

Научно-исследовательская работа

Астрономия

## **Пояс Койпера**

***Выполнили:***

***Осташов Даниил Русланович***

*учащийся 10 Б класса*

*МБОУ СШ № 11, Россия, г. Глазов*

***Возмищева Софья Павловна***

*учащаяся 10 Б класса*

*МБОУ СШ № 11, Россия, г. Глазов*

***Ившина Елена Витальевна***

*научный руководитель,*

*учитель физики МБОУ СШ № 11, Россия, г. Глазов*

## Содержание

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                   | 3  |
| 1. Открытие пояса Койпера.....                  | 4  |
| 2. Первые объекты пояса Койпера.....            | 6  |
| 3. Объекты пояса Койпера и миграция планет..... | 8  |
| 4. Состав пояса Койпера.....                    | 10 |
| 5. Категории объектов пояса.....                | 12 |
| 6. Исследование.....                            | 14 |
| 7. Внешняя граница пояса Койпера.....           | 16 |
| 8. Орбитальный резонанс.....                    | 19 |
| 9. Влияние на Солнечную систему.....            | 21 |
| 10. Пояс Койпера и облако Орта.....             | 22 |
| 11. Будущие направления исследований.....       | 24 |
| 12. Заключение.....                             | 26 |
| Список использованных ресурсов.....             | 27 |

## Введение

За орбитой планеты Нептун,  
Где находится царство комет,  
Глыбы льда по пространству плывут  
Уже многие тысячи лет.  
Пояс Койпера – там есть вода,  
Органическое вещество.  
Мы пока что не знаем когда  
Это создано и для чего...

*Андрей Червоноградовъ [7]*

Читая материал о Плутоне и, пытаясь выяснить, почему он потерял статус планеты, мы узнаем, что бывшая карликовая планета - объект так называемого пояса Койпера. С понятием «пояс Койпера» мы не были знакомы, поэтому нам стало интересно узнать о нем побольше и познакомить учащихся нашей школы, создав небольшой учебный фильм.

**Цель работы:** значение объектов пояса Койпера для развития Солнечной системы

- Задачи:** 1. Собрать материал о поясе Койпера или ТНО;  
2. Сделать подробный анализ полученной информации;  
3. Создать познавательный фильм для учащихся.

**Объект исследования:** литература и другие ресурсы о поясе Койпера или ТНО.

**Предмет исследования:** научные теории о возникновении пояса Койпера.

**Методы:** использование Интернет-ресурсов.

**Практическая значимость** данной работы заключается в том, чтобы собранный материал использовать в учебных целях на уроках физики и во внеклассных занятиях по этому предмету.

## 1. Открытие пояса Койпера

Кеннет Эджворт в 1949 высказал предположение, что за орбитой Нептуна должен существовать пояс небольших тел, источник комет, но длительное время в этом регионе не было известно ни одного объекта, кроме Плутона (открыт в 1930) и его спутника Харона (открыт в 1978). Предположения о существовании за орбитой Нептуна многочисленных малых ледяных астероидов (неразличимых в телескопы того времени), неоднократно высказывали с 1930 по 1980 и другие астрономы — американцы Леонард и Уиппл, уругваец Фернандес. [5]

В 1951 Джерард Койпер писал, что если в районе орбиты Плутона некогда существовали небольшие тела, то они должны были сместиться в очень отдаленные области, а пространство, непосредственно прилегающее к Плутону, — свободно от космических тел. Несмотря на такой взгляд Койпера, его имя закрепилось за поясом, существование которого он отрицал. Международный астрономический союз рекомендует называть астероиды внешнего пояса просто транснептуновыми объектами, то есть расположенными за орбитой восьмой планеты — Нептуна. Такое обозначение соответствует географии Солнечной системы и никак не связано с какими-либо научными гипотезами прошлых лет. [5]

В 1987 году астроном Дэвид Джуитт (Массачусетский технологический институт) всерьёз задумался над «кажущейся пустотой внешней Солнечной системы». Пытаясь обнаружить другие объекты за орбитой Плутона, он говорил помогавшей ему аспирантке Джейн Лу: «Если этого не сделаем мы, то не сделает никто». Используя телескопы обсерватории Китт-Пик в Аризоне и обсерватории Сьерро-Тололо в Чили, Джуитт и Лу вели поиски при помощи блинк-компаратора, почти тем же способом, что Клайд Томбо и Чарльз Коваль. Первоначально проверка каждой пары пластинок занимала до 8 часов, в дальнейшем процесс был сильно ускорен при помощи ПЗС-матриц, которые, несмотря на более узкое поле зрения, более эффективно

собирали свет (сохраняли 90% полученного света, тогда как фотопластинки - всего 10%), и допускали процесс сравнения на мониторе компьютера. Сегодня ПЗС-матрицы - основа для большинства астрономических детекторов. В 1988 году Джуитт перешёл в Астрономический институт Гавайского университета. Впоследствии Лу присоединилась к его работе на 2,24-метровом телескопе обсерватории Мауна-Кеа. Позднее поле зрения ПЗС-матриц было увеличено до 1024x1024 пикселя, что ещё более ускорило поиск. После 5 лет поисков, 30 августа 1992 года, Джуитт и Лу объявили об открытии кандидата в объекты пояса Койпера (15760) 1992 QB<sub>1</sub>. Через шесть месяцев они обнаружили второго кандидата, (181708) 1993 FW. [5]

