelado. Por outro lado, caso houvesse alguma fonte interna de energia (por exemplo, decaimento de elementos radioativos), a possibilidade de haver uma atmosfera aumentaria.

O planeta, tendo se formado originalmente na regio de Urano e Netuno ha' 4.5 bilhoes de anos atras, seria composto principalmente por rochas e gelos, em particular agua, metano e monoxido de carbono, que sao os compostos mais comuns no sistema solar exterior.

Terei entendido bem quando se diz no abstracto que a cintura de Kuiper perdeu aproximadamente 99% da sua massa? Foi este material que deu origem ao proposto planeta? Existiria material suficiente na formação do sistema solar para dar origem a um gigante destes?

Sim, acredita-se que o cinturão perdeu a grande maioria de sua massa original, mas este material não originou o planeta proposto. Como falei anteriormente, o planeta teria se formado na região Urano-Netuno, onde havia material mais do que suficiente para a formação do mesmo.

[Qual é a corrente aceita atualmente para a estabilidade da cintura de Kuiper?](#)

Não sei se entendi bem a pergunta, mas no geral sabemos que a maioria dos objetos no cinturão tem órbitas estáveis. Alguns objetos são mais instáveis e inevitavelmente sofrem alterações profundas em suas órbitas (por exemplo, alguns destes podem se tornar cometas).

[Que reações esperam da vossa apresentação no DPS?](#)

Bem, eu espero duas reações básicas: ceticismo e interesse numa nova perspectiva. Ceticismo porque alguns astrônomos acham que não existe outro planeta além de Plutão após várias décadas desde a descoberta do último. Mas claro, eles desconhecem os detalhes que explicam a não-detecção (como expliquei acima!). Por outro lado, alguns podem ver o meu modelo como algo realmente promissor, incentivando novos surveys para tentar achar o suposto planeta, ou mesmo novas ideias para a elaboração de novos cenários.

[Que consequências pode ter a comprovação da vossa teoria no estudo da formação dos sistemas solares?](#)

Uma das principais consequências seria a confirmação da ideia de que a formação planetária é um processo realmente caótico, com a ejeção de vários planetesimais com massas variadas, e a possibilidade de alguns desses objetos poder “sobreviver” em órbitas distantes no sistema solar. Ou seja, enquanto os planetas gigantes limpavam suas regiões de formação, ao mesmo tempo uma certa parcela dos planetesimais seria depositada em regiões muito mais distantes.

Outra consequência seria o fato de que sistemas solares estenderiam-se a distâncias muito maiores do que normalmente suposto, onde poderíamos observar alguns planetas com órbitas longínquas através do processo de espalhamento gravitacional de planetas gigantes e possíveis interações ressonantes com os últimos.

A descoberta de um planeta transplutoniano como proposto aqui também abriria a possibilidade de haver outros corpos relativamente massivos e ainda mais distantes em nosso sistema solar.

[Que sequência levará o vosso estudo? Onde se concentrarão esforços futuros?](#)

Creio que estudos e modelos teóricos terão que melhorar incluindo por exemplo a evolução orbital de inúmeros planetesimais massivos no processo de formação planetária. Na área de observação, os surveys poderão sondar objetos movendo-se muito mais lentamente (por ex: <1.5 arcsec/h) e também mais afastados do plano da eclíptica para aumentar as chances de descobrir objetos com órbitas mais inclinadas.

5

FRANCE

When did you made this research and when did you obtain results?

I've been researching the effects of the perturbation of a massive body beyond Neptune for the last 2 years. The latest results came out around the middle of last year. However, this is just the starting point of the research and I intend to continue the investigation improving the model.

What are, in the Kuiper Belt, phenomenons which are not yet explicated and wich is the starting point of your research?

In summary there are 3 main "mysteries" in the distribution of trans-Neptunian objects (TNOs) in the Kuiper belt. The starting point of my research was motivated by the following constraints:

1 - It's hard to explain why several TNOs have quite inclined and/or elongated orbits within distances between about 40 and 50AU, in the so-called "classical region" of the belt. Neptune's gravitational perturbation cannot explain this.

2 - According to observations and studies based on discovery statistics, there is a lack of TNOs in circular orbits at distances beyond about 45AU. In addition, the decrease of the number of TNOs from the 40-50AU reservoir to farther regions is too abrupt. This characteristic is also called the Kuiper belt outer edge.

