

УДК:521

ВЫЧИСЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ**Воронина К.В.****Научный руководитель д.б.н., профессор Брильков А.В.
Сибирский федеральный университет****Оглавление.**

Введение	3
Физические параметры крупных астероидов солнечной системы	4
Физические основы определения размеров	5
Численное моделирование	6
Выводы	8
Список литературы	8
Приложение 1 (правила наименования астероидов)	9
Приложение 2 (из истории открытия крупных астероидов)	10
Приложение 3 (более тонкие физические модели)	11

Введение

Вы когда-нибудь задумывались о том, каким образом узнают размеры космических объектов?

Как-то просматривая статью об открытии нового крупного объекта на границах Солнечной системы, я внезапно осознала, что астрономы его открывшие и сообщившие нам его размеры, находятся на Земле. Я решила узнать как именно ученые определяют размеры открываемых ими объектов, не имея возможности оказаться рядом с ними.

В работе детально рассмотрены физические основы определения диаметров малых планет из астрономических наблюдений. Приведены сравнительные таблицы абсолютных звездных величин для 25 самых крупных астероидов Главного Пояса и стольких же объектов Пояса Койпера.

ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КРУПНЫХ АСТЕРОИДОВ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ.

Таблица 1

Астероиды Главного Пояса							Астероиды Пояса Койпера						
Nn	№	Название	Но	Альб.	D км	+/-	nn	N	Назв.	Обозначение	Но	A	км
1	001	Церера	3.32	0.100	913	43	1	136199	Eris	2003 UB313	-1.16	0.86	?
2	002	Паллада	4.13	0.140	523	20	2	136472	Makemake	2005 FY9	-0.4	?	?
3	004	Веста	3.16	0.380	501	24	3	136108	Haumea	2003 EL61	0	?	?
4	010	Гигея	5.27	0.075	429	8	4	90377	Sedna	2003 VB12	1.58	?	?
5	511	Дэвида	6.17	0.053	337	5	5	225088		2007 OR10	1.7	?	?
6	704	Интерамния	6.00	0.064	333	6	6	90482	Orcus	2004 DW	2.2	?	?
7	052	Европа	6.25	0.057	312	7	7	50000	Quaoar	2002 LM60	2.6	?	?
8	015	Эвномия	5.22	0.190	272	6	8	55636		2002 TX300	3.2	?	?
9	087	Сильвия	6.95	0.040	271	12	9	28978	Ixion	2001 KX76	3.3	?	?
10	016	Психея	5.99	0.10	264	4	10	55565		2002 AW197	3.4	?	?
11	031	Ефросинья	6.53	0.070	248	54	11	174567		2003 MW12	3.4	?	?
12	065	Кибела	6.79	0.057	245	6	12	202421		2005 UQ513	3.4	?	?
13	003	Юнона	5.31	0.220	244	12	13	20000	Varuna	2000 WR106	3.6	?	?
14	324	Бамберга	6.82	0.057	242	7	14	120178		2003 OP32	3.6	?	?
15	107	Камилла	6.80	0.060	237	14	15	307261		2002 MS4	3.7	?	?
16	532	Геркулина	5.78	0.160	231	4	16	55637		2002 UX25	3.7	?	?
17	451	Патентия	6.65	0.073	230	20	17	208996		2003 AZ84	3.7	?	?
18	048	Дорис	6.83	0.064	225	11	18	278361		2007 JJ43	3.7	?	?
19	029	Амфитрита	5.84	0.160	219	5	19	145452		2005 RN43	3.9	?	?
20	121	Гермиона	7.39	0.042	217	4	20			2010 KZ39	3.9	?	?
21	423	Диотима	7.48	0.038	217	6	21	230965		2004 XA192	4	?	?
22	013	Эгерия	6.47	0.099	215	7	22	90568		2004 GV9	4	?	?
23	045	Евгения	7.27	0.048	214	8	23	145453		2005 RR43	4	?	?
24	094	Аврора	7.55	0.038	212	4	24	84922		2003 VS2	4.1	?	?
25	007	Айрис	5.76	0.210	203	5	25			2003 UZ413	4.2	?	?