## 2. Первые объекты пояса Койпера

Пояс Койпера (иногда также называемый пояс Эджворта - Койпера) - область Солнечной системы от орбиты Нептуна (30 а. е. от Солнца) до расстояния около 55 а. е. от Солнца. Хотя пояс Койпера похож на пояс астероидов, он примерно в 20 раз шире и в 20-200 раз массивнее последнего. Как и пояс астероидов, он состоит в основном из малых тел, то есть материала, оставшегося после формирования Солнечной системы. В отличие от объектов пояса астероидов, которые в основном состоят из горных пород и металлов, объекты пояса Койпера состоят главным образом из летучих веществ (называемых льдами), таких как метан, аммиак и вода, с небольшими примесями органических веществ, то есть близки к кометному веществу. В этой области ближнего космоса находятся по крайней мере три карликовые планеты: Плутон, Хаумеа и Макемаке. Кроме того, считается, что некоторые спутники планет Солнечной системы, такие как спутник Нептуна Тритон и спутник Сатурна Феба, также возникли в этой области. [5]

Первый объект пояса Койпера, расположенный на расстоянии 41 а. е. был открыт в 1992 году. Его назвали 1992QB1. В настоящее время открыто более 400 подобных объектов, размеры которых превышают 200 км, находящихся далеко за орбитой Нептуна и Плутона. По современным оценкам, в поясе Койпера до 35 000 объектов размерами свыше 100 км, общая численность тел, по расчетам специалистов, оценивается в несколько миллиардов. Следовательно, пояс Койпера имеет полную массу, в сотни раз большую, чем пояс астероидов между орбитами Марса и Юпитера. Объектов пояса Койпера на расстоянии, превышающем 100 а. е. не найдено. Либо далекие тела имеют более темную поверхность, либо за этой границей находятся только мелкие объекты. Ответить на вопрос, где заканчивается Солнечная система, предстоит в XXI веке. Кроме обычных кометных ядер в поясе Койпера обнаружены объекты, поверхность которых имеет выраженный красный цвет. Красный цвет считают признаком наличия

молекул, содержащих углерод и кислород, органические соединения. Могли ли кометы принести на Землю сырье для зарождения жизни? В 2000 году в поясе Койпера обнаружен объект 20-й звездной величины, предварительно названный 2000WR106. По предварительным расчетам он имеет большие размеры (900–1200 км), чем самый крупный астероид Церера, обращающийся между Марсом и Юпитером. Но вне зависимости от этого 2000WR106 является обычным объектом пояса Койпера, а не новой планетой, открытой за орбитой Плутона. Средний радиус его орбиты составляет 43 а. е. Кстати, другой крупный объект пояса Койпера был обнаружен в начале 2000 года. Его радиус оценивается в 600 км. [3]

Очередной крупный астероид в поясе Койпера был открыт в июле 2001 года на расстоянии 42–49 а. е. от Солнца. Он получил наименование 2001KX76. Этот астероид совершает три оборота вокруг Солнца за время, в течение которого Нептун обращается вокруг Солнца четыре раза. Предполагают, что размеры небесного тела составляют 1270 км; в этом случае, он превышает размеры Цереры и спутника Плутона Харона.

Открытия таких крупных объектов пояса Койпера лишний раз подтверждает, что Плутон – не девятая планета Солнечной системы, а лишь крупнейший объект пояса Койпера. К середине 2016 года число найденных объектов составило 2000 (Рисунок 1). [3]

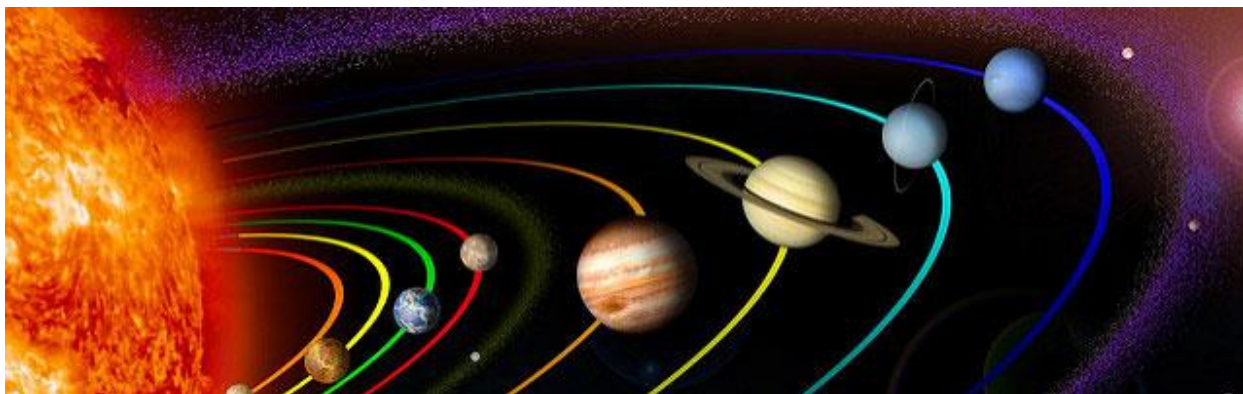


Рисунок 1. Пояс Койпера / NASA

### 3. Объекты пояса Койпера и миграция планет

Было сделано много удивительных открытий, касающихся пояса Койпера (Рисунок 2). Например, обнаружили, что есть разные виды объектов пояса Койпера. Им дали разные названия: классические, резонансные, рассеянные и обособленные. Они динамически отличаются друг от друга — в основном по причинам, связанным с гравитационным контролем Нептуна, который является довольно массивной планетой (в 16 раз массивнее Земли) и находится не так далеко от некоторых объектов пояса Койпера. Нептун накладывает динамическую структуру на пояс Койпера из-за своего гравитационного влияния. Доказали, что Плутон — это просто один из больших объектов пояса Койпера, определили распределение размеров и масс в поясе Койпера и поняли, что это только верхушка айсберга, т.к. 100 000 объектов пояса Койпера были неизвестными. [1]