3 - The whole orbital structure of TNOs in the Kuiper belt is very complex. There are at least 4 distinct classes of TNOs with varied orbits (from circular to very elongated) and inclinations up to 50 degrees at the moment. In particular, I stress the group of TNOs whose orbits are "detached" from the solar system. That is, their closest distance to the Sun along their orbits is too far to suffer any important perturbation from Neptune. Thus, it's very difficult to understand the origin of detached TNOs and other TNOs in peculiar orbits (a famous example is the object Sedna).

How did you made your simulations?

I used two orbital integrators (computer codes) to solve the equations of motion of a system of planets and small bodies in the solar system. These codes have been used in other dynamical investigations by other researchers as well. After setting up the initial conditions and the model including the planets + the hypothetical planet + many thousands of small bodies (representing the primordial Kuiper belt objects), I ran hundreds of simulations using on average 40 ordinary PCs distributed in networks at the university.

To sum up, what are your results?

In summary, these are the main results of my model:

1 - It reproduces the whole orbital distribution of the Kuiper belt at an unprecedented detailed level. That is, the four main classes of TNOs, their orbital structure and several other features are reproduced. This also includes an explanation to TNOs in peculiar orbits, such as Eris, 2004 XR190, 2000 CR105, and Sedna.

2 - It explains the orbital excitation of TNOs in the 40-50AU region with final orbital structure remarkably similar to observations.

3 - The Kuiper belt outer edge is fully explained.

4 - It offers several predictions, such as the possible existence of a resident outer planet within the solar system and new types of TNOs in more inclined and/or more distant orbits. This is very helpful to test the model and to motivate future observations.

[What do you answer to Alessandro Morbidelli and his colleagues which have an other vision of the solar system formation?](#)

Well, I believe that the success of my model in explaining several features in the trans-Neptunian region suggests that the perturbation of massive bodies in the early solar system played an important role in the formation of our system (contrary to their model, where they consider only the 4 giant planets).

On the other hand, although both models have quite distinct visions, I think that it will be possible to find a more "unified model" in the future. In other words, there are some features of one model and other features of other models that, when combined, may provide better results and a more complete description of the origin and evolution of the solar system.

[You calculated the presence of a planet, which is big like 1/2 earth, could you describe it, and its formation and its ride?](#)

Well, this planetoid probably formed around the same region where Uranus and Neptune formed. Then, this object and other big bodies were scattered or ejected from this region by the gravitational perturbation of the giant planets. Finally, the idea is that the Kuiper belt shows now the "fingerprints" of the perturbation of this planet since the early solar system times.

Concerning the planet itself, the following properties are somewhat uncertain, because they depend on various assumptions in the model. So, slightly different values cannot be ruled out.

Mass: 0.3-0.7 times the Earth's mass.

Size: 10000-16000km.

Distance: 80-120AU for the closest, and 80-270AU for the farthest orbit (standard case).

Eccentricity: 0.20 for the closest, and 0.54 for the farthest orbit.

Inclination: 20-40°.

About the physical composition, the planet would be a body with a rocky core and several ices in upper layers and on the surface. It could be imagined as a "superpluto".

[Do you have illustrations which describe your model and the planet, its formation and its ride?](#)

Yes, there are a few in the following links. In addition, I invite you to check and read the texts in those links because they provide much more detailed information about my research and the model with a hypothetical planet:

* Kobe University Press Release:

http://www.kobe-u.ac.jp/en/info/topics/t2008_03_04_01.htm

* CPS Press Release:

http://www.org.kobe-u.ac.jp/cps/press080228_j.html

This last page is in Japanese, but you can download high resolution illustrations. In addition, at the bottom of the same page, you can find PDF documents numbered from 1) to 5). The documents 1) and 2) are in English and may be useful too (especially the second).

* Reprint of the AJ paper about this research:

<http://harbor.scitec.kobe-u.ac.jp/~patryk/Patryk-Planetoid.pdf>

6

UNITED STATES

Could you explain in nontechnical terms what it is about the arrangement of the TNOs that made you suspect a large hidden planet might be lurking beyond Pluto?