На первом этапе работы мы сделали выборку для 25 самых крупных астероидов Главного Пояса из анализа данных каталога IRAS. [1] Для каждого из этих объектов в ходе исследования с борта космического аппарата были получены многочисленные измерения блеска в узкополосных спектральных диапазонах, что позволяет достаточно точно определить отражающие свойства их поверхностей (альbedo) и, соответственно – вычислить их размеры.

Анализ существующих данных о наиболее ярких транснептуновых объектах (объекты Пояса Койпера – еще одного пояса астероидов, расположенного на окраинах солнечной системы), был выполнен на основе данных интернет-сайта Международного Астрономического Союза (IAU) на начало 2012 года. [2,3]

Для удобства сравнения мы свели полученные данные в таблицу 1. Как видно из таблицы, около девяти объектов Пояса Койпера имеют абсолютную звездную величину больше, чем самый крупный астероид Главного Пояса – Церера. Что, при равных значениях поверхностной яркости, должно означать и их большие размеры.

Далее в работе детально рассмотрены физические основы определения размера малой планеты из анализа ее блеска. И выполнено численное моделирование для определения наиболее вероятных значений диаметров крупных объектов на границах солнечной системы, исходя из различных разумных значений их альbedo (в первом приближении просто среднее арифметическое значение альbedo 25 крупных объектов Главного Пояса).

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ АСТЕРОИДОВ

Блеск любой малой планеты (астероида) будет подчиняться закону обратных квадратов: мысленно "отодвинутый" в два раза дальше от Солнца астероид должен отражать в пространство в 4 раза меньше света. Точно так же - количество света, приходящее к Земле, будет обратно пропорционально квадрату расстояния объекта от нашей планеты ($1/d^2$). Знание законов небесной механики позволяет определять точные положения и взаимные расстояния для любых космических тел с известными элементами орбит. А фотометрические измерения дают значения их видимого блеска в различных положениях.

Суммарный анализ позволяет вычислить каким был бы блеск астероида на стандартном расстоянии в 1 астрономическую единицу (149.6 млн.км.) и от Земли, и от Солнца. Этот очень важный параметр называют абсолютной звездной величиной малой планеты H_0 .

При прочих равных условиях, более слабый на таком "стандартном расстоянии" объект, должен иметь и меньшие размеры. Однако "равные условия" в первую очередь подразумевают и равенство отражающей способности поверхностей (альбедо) сравниваемых объектов (легко понять, что блестящая ледяная глыба при наблюдении с одного расстояния будет выглядеть ярче куска темного камня таких же размеров).

Разберемся в формулах, используемых в работе. Применяемая в астрономии шкала блеска является степенной. По определению, отношения блеска двух небесных светил связано с разностью их видимых звездных величин как

$$\frac{I_1}{I_2} = 2.512^{m_2 - m_1}$$

Абсолютной звездной величиной малой планеты H_0 называют видимый блеск астероида на стандартном расстоянии в одну астрономическую единицу (149,6 млн.км) от Земли и от Солнца.

Используя понятие H_0 с учетом правила «обратных квадратов» (блеск изменяется как $1/r^2$), можно получить такое выражение:

$$\frac{1}{d^2} \cdot \frac{1}{r^2} = 2.512^{H_0 - m}$$

Где m – видимая звездная величина астероида (легко определяется из наблюдений путем сравнения с блеском окружающих звезд); r и d – соответствующие расстояния астероида от Солнца и от Земли в момент наблюдений (в астрономических единицах – эти значения можно получить зная элементы орбиты малой планеты).

Логарифмируя левую и правую части получаем: $-2 \cdot \log(d) + -2 \cdot \log(r) = 0.4 \cdot (H_0 - m)$, или $-5 \cdot \log(d) - 5 \cdot \log(r) = H_0 - m$. И, окончательно:

$$H_0 = m - 5 \cdot \lg(d) - 5 \cdot \lg(r) \quad (1)$$

Многочисленные позиционные наблюдения астероида позволяют определить его орбиту и соответствующие расстояния от Земли (d) и от Солнца (r) для каждого момента наблюдений. Почти всегда на снимках можно найти и несколько звезд известного блеска, путем сравнения с которыми определяется видимая звездная величина астероида (m). Таким образом мы получаем серии значений d , r и m , зная которые по формуле (1) легко определить H_0 .