Несмотря на то, что объектов пояса Койпера, очень много, их масса довольно мала и равна только 10% от массы Земли. Это было загадкой: как формируются эти тела, если у них такая маленькая масса? Очень мало материала распространено по большому объему пояса Койпера. Эти тела растут очень медленно. Модели малой массы пояса Койпера стали горячей темой. Они были основаны на идее, что пояс Койпера был гораздо более массивным, когда начал формироваться, — в 20 или 40 раз массивнее Земли. Но большая часть массы была потеряна. [1]

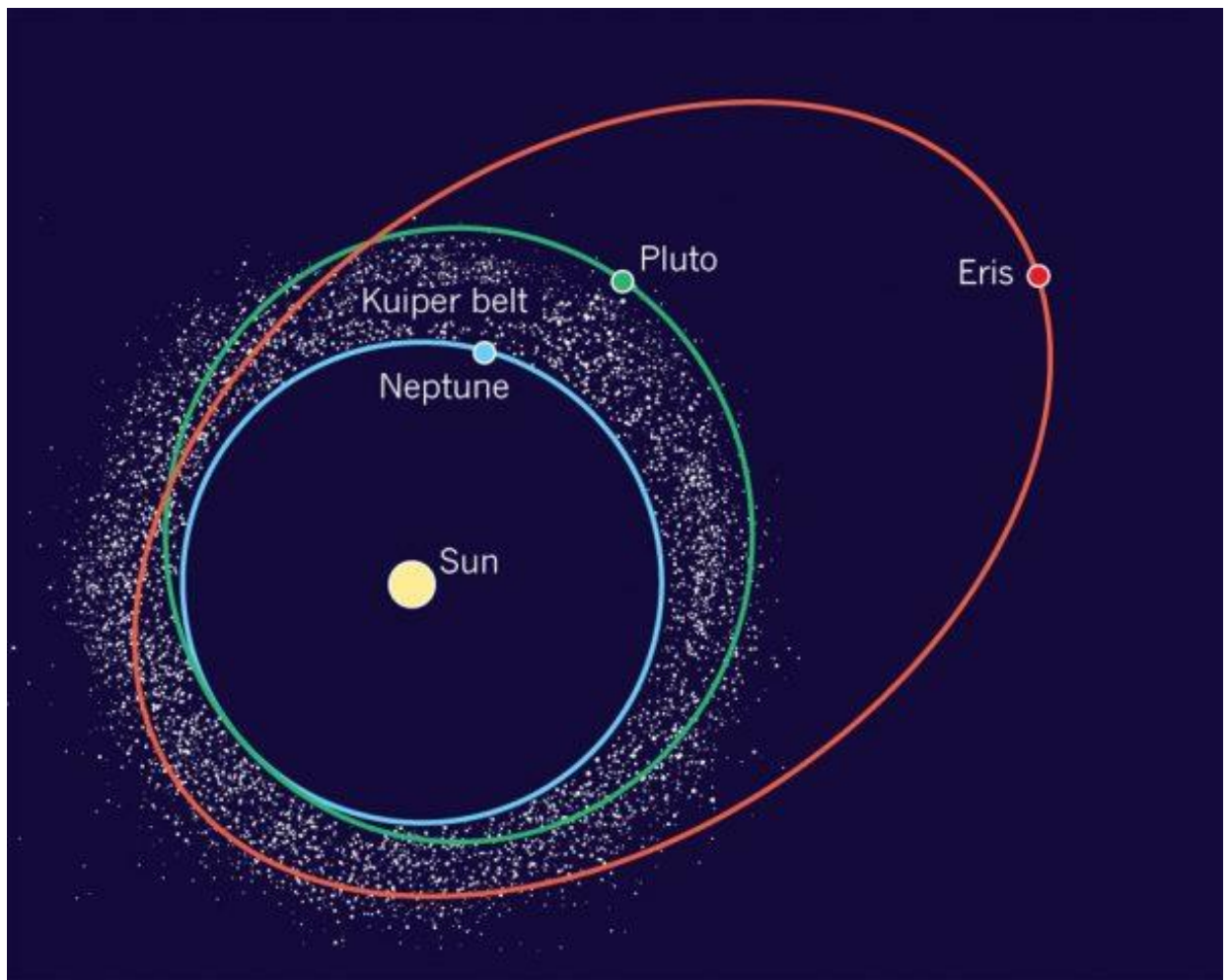


Рисунок 2. Пояс Койпера.

#### 4. Состав пояса Койпера

В Поясе Койпера обнаружено более тысячи объектов, и теоретически существует ещё 100 000 объектов диаметром более 100 км. Учитывая их малый размер и крайнюю удалённость от Земли, очень трудно определить химический состав объектов Пояса Койпера.

Однако спектрографические исследования, проведённые для этого региона с момента его обнаружения, как правило, указывают на то, что его объекты в основном состоят из льда: смеси лёгких гидрокарбонатов (таких как метан), аммиака и водяного льда - состав, который они делят с кометами. Первоначальные исследования также подтвердили широкий спектр цветов среди объектов Пояса Койпера, от нейтрального серого до тёмно-красного.

Это говорит о том, что их поверхности состоят из широкого спектра соединений, от грязных льдов до гидрокарбонатов. В 1996 году Роберт Браун и его коллеги получили спектроскопические данные по объекту Пояса Койпера 1993 SC, раскрывая, что состав его поверхности похож на состав Плутона, а также спутника Нептуна Тритон, которые имеют большие количества метрового льда. [1]



Рисунок 3. Иллюстрация сравнения восьми самых крупных объектов Пояса Койпера. Предоставлено: NASA/Lexicon.

Водяной лёд был обнаружен на нескольких объектах Пояса Койпера, в том числе на 1996 TO<sub>66</sub>, 38628 Нууа и 20000 Varuna. В 2004 году Майк Браун и его коллеги определили существование кристаллического водяного льда и гидрата аммиака на самом большом из известных объектов Пояса Койпера, 50000 Quaoar (Квавар). Оба этих вещества распались бы за время, равное возрасту нашей Солнечной системы, предполагая, что Quaoar недавно обновил поверхность либо в результате тектонической активности, либо столкновений с метеоритами.