In summary there are 3 main "mysteries" in the distribution of trans-Neptunian objects (TNOs) in the Kuiper belt. The starting point of my research was motivated by the following constraints:

1 - It is very difficult to explain why several TNOs possess quite inclined and/or elongated orbits within distances between about 40 and 50AU, in the so-called "classical region" of the belt. Furthermore, there is compelling evidence for the existence of two TNO subpopulations with different properties in the same region. Worth noting, Neptune's gravitational perturbation cannot explain all these characteristics, but this hypothetical planet could do the job very well.

2 - According to observations and studies based on discovery statistics, there is a lack of TNOs in circular orbits at distances beyond about 45AU. In addition, the decrease of the number of TNOs from the 40-50AU reservoir to farther regions is too abrupt. This feature is also called the Kuiper belt outer edge. When taking into account the existence of this planet, the Kuiper belt outer edge can be fully explained for the first time.

3 - The whole orbital structure of TNOs in the Kuiper belt is very complex. There are at least 4 distinct classes of TNOs with varied orbits (from circular to very elongated) and inclinations up to 50 degrees at the moment. In particular, I stress the group of TNOs whose orbits are "detached" from the solar system. That is, their closest distance to the Sun along their orbits is too far to suffer any important perturbation from Neptune. Thus, it is very difficult to understand the origin of detached TNOs and other TNOs in peculiar orbits (a famous example is the object Sedna). On the other hand, my model can reproduce the bulk orbital distribution of the Kuiper belt with its four main classes of TNOs. Indeed, their orbital structure and several other features are reproduced at an unprecedented detailed level. This also includes an explanation to TNOs in peculiar orbits, such as Eris, 2004 XR190, 2000 CR105, and Sedna.

According to your model, how far away from the sun is this planet?

The planet's semimajor axis is probably in between 100 and 200AU. Unfortunately it is not possible to constrain its current distance from the Sun, but on average it would be around 3-4 times more distant than Pluto.

How far away does the sun's gravitational influence extend?

It extends at least to the outer regions of the Oort cloud, at distances around 50000-100000UA (these values are model dependent). Bodies at these distances or farther out can still "feel" the Sun's gravity, but they would be on very weakly bound orbits, in a way that external perturbers (neighboring stars, giant molecular clouds and/or the Galaxy tides) could easily change the orbits of these objects to unbound orbits (i.e., they would escape the solar system).

What do the two of you call this hypothetical planet among yourselves? Have you given it a name?

There is no specific nickname. Officially I mention it as the 'outer planet', but usually we call it just the 'planetoid' for brevity.

Are there tests that can be performed to confirm or deny your theory? Could the planet ever be directly observed?

Yes, there is. The test is simply direct observation (yes, it is possible). In other words, the planet would appear as a bright and slowly moving object in the night sky. I estimated it could be as bright as Pluto or other large TNOs if it was close to the minimum perihelion possible (80 AU).

There are ongoing and future wide sky area surveys that could find the planet as proposed in my model. The most promising observational program I am aware of is Pan-STARRS.

Explain in laymen's terms why you decided to investigate whether another out planet might exist beyond pluto?

Well, the main reasons that motivated me to do this investigation are mentioned in my first answer above (the mysteries of the Kuiper belt). There are additional motivations too. Firstly, although the search for a distant planet in the solar system is old, it is far to be over. Indeed, planets as big as Mars or the Earth (or even a bit larger) may have easily escaped detection if they are either located too far away (say, a few times more distant than Pluto) or/and possess inclined orbits to the plane of the Earth's orbit (say, 10 degrees or more). In addition, the number of modern theoretical studies based on hypothetical trans-plutonian planets is quite small. It turns out that, independent of the constraints from the Kuiper belt, the problem involving a distant planet in the outer solar system is not well explored neither understood on both observational and theoretical grounds.

What do you think of the recent IAU ruling that planet-sized objects beyond the orbit of Neptune are to be called 'Plutoids'?

Well, it is not clear to me how useful this term might be, or what is the scientific justification for this particular classification.

Finally, I invite you to check the following links because they provide more detailed information about my research and the model with a hypothetical planet:

* Kobe University Press Release:

http://www.kobe-u.ac.jp/en/info/topics/t2008_03_04_01.htm

* CPS Press Release:

http://www.org.kobe-u.ac.jp/cps/press080228_j.html

This last page is in Japanese, but you can download high resolution illustrations. In addition, at the bottom of the same page, you can find PDF documents numbered from 1) to 5). The documents 1) and 2) are in English and may be useful too (especially the second).