Но нас интересует, как связать H_0 с диаметром и альбедо. Так как H_0 – это блеск на одном расстоянии, то теперь он будет зависеть от диаметра и альбедо. В результате специальных расчетов было получено, что абсолютно белое тело диаметром в 1 км на расстоянии в 1 а.е. должно иметь $m = 15,618$. По аналогии с выводом формулы (1), с учетом того, что видимый блеск H_0 реального объекта диаметром D км и альбедо A на стандартном расстоянии изменяется прямо пропорционально D^2 и прямо пропорционально A можно получить:

$$\frac{1}{D^2} * \frac{1}{A} = 2.512^{H_0 - 15.618}, \text{ логарифмируя которое получаем:}$$

$$H_0 = 15.618 - 5\lg(D) - 2.5\lg(A) \quad (2),$$

откуда получаем выражение для D:

$$5\lg(D) = 15.618 - H_0 - 2.5\lg(A), \text{ или}$$

$$\lg(D) = 3.1236 - \frac{H_0}{5} - \frac{1}{2}\lg(A) \text{ и далее}$$

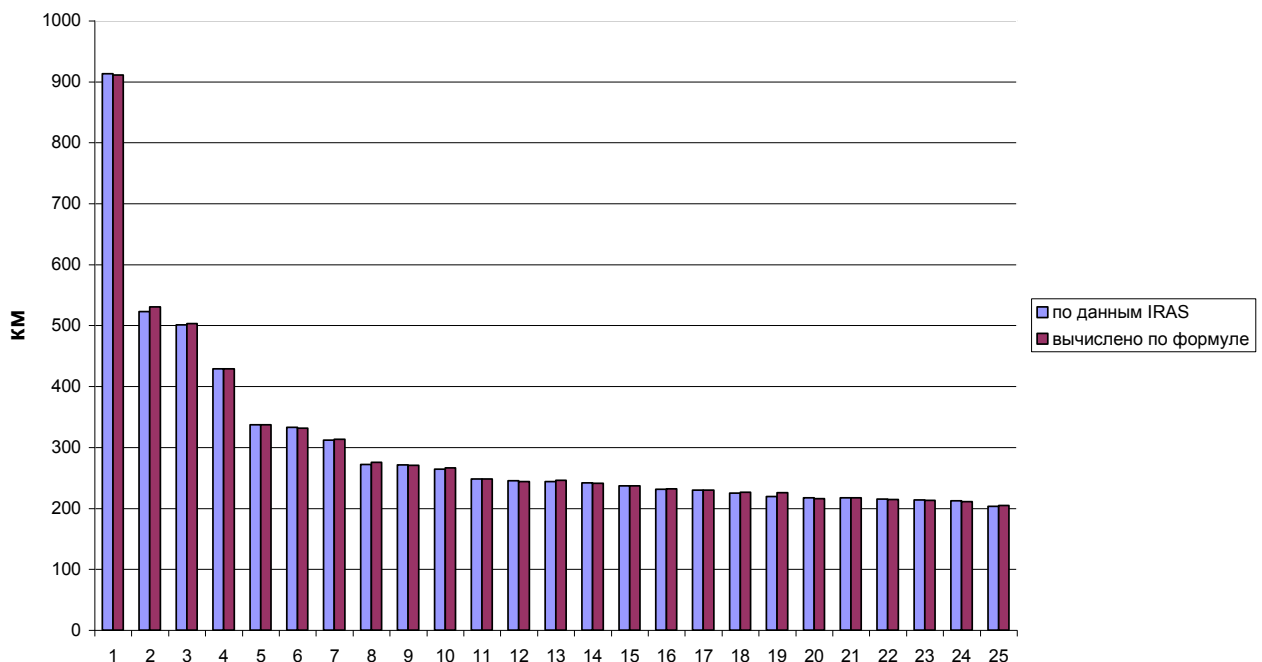
$$D = 10^{\left(3.1236 - \frac{H_0}{5} - \frac{\lg(A)}{2}\right)} \text{ или}$$

$$D = 10^{3.1236} \cdot 10^{\frac{-H_0}{5}} \cdot 10^{\frac{-\lg(A)}{2}} \text{ и окончательно:}$$

$$D = \frac{1329 * 10^{-H_0/5}}{\sqrt{A}} \text{ км} \quad (3),$$

Для проверки точности полученной формулы найдем расчетные значения диаметров 25 самых крупных астероидов главного пояса (взяв в качестве исходных параметров значения H_0 и A из табл.1) и сравним их с приведенными в таблице диаметрами. Для большей наглядности результаты вычислений представлены на диаграмме 1. Как видим, полученные значения находятся в хорошем согласии с табличными данными (максимальное отклонение 3%, среднее – 1.7%).