Помимо Плутона в поясе Койпера есть и много других объектов, достойных упоминания. Квавар, Макемаке, Хаумеа, Орк и Эрида - это самые крупные ледяные тела в поясе. Некоторые из них имеют свои собственные спутники. Все они чрезвычайно далеки от нас, но очень многие из них в пределах досягаемости (Рисунок 3). [6]

## 5. Категории объектов пояса

В мае 2008 года уже насчитывалось 1077 объектов, находящихся в транснептуновом поясе. Все они подразделяются на несколько категорий:

- Классические объекты

Их орбиты отличаются тем, что они находятся под небольшим наклоном и имеют ярко выраженную круглую форму. Также они никак не связаны с обращением и движением более крупных тел - планет. Данные объекты также принято называть "кьюбикано". К 2004 их насчитывалось уже 524.

- Резонансные объекты

Это название говорит само за себя. Такие тела образуют орбитальные резонансы с Нептуном. Объекты с резонансным соотношением 2:3 причисляют к *плутино*. На 2005 было известно 150 тел, которые можно было бы отнести к группе *плутино* и еще около 20 иных резонансных объектов. Предположительно объекты *плутино* в поясе Койпера составляют 10-20% от общего количества тел его пространства.

- Рассеянные объекты

Они отличаются достаточно большим орбитальным эксцентриситетом. В афелии такие тела способны "отходить" от звезды на расстояния, измеряемые в нескольких сотнях а.е. На сегодняшний день удалось обнаружить около 100 подобных объектов. Стоит отметить, что некоторыми учеными они рассматриваются в качестве отдельной группы, принадлежащей к *транснептуновым объектам*, которые не входят в число постоянных «обитателей» пояса Койпера.

Предположительно в основной состав тел, находящихся в поясе Койпера, входит лед и небольшие фрагменты органических соединений. Это делает их схожими по элементному составу с веществом, из которого обычно состоят кометы.

Суммарная масса тел, обращающихся в пределах пояса Койпера, не в одну сотню раз превосходит суммарную массу астероидного пояса, но предположительно уступает общему массовому показателю тел облака Оорта. Ученые также сумели озвучить приблизительное число объектов, постоянно находящихся в поясе Койпера. Число тел, поперечник которых достигает 1000 км здесь находится около 1000; с поперечником более 100 км - 7000; и более 45 000 с поперечником 50 км. [5]

## 6. Исследование

19 января 2006 года NASA запустило космический аппарат «Новые Горизонты» ради изучения Плутона, его спутников и одного или двух объектов Пояса Койпера. По состоянию на ноябрь 2016 года этот космический аппарат уже пролетел мимо карликовой планеты Плутон и отправил обратно чёткие изображения поверхности этого небесного тела (Рисунок 4). [1]