* Reprint of the AJ paper about this research:

<http://harbor.scitec.kobe-u.ac.jp/~patryk/Patryk-Planetoid.pdf>

7

BRAZIL

[Portuguese]

Nome Completo -

Patryk Sofia Lykawka.

Idade -

31.

Formacao -

Doutor em Ciencias Planetarias.

Ocupacao Atual -

Pesquisador da Sociedade Japonesa para a Promocao da Ciencia (pos-doutorando).

1) Ha alguns meses voce publicou um estudo propondo a existencia de um novo planeta. Como chegou a conclusao de que ele existe?

A estrutura orbital de objetos no cinturao de Kuiper situado alem da orbita de Netuno e' extremamente complexa e dificil ser explicada. Entao, eu realizei simulacoes por computador para tentar explicar tal estrutura. No meu modelo teorico, ao incluir a perturbacao gravitacional dos planetas e de um planeta hipotetico, eu verifiquei que e' possivel compreender varios aspectos e peculiaridades das orbitas dos objetos situados no mesmo cinturao. Portanto, as evidencias a favor da existencia deste suposto planeta sao indiretas.

Especificamente, a evolucao orbital desse planeta seria responsavel para explicar varias caracteristicas do cinturao de Kuiper, dentre as quais destaco algumas em especial: 1) a excitacao atualmente observada na regioao entre 40-50 UA; 2) os diferentes tipos de populacoes de objetos do cinturao e suas caracteristicas orbitais; 3) o truncamento do cinturao em torno de 48 UA; 4) a pequenissima massa total do cinturao.

Obs: 1 UA = distancia media Terra-Sol ~ 150 milhoes de quilometros.

Obs2: Gostaria de enfatizar que o tal planeta ***poderia*** existir, pois o que propus e' um modelo teorico cuja comprovacao somente sera' possivel com observacoes astronomicas.

Mais detalhes sobre a minha teoria :

<http://harbor.scitec.kobe-u.ac.jp/~patryk/index.html>

<http://www1.folha.uol.com.br/folha/ciencia/ult306u376934.shtml>

<http://www1.folha.uol.com.br/folha/ciencia/ult306u377546.shtml>

<http://g1.globo.com/Noticias/Ciencia/0,,MUL260555-5603,00->

<BRASILEIRO+SUGERE+EXISTENCIA+DE+NOVO+PLANETA+NO+SISTEMA+SOLAR.html>

<http://noticias.terra.com.br/ciencia/interna/0,,OI2645044-EI302,00.html>

2) Se ele realmente existe, porque nunca foi detectado?

Em primeiro lugar, o planeta seria brilhante por ser grande e possuir uma superfície razoavelmente refletiva. Mas objetos brilhantes são raros no céu. Logo, para achá-los é preciso observar grandes áreas do céu. Segundo, vamos lembrar que os programas de observação usando telescópios têm uma sensibilidade limitada para detectar o movimento aparente no céu de corpos celestes nos confins do sistema solar. Em outras palavras, tal limitação implica em uma distância máxima para que a detecção por telescópios seja possível. Além disso, todos os principais programas de observação de objetos no cinturão de Kuiper (ou além) sondaram regiões geralmente próximas do plano das órbitas dos planetas até o momento. Por último, o suposto planeta teria uma órbita tal que ele estaria a grandes distâncias em relação ao Sol (em média, 150 UA). Além disso, a órbita do planeta estaria inclinada em relação ao plano que mencionei antes (em torno de 20-40 graus).

Concluindo, o tal planeta escapou de ser detectado porque está no momento a uma distância além daquela detectável, ou porque está longe do plano do sistema solar em sua órbita inclinada (as chances de detecção são ínfimas para observações sondando o tal plano), ou por ambos os motivos combinados.

3) Quais as implicações para o Sistema Solar caso esse hipotético planeta realmente exista?

Uma das principais consequências seria a confirmação da ideia de que a formação planetária é um processo realmente caótico, com a ejeção de vários planetesimais (objetos menores, considerados os "ingredientes" para a formação de planetas) com massas variadas, e a possibilidade de alguns desses objetos poderem "sobreviver" em órbitas distantes no sistema solar. Ou seja, enquanto os planetas gigantes limpavam suas regiões de formação, ao mesmo tempo uma certa parcela dos planetesimais seria depositada em regiões muito mais distantes.