Сравнение значений диаметров астероидов главного пояса по данным каталога IRAS со значениями полученными по формуле 3

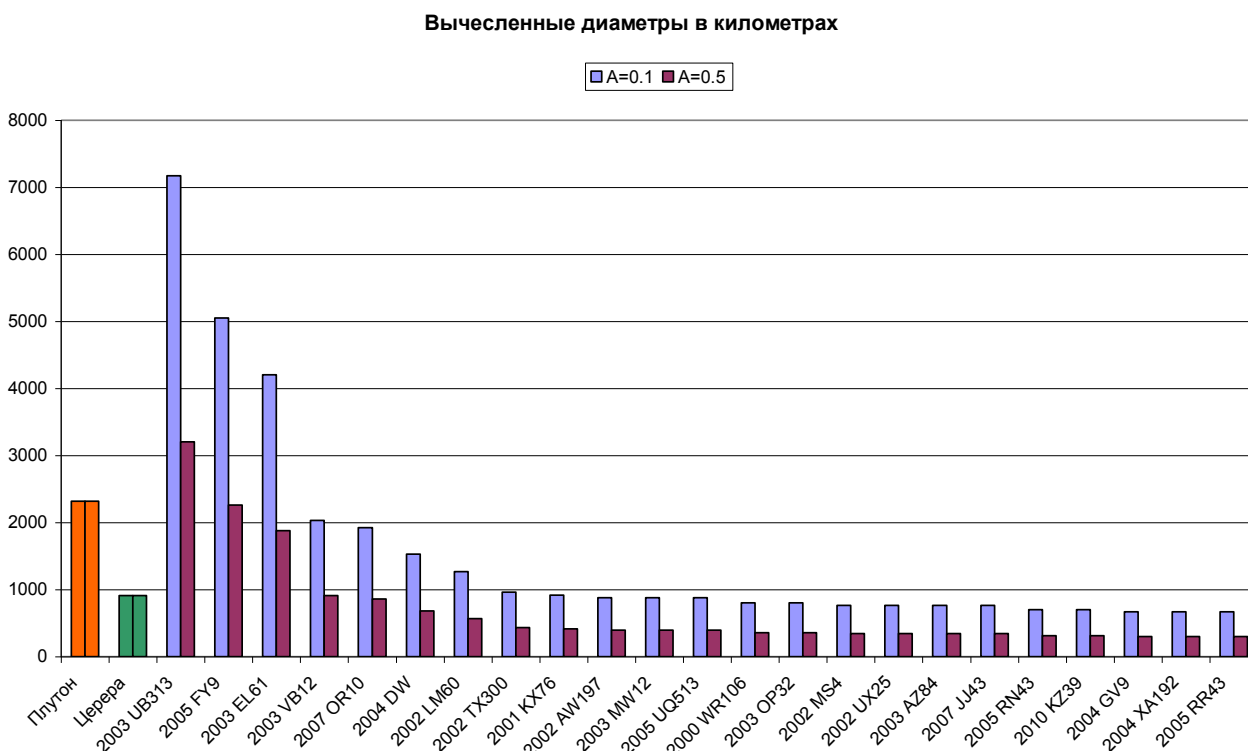


После того как мы разобрались в физике явления и получили пригодную для расчетов формулу, можно приступать к финальной части исследования.