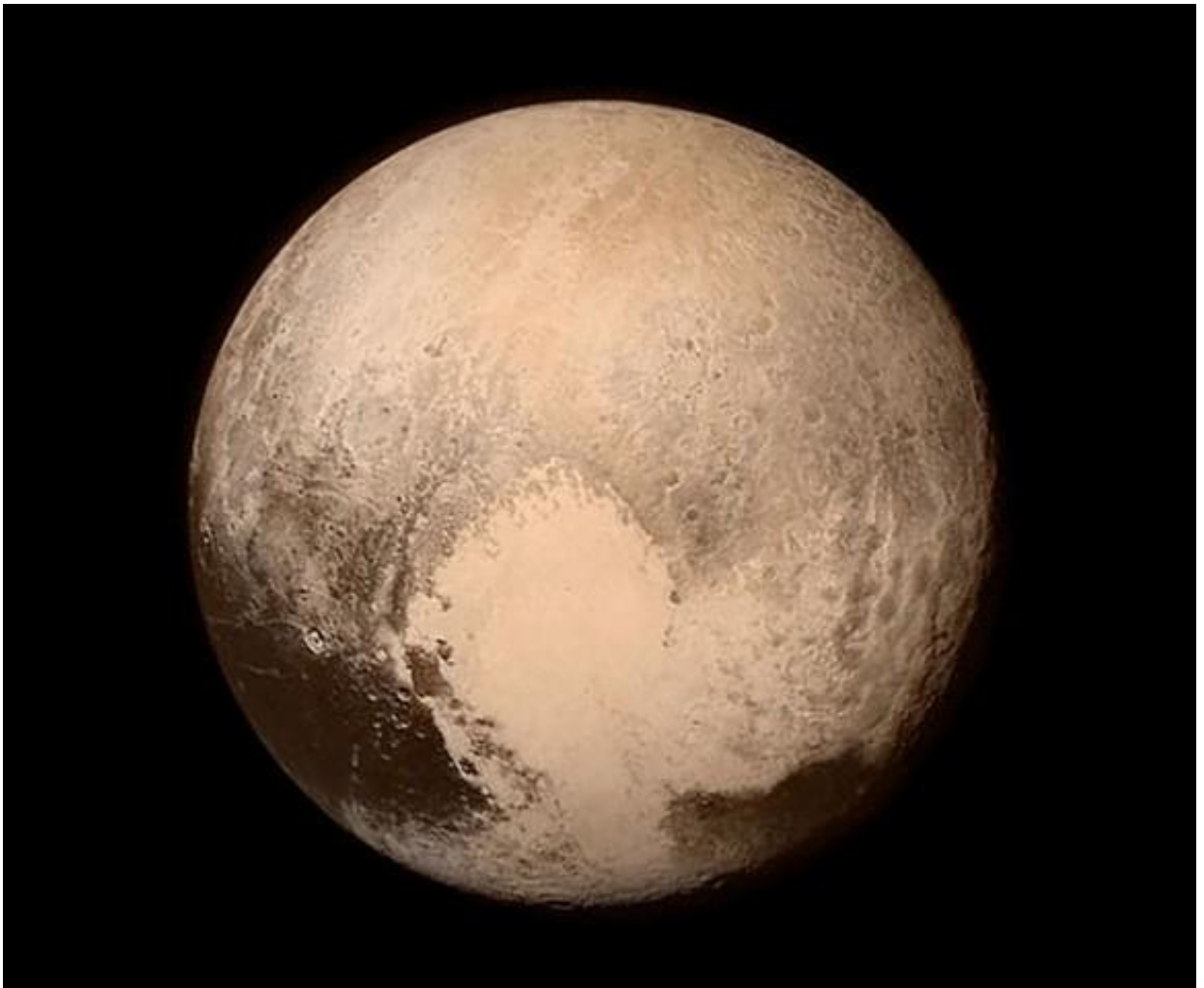


Рисунок 4. Карликовая планета Плутон. Предоставлено: NASA.

Ещё более захватывающим является тот факт, что небесные обзоры других звёздных систем указывают на то, что наша Солнечная Система не уникальна. Начиная с 2006 года были открыты и другие «Пояса Койпера» (то есть ледяные обломки) вокруг других звёздных систем. Они, кажется, делятся на две категории, широкие пояса с радиусом более 50

астрономических единиц и узкие пояса (как наш собственный Пояс Койпера) с радиусом от 20 до 30 астрономических единиц и относительно чёткими границами.

По данным инфракрасных обзоров неба, 15-20% звёзд, похожих на Солнце, имеют массивные структуры, подобные Поясу Койпера. Большинство из них кажутся довольно молодыми, но две звёздных системы - HD 139664 и HD 53143, которые наблюдались с помощью Космического Телескопа «Хаббл» в 2006 году - оцениваются в 300 миллионов лет.

Огромный и малоисследованный Пояс Койпера является источником многих комет и считается отправной точкой всех короткопериодических комет (то есть с орбитальными периодами до 200 лет). Наиболее известные из них - комета Галлея, которая была активной в последние 16 000 - 200 000 лет. [1]

## 7. Внешняя граница пояса Койпера

Поразительной особенностью пояса Койпера является то, что его «внешняя граница... на расстоянии 47 астрономических единиц от Солнца выражена очень резко» (Рисунок 5). [2]

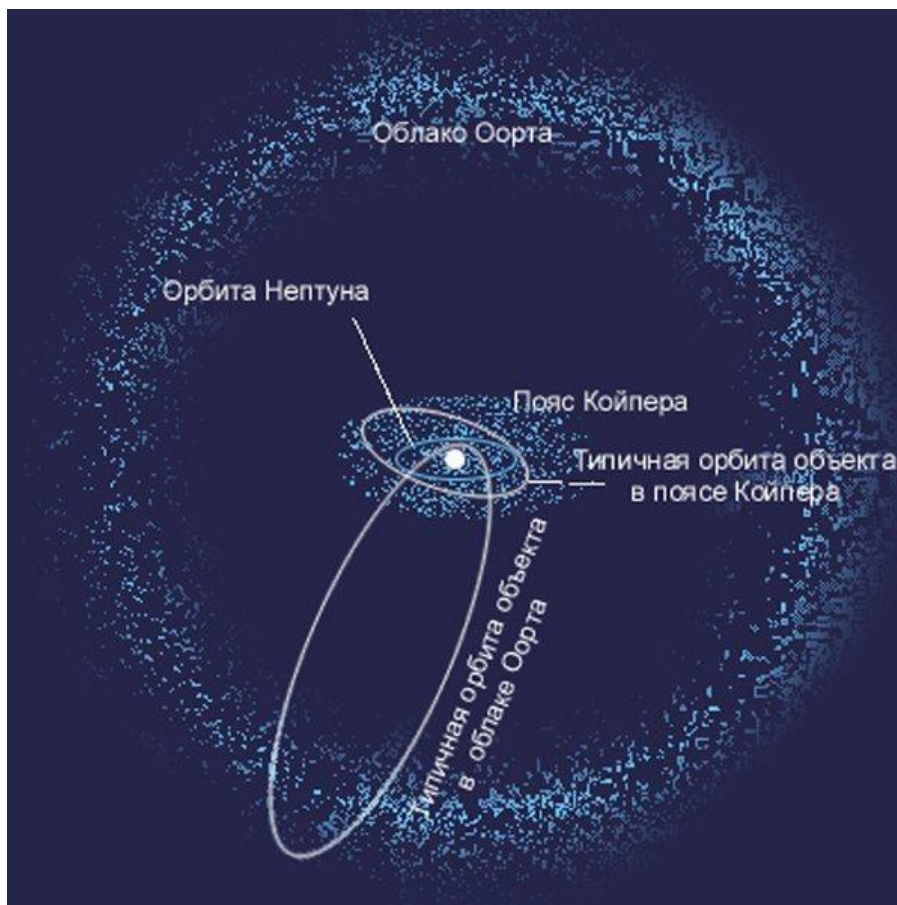


Рисунок 5. Схема «Пояс Койпера и облако Оорта».

«Пояс Койпера имеет две загадочные особенности. Во-первых, он не истончается постепенно, как можно было бы ожидать от остатков первичного газопылевого облака, из которого некогда образовалось Солнце и его планеты, а почему-то резко обрывается на расстоянии 50 астрономических единиц от Солнца, будто срезанный, так что дальше практически никаких транснептуновых объектов нет. А во-вторых, даже внутри пояса Койпера есть «пустоты», где число транснептуновых объектов очень мало, то есть он похож, скорее, на разделенную щелями систему колец Сатурна, чем на сплошной пояс. [2]

Вторую из этих особенностей можно объяснить резонансными взаимодействиями, и, действительно, эти щели в поясе Койпера находятся именно там, где орбиты транснептуновых объектов оказываются в тех или иных «разрушительных» резонансах с Нептуном. Однако так можно объяснить только щели в поясе, но не полный его обрыв. Поэтому для обрыва предлагаются разные другие объяснения. [2]

На методе компьютерного моделирования с выбором наилучшего варианта основаны гипотезы группы исследователей — авторов и сторонников так называемой «модели Ниццы» во главе с А. Морбиделли, Х. Левисоном, Р. Гомесом и К. Циганисом.