Outra consequência seria o fato de que sistemas solares estenderiam-se a distâncias muito maiores do que normalmente suposto, onde poderíamos observar alguns planetas com órbitas longínquas causadas pelo espalhamento gravitacional de planetas gigantes e/ou possíveis interações ressonantes com os últimos.

A descoberta de um planeta transplutoniano como proposto por mim também abriria a possibilidade de haver outros corpos relativamente massivos e ainda mais distantes em nosso sistema solar.

4) É possível que outros corpos, mais distantes ainda (mas ainda no nosso sistema solar) possam ser encontrados?

Sim, considerando as limitações técnicas observacionais que mencionei na minha resposta em 2), é perfeitamente possível que outros corpos grandes possam existir em órbitas distantes (em torno de 100 UA ou mais). Vale também lembrar que muitos desses supostos objetos poderiam ter órbitas inclinadas, e por isso ainda não foram detectados (mesmo a distâncias um pouco menores do que 100 UA).

5) Como é feita a detecção de planetas fora do sistema solar?

Existem várias técnicas para a detecção de planetas extra-solares. Vou comentar brevemente sobre os 3 métodos principais.

- Metodo da variacao da velocidade radial. Consiste na analise da variacao periodica da velocidade radial da estrela atraves do efeito Doppler usando o espectro da luz da estrela. Tal variacao ocorre devido 'a perturbacao mutua entre a estrela e o(s) planeta(s). Na pratica, a estrela faz um "bamboleio" com periodicidades causadas pelo(s) planeta(s) no sistema. A maioria dos planetas extra-solares descobertos ate' o momento forma descobertos atraves deste metodo.

- Metodo do transito. Consiste na analise da curva de luz da estrela (o brilho da mesma num certo intervalo de tempo). Entao, um planeta pode ser detectado porque ao passar na frente da estrela, a intensidade da luz da estrela sofre uma pequena diminuicao (tipicamente menor do que 5%, mas mensuravel pelos detectores atuais).

- Metodo das microlentes gravitacionais. Consiste na analise do brilho da luz de uma certa estrela de fundo. Se ha' um objeto massivo compacto entre o observador e esta estrela no fundo, o brilho da ultima sofre um aumento por causa do desvio da luz pela gravidade do objeto no meio do caminho (analogo a uma "lente de aumento"). Quando ha' um algum planeta no sistema, o brilho do mesmo torna-se detectavel porque o mesmo e' amplificado pela lente gravitacional.

6) Como e possivel descobrir se esses planetas sao parecidos com a Terra?

Vou considerar na minha resposta que "ser parecido" com o nosso planeta significa o planeta possuir massa em torno de 50-200% a massa da Terra e uma orbita relativamente estavel dentro da zona habitavel do sistema. Tal zona habitavel normalmente compreende o intervalo de distancia em relacao 'a estrela onde o solvente mais abundante do universo, a agua, pode existir na superficie em forma liquida. Sendo assim, primeiro temos que determinar a massa do planeta extra-solar usando alguma relacao matematica de acordo com o(s) metodo(s) de deteccao usado(s) acima. Um problema e' que nossa tecnologia atual ainda nao permite a deteccao de planetas com massas parecidas com a da Terra, apesar de que dentro dos proximos anos tais descobertas tornarao-se realidade. O segundo passo e' verificar a distancia da orbita do planeta em relacao 'a estrela a fim de confirmar se o mesmo estaria na zona habitavel do sistema. Isso pode ser facilmente determinado quando sabemos o periodo orbital do planeta e o tipo de estrela do sistema.

E' claro que outros fatores, tais como propriedades orbitais (ex: circular ou alongada? Inclined?), presenca de uma atmosfera e sua composicao sao tambem importantes na definicao de semelhanca com a Terra.

7) Na sua opiniao, e possivel existir vida nos chamados Exoplanetas? Existe algum que tenha ambiente propicio para isso?

Baseado no conceito de vida tal como a conhecemos aqui na Terra, e' perfeitamente possivel existir vida em outros planetas desde que haja os ingredientes basicos: compostos quimicos baseados no carbono (o melhor candidato), um solvente (a agua) e uma fonte de energia (a estrela). Fatores evolutivos tambem sao fundamentais, tais como a idade do sistema planetario, o tipo de estrela, a presenca ou nao de atmosfera, o tipo de orbita, etc. Por exemplo, se o sistema e' jovem demais, talvez a vida, mesmo a mais simples, nao tenha tido tempo para aparecer.