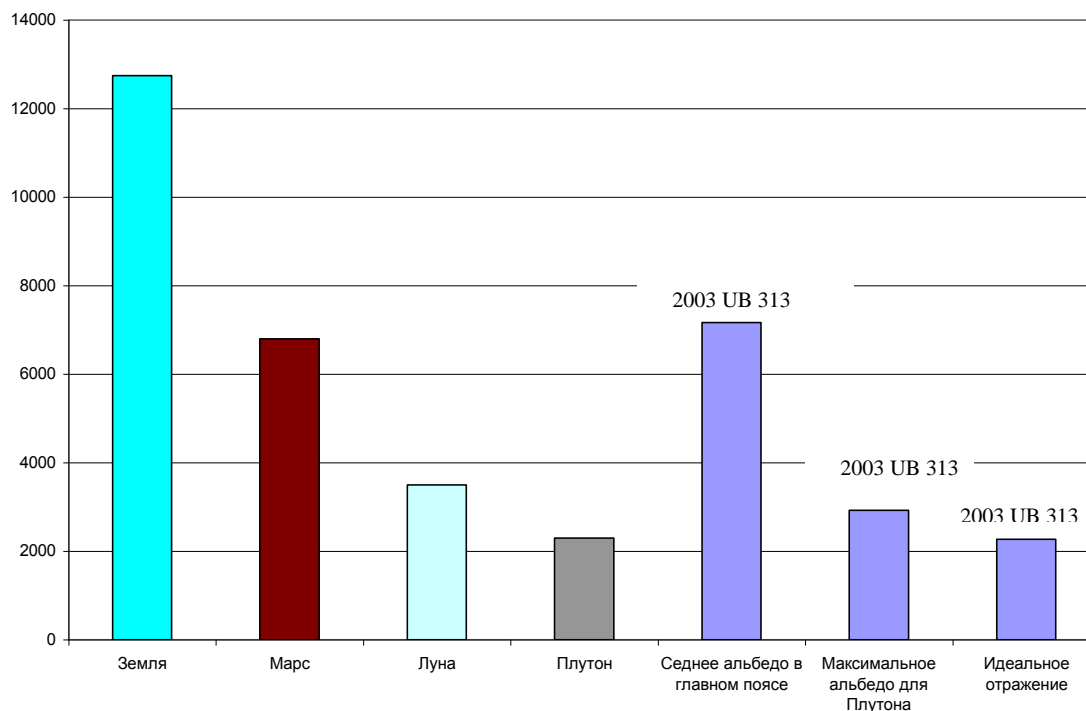
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Попробуем вычислить диаметры транснептуновых объектов для различных возможных значений их поверхностной яркости (альбедо).

На следующей диаграмме представлены результаты численного моделирования размеров крупных объектов на границах солнечной системы для значений их альбедо 0.1 (среднее значение для 25 астероидов Главного Пояса) и 0.5 (усредненное значение для Плутона):



Для самого крупного объекта (2003 UB313), ранее претендовавшего на звание планеты, ниже приведены модельные размеры по сравнению с некоторыми известными телами солнечной системы в предположении значений его альбедо 0.1 – среднее значение для астероидов Главного пояса; 0.6 – максимальное для Плутона, и 1 – идеализированное «абсолютно белое» тело):



Мы видим, что астероид Эрида (2003 UB313), превосходит по размерам Марс, если альbedo равно 0,1 (среднее для Главного пояса). Однако, последние измерения блеска, проведенные в узкополосных спектральных диапазонах телескопом «*Spitzer*» позволили достаточно точно определить альbedo Эриды, оно примерно равно 0,96. Соответственно истинный размер 2003 UB313 составляет около 2300 км, то есть примерно равен размеру Плутона, не так давно исключенного из числа планет.

ВЫВОДЫ:

Таким образом, мы рассмотрели способ вычисления размеров астероидов на основе анализа блеска, траектории и альbedo. И провели численное моделирование для 25 самых крупных астероидов пояса Койпера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Infrared Astronomical Satellite Asteroid and Comet Survey - IPAC, JPL D-3698, 1986
2. IAU Minor Planet Center - <http://www.minorplanetcenter.net/iau/lists/TNOs.html>
3. IAU Minor Planet Center - <http://www.minorplanetcenter.net/iau/lists/Centaurs.html>
4. О "десятой планете" Солнечной системы - <http://www.compulenta.ru/2004/3/15/45697/>
5. Д.Я. Мартынов - Курс общей астрофизики, М.: Наука, 1971

Правила для наименований открываемых объектов.