«Модель Ниццы» родилась как попытка ответить на три нерешенных вопроса истории Солнечной системы: как возникли нынешние орбиты планет, каким образом у Юпитера появились его так называемые «Троянские спутники» и почему на ранних этапах существования Солнечной системы небольшие внутренние планеты подверглись внезапной и весьма интенсивной бомбардировке огромными астероидами и метеоритами.

Все эти три вопроса авторы сумели объяснить, приняв, что большие планеты (Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун) поначалу образовались ближе к Солнцу, окруженные огромным облаком небесных тел разного размера, и лишь в результате взаимодействий друг с другом перемещались на привычные нам орбиты. Юпитер дрейфовал внутрь Солнечной системы, остальные — наружу. Расчеты показали, что на первом этапе планеты сдвигались плавно, но затем, когда Юпитер и Сатурн разошлись так, что оказались в резонансе 1:2, их воздействие на остальные планеты и астероиды стало необычайно разрушительным. В течение нескольких миллионов лет вся Солнечная система переживала период потрясений, и многие окраинные тела были сорваны со своих орбит и брошены, как бомбы, на малые внутренние планеты (в далеком прошлом те пережили эпоху «бомбардировки»). На третьем этапе, по той же модели, большие планеты,

продолжая взаимодействовать с оставшимися на окраине Солнечной системы телами, вышли на свои нынешние орбиты.

Как показали дальнейшие исследования, «модель Ниццы» может на свой лад объяснить загадки пояса Койпера. По этой модели, протооблако, из которого образовалась Солнечная система, вначале кончалось на месте нынешнего Нептуна, в 30 — 35 астрономических единицах от Солнца. То место, где сейчас находится пояс Койпера, было пустым. Но когда Юпитер и Сатурн оказались в резонансе, значительная часть окраинных тел протооблака была заброшена еще дальше, до 50 астрономических единиц, а после того, как Сатурн вырвался из резонанса с Юпитером, эти тела там и остались, образовав пояс Койпера. В своей недавней работе авторы «модели Ниццы» показали, что при некоторых, вполне правдоподобных предположениях расчетная модель подтверждает, что пояс Койпера должен резко обрываться в 45 — 50 астрономических единицах от Солнца, как это и есть на самом деле. [2]

Модель объясняет также появление главных групп транснептуновых объектов. Когда Нептун, выходя на свою нынешнюю орбиту, оказался рядом с только что возникшим поясом Койпера, он произвел возмущения в орбитах тамошних тел. Часть из них, находившаяся на орбитах, близких к резонансу 2:3 с Нептуном, постепенно перешла на устойчивые орбиты, точно соответствующие этому резонансу, — так появились плутиносы, включая и сам Плутон с Хароном. Другие же тела были вброшены внутрь Солнечной системы, образовав группу Кентавров, и некоторые из них снова попали в резонанс, только резонанс стабилизирующий (1:1), причем не только с Нептуном, но и с Юпитером, в результате чего стали Троянцами. На их месте в поясе Койпера возникли те пустоты, которые астрономы наблюдают сегодня». [4]

## 8. Орбитальный резонанс

Ключ к пониманию потери массы состоит в том, что объекты пояса Койпера «привязаны» орбитальным резонансом Нептуна. Это значит, что их сидерический период обращения, деленный на сидерический период Нептуна, — это отношение малых целых чисел. Например, в резонансе от 3 до 2 Нептун трижды обходит Солнце за то же время, за которое объекты пояса Койпера успевают обогнуть Солнце только два раза. Это значит, что сила притяжения Нептуна действует на тела в той орбите, поэтому сила растёт (Рисунок 6). [2]