Apesar da orbita estar intrinsecamente ligada 'a zona habitavel do sistema, a vida poderia existir mesmo em planetas fora dessa regioao privilegiada, onde as condicoes sao bem mais inospitas. A proposito, em nosso planeta ja' foram encontradas formas simples de vida em ambientes extremos de temperatura, pressao, luminosidade e composicao quimica.

Para completar, e' interessante notar que satelites naturais de alguns planetas (em particular, os planetas gigantes) podem oferecer perspectivas mais propicias em relacao 'a questao de vida.

8) Como seria a aparência e a química desse suposto novo planeta? Qual a distância dele em relação à Terra?

O planeta hipotético estaria sempre muito distante do Sol em sua órbita, em média a cerca de 150 UA (na prática, não é possível determinar uma órbita específica). Por isso, neste mundo distante a temperatura típica seria de -250 graus Celsius, o que também torna difícil a existência de alguma atmosfera. A superfície do planeta seria muito provavelmente coberta de gelos em geral (por exemplo: água, metano, nitrogênio e outros compostos típicos da região).

O tamanho do planeta seria em torno de 10000-16000km, ou cerca de 75-125% o tamanho da Terra. Infelizmente não é possível determinar um valor exato porque não sabemos quais seriam as propriedades físicas do tal planeta (por exemplo, a sua densidade média).

9) Quantos planetas os astrônomos esperam descobrir nos próximos anos?

No sistema solar, não há previsão. Claro, o planeta proposto por mim e/ou outros planetas em órbitas mais longínquas podem existir.

Fora do sistema solar, certamente pelo menos muitas centenas! Nos últimos anos já foram descobertos mais de 200 planetas extras-solares. Com o advento de novos telescópios terrestres e espaciais, novas técnicas de detecção e o aprimoramento das técnicas atuais, o número de descobertas será enorme.

10) A viagem para exoplanetas (ou planetas em nosso sistema solar), será viável algum dia? Quais as alternativas?

Viagem tripulada? Se for o caso, acredito que sim, mas não num futuro tão próximo. No sistema solar, o melhor candidato é sem dúvida Marte, por sua proximidade e por ter propriedades parecidas com a da Terra.

Por outro lado, há muitos desafios ainda a serem vencidos numa viagem interplanetária, tanto tecnologicamente quanto em termos de segurança e adaptação num ambiente extraterrestre para o ser humano (ex: ainda não sabemos como o corpo humano reagiria a uma missão longa). Além disso, tais empreendimentos dependem de grandes recursos financeiros.

Então, considerando todos os fatores, uma viagem tripulada a Marte vai demorar muitos anos para sair do papel. Tendo dito isso, uma viagem (mesmo não-tripulada!) para algum exoplaneta é completamente inviável num futuro próximo.

11) Existe algum projeto em desenvolvimento para tentar levar cosmonautas para outros planetas ou luas?

Pelo que eu saiba há projetos de viagens tripuladas apenas para a Lua e Marte. Em relação à Lua, a NASA tem planos para voltar lá com astronautas dentro das próximas duas décadas. Mas, como comentei acima, as perspectivas para uma viagem a Marte são para um futuro mais longínquo, provavelmente apenas depois do retorno à Lua. A propósito, ambas a NASA e a ESA tem planos independentes para levar o ser humano ao planeta vermelho daqui a uns 30 anos.

12) Com a tecnologia que temos hoje, é possível fazer esse tipo de viagem?

Para a Lua, certamente sim. Para Marte teriamos que esperar mais alguns anos, pelo menos para amenizar os problemas que comentei acima.

13) O que falta para conseguirmos viajar a outros planetas?

Acredito que o que falta pode ser dividido em varios fatores:

- Tecnologia mais avancada, principalmente em termos de propulsao (no espaco) e manutencao da tripulacao em missoes de longa duracao.
- Recursos financeiros, pois tais viagens custariam muitos bilhoes de dolares. Alem disso, vontade politica para que tais recursos sejam liberados (obs: eu nao creio que tal empreendimento seja possivel atraves da iniciativa privada).
- Experiencia, visto que ate' hoje apenas algumas viagens 'a Lua foram realizadas.
- Conhecimento em geral dos planetas. Por exemplo, mal sabemos as propriedades e as condicoes da superficie de Marte. Logo, temos que pesquisar melhor o local de destino a fim de podermos saber com antecedencia mais detalhes da viagem, onde pousar, as condicoes atmosfericas e quimicas da superficie na regio do pouso, etc.