Сегодня каждый новый обнаруженный объект получает предварительное обозначение, начинающееся с года открытия. Далее следует латинская буква, которая уточняет в каком месяце оно было сделано (учитываются каждые полмесяца, поэтому используются уже все 24 буквы латинского алфавита, кроме последней Z, и за исключением I, которая похожа на J). По-подробнее о буквах: A и B - это половины января (с 1 по 15 и с 16 по 31 числа соответственно), C и D - февраля, E и F - марта и так далее. За первой латинской буквой следует вторая, которая определяет простой порядковый номер открытия в заданном временном интервале (A-первый, B-второй ...). Буква "I" вновь пропускается, но зато Z теперь вполне приемлема, что дает возможность обозначить 25 малых планет от A до Z. Дальнейшее увеличение количества букв бессмысленно, поэтому вместо букв стали использовать цифровые указатели количества таких комбинаций.

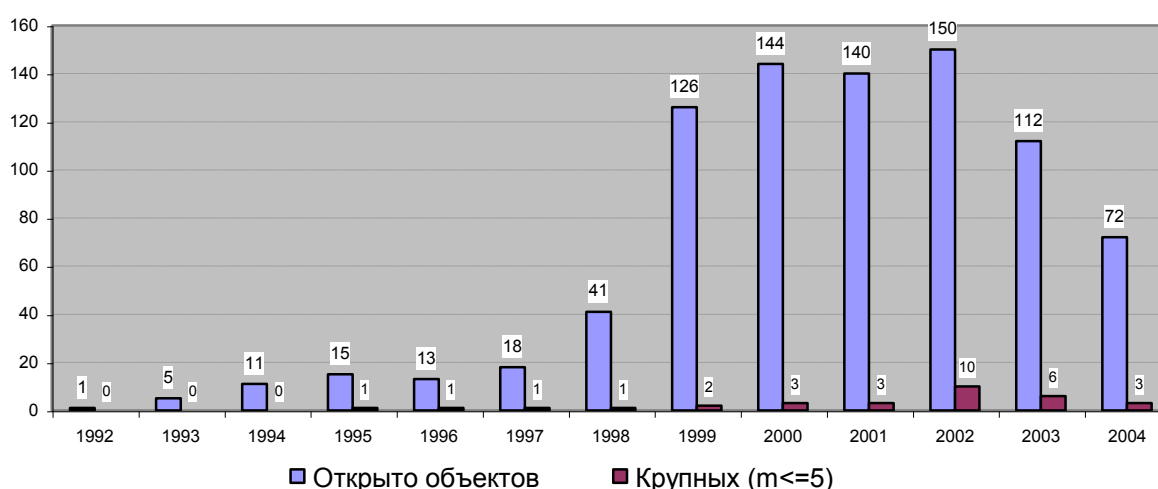
Только после того как орбита нового объекта определена достаточно надежно, чтобы иметь возможность уверенно наблюдать его в будущем, встает вопрос о присвоении ему собственного имени. И занимается этим специальная комиссия международного астрономического союза (IAU). Основные требования комиссии просты: новое название не должно дублировать уже существующие; состоять предпочтительно из одного слова, состоящего не более чем из 16 символов и быть удобопроизносимым. Нельзя предлагать звучащие непристойно на отдельных языках слова. Названия в честь военных и политических событий или связанных с ними людей могут предлагаться не ранее чем через 100 лет после их окончания (смерти)...

Из истории открытия крупных объектов на границах солнечной системы

В качестве первого объекта подобного класса можно рассмотреть Плутон. Долгие поиски гипотетической планеты X, гравитационное влияние которой смогло бы объяснить наблюдаемые отклонения в движении Урана и Нептуна, в конце-концов привели к открытию девятой планеты солнечной системы – Плутона. И произошло это 82 года назад, когда Клайд Томбо заметил чуть сместившуюся звездочку, сравнивая снимки от 23 и 29 января 1930г. После нескольких лет триумфа и накопления наблюдательных данных оказалось, что Плутон достаточно мал, и не может быть причиной гравитационных возмущений на внешние планеты. Поиски возобновились с новой силой. В бой были брошены самые крупные телескопы. Однако более чем за полвека плановой работы в сети ученых никак не попадалось то, что могло бы оказаться еще одним большим космическим телом на окраинах нашей планетной системы. Долгое время Плутон считался ее последним крупным объектом (сразу после открытия его размеры сравнивали с Землей, но в конце-концов он «похудел» почти в 5 раз). И лишь долгопериодические кометы, в своих возвращениях к перигелию (к Солнцу), убедительно свидетельствовали в пользу того, что на границах солнечной системы возможно существование других небесных тел, движущихся по околокруговым орбитам, и вечно скрывающихся во мраке космоса.