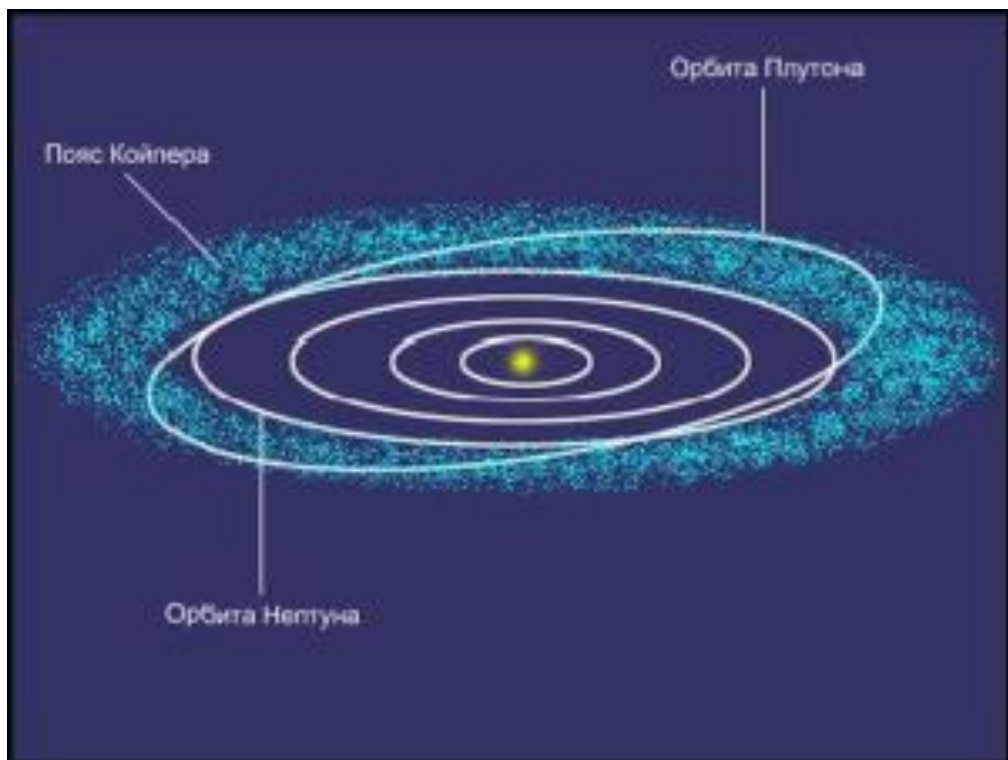


Рисунок 6. Схема «Пояс Койпера, орбиты Нептуна и Плутона».

Это открытие сделала Рену Малхотра из Аризоны в 1990-х годах вскоре после открытия пояса Койпера. Наблюдение за первыми резонансными объектами привело к появлению этой прекрасной модели. Но вопрос в том, как затянуть эти объекты в резонанс. Если просто разбросать объекты пояса Койпера, немногие из них войдут в такой резонанс. Рену объяснила и это, опираясь на работы Фернандеза и Уинга Ипа, в которых говорилось, что планеты мигрируют. Радиусы орбит планет не всегда были

такими, как сейчас: Нептун, к примеру, сначала был ближе к Солнцу, а затем двигался по направлению от него.

И пока он уходил дальше, его резонансы выталкивались и собирали объекты пояса Койпера (Рисунок 7). По мере того как резонанс пересекал пояс Койпера, объекты к нему «прилипали». Это объясняет, почему в орбитальном резонансе так много объектов. Это единственное объяснение тому, почему в резонансе с Нептуном находится так много тел. Пояс Койпера показывает, что планеты сформировались не на тех орбитах, на которых они находятся сейчас. Они мигрируют. [2]



Рисунок 7. Объект пояса Койпера. NASA. Художественное воспроизведение.

## 9. Влияние на Солнечную систему

Пояс Койпера сильно повлиял на понимание происхождения и динамики Солнечной системы. До этого Солнечная система была похожа на часы: набор планет, вращающихся вокруг Солнца непринужденно, стабильно, предсказуемо и даже скучно. После обнаружения пояса Койпера, а особенно резонансных объектов, из-за которых мигрируют планеты, появились необыкновенные возможности. Если планеты уносились туда, где они находятся сейчас, они, возможно, прошли через резонансы друг друга. Если это так, то они сотрясли Солнечную систему, и произошли разные хаотичные процессы. В некоторых моделях потеря 99,9% объектов пояса Койпера могла произойти в результате сильного сотрясения Солнечной системы, которое случилось в результате взаимодействий между Юпитером и Сатурном, которое произошло в результате миграции планет.

Понимание того, что структура пояса Койпера зависит от миграции планет, изменило направление исследований Солнечной системы. Особенности, которые не были ожидаемы и которые никто не предсказывал, оказались удивительно важными для понимания нашего места в этой системе. Влияние пояса Койпера на изучение Солнечной системы и эволюции ее формирования было огромным. Наше понимание происхождения архитектуры Солнечной системы сильно отличается от того, что мы думали раньше. И теперь мы понимаем, что Солнечная система работает далеко не как часы. [1]

## 10. Пояс Койпера и облако Оорта

Кометы обычно не очень большие (около километра в диаметре), и они теряют массу (она уходит в хвост). Мы можем посчитать, как долго комета может терять массу по нашим меркам. И это происходит не очень долго — около 10 000 лет. Ядро кометы не может быть того же возраста, что и Солнечная система, которой уже 4,5 миллиардов лет. Скорее всего, они недавно появились в Солнечной системе. Другими словами, они только появляются в Солнечной системе где-то недалеко от Земли и, как только они появляются, начинают испаряться. Вопрос в том, откуда они берутся.

Есть два ответа на этот вопрос. Первый был сформулирован в 1950-х годах голландским астрономом Яном Оортом. Он выяснил, что долгопериодические кометы (те, чьи орбиты старше 200 лет) имеют эллиптическую орбиту очень большого размера, которая распространяется рандомно. Примерно равное количество приходит из разных сторон: из северного полушария, из южного, из сферического и изотропного источника. Сферический источник называют облаком Оорта (Рисунок 5). Оно выглядит как большой пчелиный рой, окружающий Солнечную систему. Он огромный, в 50 000 или 70 000 раз больше расстояния между Солнцем и Землей. Это источник долгопериодических комет. Мы не наблюдаем за объектами в облаке Оорта, потому что они слишком тусклые для наших телескопов. Все, что мы знаем об облаке Оорта, включая сведения о его существовании, было получено из комет, которые выбились из облака Оорта гравитацией пролетающих мимо звезд. [6]



Рисунок 8. Комета ISON проходит мимо Венеры. Комета прилетела из облака Оорта / NASA, Marshall Space Flight Center, Ноябрь 2013

С другой стороны, короткопериодические кометы (с периодом меньше 200 лет) имеют относительно малую и круглую орбиту (Рисунок 8). Они распределены не рандомно, а, напротив, совмещены с плоскостью орбит Солнечной системы. Вопрос тот же: откуда они берутся? Оорт говорил, что они приходят из облака Оорта, но Юпитер смог поймать их и переломить их орбиты так, чтобы они сформировали диск. Эта идея принималась с 1950-х до 1980-х годов. Но оказалось, что Юпитеру сложно схватывать достаточно долгопериодических комет из облака Оорта и делать их короткопериодическими.