14) O que seria necessario para colonizar um planeta como Marte, por exemplo, e manter uma colonia humana la?

Resumindo:

- Planejar e executar algumas missoes tripuladas de ida-e-volta.
- Achar um local adequado, em particular onde exista agua (ex: gelo no subsolo a uma profundidade pequena)
- Tecnologia para construir e manter uma especie de "redoma" contendo uma atmosfera artificial com oxigenio e com pressao adequada ao corpo humano. Alem disso, alguma especie de protecao contra os raios UV, ions e particulas emitidas pelo Sol e demais formas de radiacao, como raios cosmicos, seria muito provavelmente necessaria. A razao disso e' que nao ha' camada de ozonio nem um campo magnetico em Marte. Alem disso, o planeta tambem tem uma atmosfera muito mais tenue que a nossa, e por isso muito pouco da radiacao em geral e' absorvida antes de chegar na superficie.
- Outras tecnologias ligadas `a exploracao sistematica dos recursos naturais do planeta, criacao de estufas com diversos vegetais e animais, sistemas de comunicacao com a Terra, etc.
- Recursos financeiros e vontade politica, mais uma vez... (com certeza vontade cientifica e' o que nao falta!).

Imagino que ha' varios outros fatores, mas acho que o que citei acima ja' da' uma ideia do desafio que sera' tal empreendimento no futuro!

15) Existe algum fundamento fisico nas teorias que tratam os Buracos Negros como "portais"?

Eu nao conheco nenhuma teoria cientifica que defenda a ligacao entre buracos negros e "portais". Portanto, infelizmente nao sei responder essa pergunta.

16) O que falta para conseguirmos detectar planetas realmente irmaos da Terra, que tenham agua e que, realmente, possam abrigar vida?

Bem, antes de mais nada precisamos melhorar as tecnologias de observacao e deteccao de planetas extra-solares a fim de podermos construir um banco de dados sobre os planetas com massas

semelhantes 'a da Terra que situem-se nas zonas habitaveis em seus respectivos sistemas. Esse catalogo nao esta' disponivel ainda.

Por outro lado, construir esse catalogo e' apenas o primeiro passo. Na pratica, e' necessario tambem fazer analises espectroscopicas da superficie e de uma eventual atmosfera para podermos confirmar a composicao quimica do planeta. O problema e' que tais observacoes exigem altissima precisao nas medicoes, o que provavelmente so' sera' possivel com futuras geracoes de telescopios espaciais.

Ha' outros fatores que devem ser levados em conta tambem, como a idade da estrela no sistema (quanto mais jovem, mais ativa, o que geralmente e' nocivo para a habitabilidade de um planeta), a orbita do planeta, as condicoes de temperatura e pressao na superficie do planeta, entre outros.

17) Atualmente, qual e o maior candidato a "2a Terra?"

No momento so' ha' um candidato para uma futura colonizacao (mas nao imigracao): Marte.

18) Voce acredita que o tema Deteccao Planetaria sera bastante discutido no IYA 2009? (Ano Internacional da Astronomia)

Provavelmente sim, visto que planetas extra-solares e' um assunto com grande atividade cientifica e interesse do publico no momento.

19) Quais suas expectativas para o IYA 2009? O que voce espera?

Eu espero que a astronomia ganhe cada vez mais espaco, nao apenas nos meios de comunicacao, mas tambem em todos os niveis de educacao. Creio que o IAY 2009 sera' uma grande oportunidade para despertar o interesse de educadores, alunos, e o publico em geral em temas relacionados 'a astronomia. Espero tambem que, com uma disseminacao e um espaco maior dedicado 'a astronomia em 2009, as pessoas percebam o quanto a astronomia e' importante para o conhecimento em geral, desenvolvimento intelectual e tecnologico em nossa civilizacao. Dessa forma, espero que os recursos destinados 'a astronomia tambem aumentem em 2009 e anos seguintes.