Первой ласточкой стало открытие в 1992 году на обсерватории Мауна Кеа (Гавайи) объекта, который получил предварительное обозначение 1992 QB1. Дальнейшие исследования показали, что он движется по круговой орбите на расстоянии в 43.8 астрономических единиц, затрачивая на один полный оборот около 290 лет. Авторы открытия (Д.Джюит и Дж.Лу) хотели дать ему имя Smiley, но в реестре международного астрономического союза уже была малая планета с таким именем (№1613), поэтому новый астероид так и остался с цифро-буквенным обозначением. И положил название целому классу небесных объектов, обращающихся вокруг Солнца на расстояниях более 41 а.е. и не испытывающих резонансных возмущений со стороны главных планет. Теперь их относят к классу «Кубевано» (латинизированное «КуБеУан» от английского «QB1»).

Динамика открытий транснептуновых объектов с 1992 до 2005г.:



Можно заметить, что крупные объекты пояса Койпера начали открываться только с середины 1990-х, в эпоху развития новых приемников излучения. Значительный спад открытий за два последних года, по всей видимости, связан с тем, что ученые перенаправили свои усилия с простого поиска на детальное изучение уже известных объектов.

Более тонкие физические модели.

Использование ряда математических моделей позволяет попытаться учесть и более тонкие эффекты, связанные с изменением фазового угла и отражающими свойствами (альbedo) поверхности астероида.

$$m = H_0 + 5 \cdot \log(r) + 5 \cdot \log(d) + P(\alpha)$$

Где $P(\alpha)$ – некая «фазовая функция». Последнее слагаемое нельзя посчитать прямо. Но существует несколько приближенных способов.

В первом приближении эту зависимость можно представить как:

$P(\alpha) = 0.3 + 0.03 \cdot \alpha$, где угол α выражен в градусах. Такая формула дает точность около 0.1 звездной величины в диапазоне фазовых углов α от 5 до 50 градусов.

Для более точных вычислений необходимо знать так называемый «наклонный параметр» (в англоязычном написании «slope parameter») G и использовать формулы вида:

$P(\alpha) = -2.5 \cdot \log[(1-G) \cdot \Theta_1 + G \cdot \Theta_2]$, где Θ_1 и Θ_2 достаточно сложные функции, аппроксимируемые выражениями типа:

$$\Theta_{(1,2)} = \exp\{-A_{(1,2)} \cdot [\tan(\alpha/2)]^{B_{(1,2)}}\}, \text{ с константами } A_1 = 3.33; A_2 = 1.87; B_1 = 0.63, B_2 = 1.22.$$

В реальной ситуации параметр G практически никогда не известен с достаточной точностью. Поэтому для большинства астероидов он принимается равным $G = 0.15$, что позволяет достаточно хорошо описывать изменения блеска на средних фазовых углах (примерно до 0.1 зв.вел.).

Если проведены специальные исследования (изменение блеска в разных спектральных диапазонах и на широких диапазонах фазовых углов), то данные о свойствах поверхности конкретной малой планеты можно значительно улучшить.

Можно отметить, что существуют некие усредненные значения G для астероидов разных классов: 0.09 для темных астероидов (C, D, T...); 0.23 для более светлых (S, M) и до 0.40 у астероидов с наибольшим альbedo (E, V). Соответствующие средние значения альbedo для «темных, светлых и ярких» астероидов принято считать $A = 0.06, 0.18$ и 0.40 соответственно.

Тогда готовые приближенные зависимости $P(\alpha)$ будут выглядеть так:

$$P(\alpha) = 0.35 + 0.035 \cdot \alpha \quad \text{для темных (C, T, D, ...)}$$

$$P(\alpha) = 0.30 + 0.029 \cdot \alpha \quad \text{для средних (S, M)}$$

$$P(\alpha) = 0.22 + 0.024 \cdot \alpha \quad \text{для ярких (E, V),}$$

- где α по-прежнему находится в диапазоне 5-50 градусов.