Пояс Койпера, который мы знаем, поставляет Солнечной системе короткопериодические системы. И так как пояс гораздо ближе (50 астрономических единиц вместо 50 000 астрономических единиц облака Оорта), мы можем наблюдать за ним, а не просто за предметами, которые залетели в околоземное пространство. Это еще одна причина, по которой пояс Койпера так нашумел среди астрономов. [1]

## 11. Будущие направления исследований

Обнаружение пояса Койпера дало нам лучшее понимание того, как устроена Солнечная система, не смотря на то, что все еще не можем видеть далекие ее части. Не можем наблюдать за облаком Оорта, потому что оно слишком далеко и объекты недостаточно яркие. Даже внешние части пояса Койпера не так просто найти. Предполагается, что пояс Койпера смешивается с облаком Оорта, и хотелось бы знать, где и как это происходит. Хотелось бы измерить орбитальную структуру пояса, тогда появится возможность более детально поговорить о происхождении и эволюции Солнечной системы. Например, резонансный захват работает по-разному, если планеты мигрируют медленно и плавно и если они мигрируют быстро и в прыгающем режиме. Измерения орбит объектов пояса Койпера потенциально могут рассказать, как мигрировал Нептун.

Доказательства в пользу существования пояса Койпера были получены в ходе исследования комет. Давно было известно, что кометы обладают конечным временем жизни. Когда они приближаются к Солнцу, его высокая температура испаряет летучие вещества с их поверхности в открытый космос, постепенно уничтожая их. Поскольку кометы не исчезли задолго до нашего времени, эта популяция небесных тел должна постоянно пополняться. Предполагают, что одна из областей, из которой идёт такое пополнения - это «облако Оорта», сферический рой комет, простирающийся более чем на 50 000 а.е. от Солнца, гипотеза о существовании которого была впервые выдвинута Яном Оортом в 1950 году. Считается, что в этой области возникают долгопериодические кометы - такие, например, как комета Хейла-Боппа с периодом обращения в тысячелетия.

Однако есть и другая группа комет, известная как короткопериодические или «периодические» кометы - например, комета Галлея с периодом обращения менее 200 лет. К 1970-м годам темпы открытия новых короткопериодических комет стали все хуже и хуже

согласовываться с предположением о том, что они происходят только из облака Оорта. Для того, чтобы объект из облака Оорта стал короткопериодической кометой, он сначала должен быть захвачен планетами - гигантами. В 1980 году, в журнале *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Хулио Фернандес подсчитал, что на каждую комету, которая движется из облака Оорта во внутренние области Солнечной системы, приходится 600 комет, которые выбрасываются в межзвёздное пространство. Он предположил, что кометный пояс между 35 и 50 а. е. мог бы объяснить наблюдаемое количество комет. Развивая работы Фернандеса, в 1988 году группа канадских астрономов, в которую входили Мартин Дункан, Томас Куин и Скот Тремен, провела серию компьютерных моделирований с целью определить, все ли короткопериодические кометы прибыли из облака Оорта. Они обнаружили, что далеко не все короткопериодические кометы могли происходить из этого облака - в частности, потому, что они группируются вблизи плоскости эклиптики, тогда как кометы облака Оорта прилетают практически из любой области неба. После того, как описанный Фернандесом пояс был добавлен в расчёты, модель стала соответствовать наблюдениям. Так как слова «Койпер» и «кометный пояс» присутствовали в первом предложении статьи Фернандеса, Тремен назвал эту гипотетическую область космоса «поясом Койпера». [1]

## 12. Заключение

Открытие пояса Койпера сильно повлияло на понимание происхождения и динамики Солнечной системы. До этого Солнечная система была похожа на часы: набор планет, вращающихся вокруг Солнца непринужденно, стабильно, предсказуемо. После обнаружения пояса Койпера, а особенно резонансных объектов, из-за которых мигрируют планеты, появились необыкновенные возможности доказательства того, что планеты, возможно, прошли через резонансы друг друга. А если это так, то они сотрясли Солнечную систему, в результате чего произошла потеря 99,9% объектов пояса Койпера. Нечто подобное случилось в результате взаимодействий между Юпитером и Сатурном, которое произошло в результате миграции планет. Влияние пояса Койпера на изучение Солнечной системы и эволюции ее формирования было огромным, т.к. изменилось понимание происхождения архитектуры Солнечной системы. Как только появится возможность увидеть далекие ее части, измерить орбитальную структуру пояса, так появится возможность более детально поговорить о происхождении и эволюции Солнечной системы.

## Список использованных ресурсов

1. Вселенная сегодня. Новости космоса и астрономии. – Режим доступа // <http://universetoday-rus.com/blog/2011-12-27-170> (13.01.2017).
2. Границы Солнечной системы. – Режим доступа // <http://galspace.spb.ru/index71.html> (13.01.2017).
3. Земля. Хроники жизни. – Режим доступа // <http://earth-chronicles.ru/news/2016-11-26-98654> (17.01.2017).
4. Нудельман Рафаил. Плутиносы, кюбиуаны и другие горячие и холодные дикари Солнечной системы. – Режим доступа // <http://nauka.izvestia.ru/space/article86499.html> (01.02.2017).
5. Пояс Койпера. Википедия. – Режим доступа // [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%8F%D1%81\\_%D0%9A%D0%BE%D0%B9%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%8F%D1%81_%D0%9A%D0%BE%D0%B9%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0) (01.02.2017).
6. Пояс Койпера и Облако Оорта. – Режим доступа // <http://v-kosmose.com/poyas-koypera-i-oblako-oorta/> (13.01.2017).
7. Червоноградовъ Андрей. – Режим доступа // <http://www.stihi.ru/avtor/chervon> (10.02.2017).
8. Что такое Пояс Койпера? – Режим доступа // [universetoday-rus.com»blog/2016-11-13-1790](http://universetoday-rus.com/blog/2016-11-13-1790) (17.01.2017).