

УДК 523.44

А. М. Казанцев

Астрономічна обсерваторія Київського національного університету імені Тараса Шевченка
04053 Київ-53, вул. Обсерваторна 3

О возможном эффекте пространственного разделения светлых и темных астероидов

Наблюдаемые распределения альbedo астероидов в семействах и численные расчеты свидетельствуют о возможности действия в Солнечной системе негравитационного механизма, приводящего к пространственному разделению светлых и темных астероидов. Скорость такого разделения для астероидов главного пояса с размерами 10—50 км по порядку величины может составлять около 1 а. е. за 10^8 лет. Физический механизм данного эффекта требует отдельного исследования, что планируется в дальнейшем.

ПРО МОЖЛИВИЙ ЕФЕКТ ПРОСТОРОВОГО РОЗДІЛЕННЯ СВІТЛИХ ТА ТЕМНИХ АСТЕРОЇДІВ, Казанцев А. М. — Спостережувані розподіли альbedo астероїдів в сімействах та чисельні розрахунки свідчать про можливість дії в Сонячній системі негравітаційного механізму, який призводить до просторового розділення світлих та темних астероїдів. Швидкість такого розділення для астероїдів головного поясу з розмірами 10—50 км за порядком величини може становити біля 1 а. о. за 10^8 років. Фізичний механізм ефекту потребує окремого дослідження, що планується надалі.

ON A POSSIBLE EFFECT OF SPATIAL SEPARATION OF CLEAR AND DARK ASTEROIDS, by Kazantsev A. M. — The albedo distributions for observed family asteroids and numerical calculations are indicative of the possibility of existence of some non-gravitational mechanism in the Solar system, which causes a spatial separation of clear and dark asteroids. The speed of the separation for main belt asteroids with sizes from 10 to 50 km may be about 1 AU per 10^8 years in order of magnitude. The physical mechanism of the effect needs a specialized research, that is planned for the future.

ВВЕДЕНИЕ. ПОДГОТОВКА МАССИВА ДАННЫХ

В настоящей работе указано на возможность действия в Солнечной системе негравитационного эффекта, обуславливающего пространственное разделение астероидов с различными значениями альbedo. Результаты работы основаны на численных расчетах эволюции орбит нумерованных астероидов главного пояса и на определенных распределениях этих астероидов по альbedo. Поскольку проявление возможного негравитационного эффекта

едва заметно, то крайне важна точность численных расчетов и точность альbedo исследуемых астероидов.

На сегодняшний день наиболее представительным массивом значений альbedo является каталог данных IRAS. Более ранняя его публикация [8] содержала альbedo p_{ir} 1872 астероидов, а их погрешность, по оценке авторов, составляла 5—10 %. Однако позже обнаружилось большие случайные и систематические ошибки [3]. В 2002 г. опубликованы пересмотренные и расширенные данные для 2228 астероидов [7].

Кроме этих данных, имеются более сотни альbedo астероидов, определенных из поляриметрических наблюдений [5], которые согласно принятой терминологии будем называть «поляриметрическими» ($p_{пл}$). Есть также несколько десятков альbedo, полученных из покрытий звезд астероидами [6], которые условно будем называть «альbedo из покрытий» ($p_{пк}$).

Поскольку данные IRAS p_{ir} содержат систематические ошибки, имеет смысл сравнить их с более точными данными $p_{пл}$ и $p_{пк}$. С этой целью мы построили зависимости разностей $\delta p_1 = p_{пл} - p_{ir}$, а также $\delta p_2 = p_{пк} - p_{ir}$ от значений IRAS-альbedo p_{ir} (рис. 1). Поскольку в дальнейшем мы будем иметь дело в основном с не очень крупными астероидами, то обе зависимости приведены для размеров $D < 100$ км. Кроме того, каждое из этих распределений построено без учета двух точек, которые заметно отклоняются от средней зависимости.

Видно, что IRAS-альbedo имеют систематические ошибки как по отношению к поляриметрическим альbedo, так и по отношению к альbedo из покрытий. Усредненные зависимости (штриховые прямые) можно записать в виде соотношений

$$\delta p_1 = -0.534p_{ir} + 0.055, \quad (1)$$

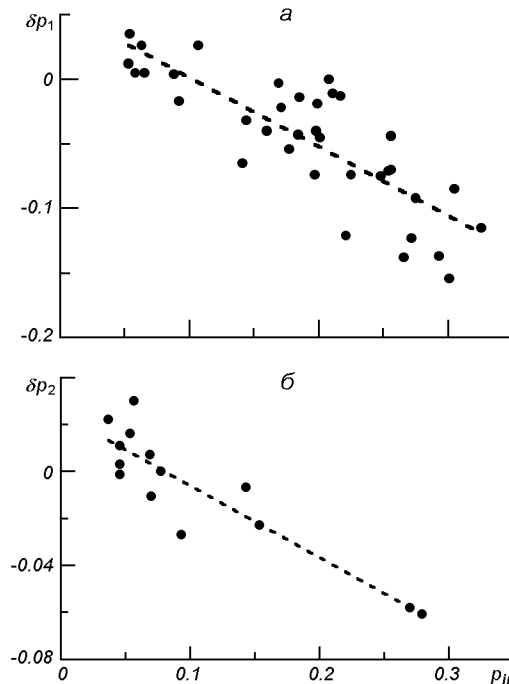


Рис. 1. Зависимости разностей альbedo от альbedo p_{ir} : а — $p_{пл} - p_{ir}$, б — $p_{пк} - p_{ir}$

$$\delta p_2 = -0.306 p_{ir} + 0.024. \quad (2)$$

Соотношения (1) или (2) можно использовать для исправления значений IRAS-альbedo за систематические ошибки.

Ниже будут использоваться IRAS-альbedo, исправленные по соотношению (2). Проверка показывает, что использование соотношения (1) или неисправленных каталожных IRAS-альbedo существенно не изменяет соответствующих распределений.

Кроме каталога данных альbedo, был использован полный каталог орбит астероидов Международного центра малых планет (MPC) на 11 апреля 2006 г., содержащий почти 130 тысяч орбит нумерованных астероидов.

РАЗДВОЕННОЕ СЕМЕЙСТВО ЭОС

Обычно семейства астероидов выявляют по концентрации орбит в так называемых собственных элементах. По сути собственные элементы — это кеплеровы элементы орбит, исправленные за вековые изменения. Обычно принято рассматривать собственные большие полуоси a' , собственные эксцентриситеты e' и собственные наклоны i' . Для определения диапазонов собственных элементов семейств необходимы специальные вычисления. В то же время основные семейства хорошо выделяются среди астероидов фона и в оскулирующих элементах, т. е. в тех величинах, которые приведены в каталогах и не нуждаются в дополнительных расчетах. Диапазоны оскулирующих элементов семейств, как и диапазоны собственных элементов, стабильны в процессе длительной эволюции. Как показали наши расчеты, диапазоны собственных эксцентриситетов большинства семейств практически совпадают с соответствующими диапазонами оскулирующих элементов.

На рис. 2 приведены распределения орбит астероидов из каталога MPC в координатах $a - e$ и $a - i$. Точками изображены орбиты астероидов с абсолютными звездными величинами $H < 13.0^m$. Такое значение H соответствует в среднем диаметру тела около 10 км. Согласно выводам работы [1] практически все астероиды с такими размерами уже открыты. Поэтому на рисунках одинаково полно представлены все зоны пояса астероидов.

Семейство Эос, согласно [9], занимает диапазон больших полуосей 2.97—3.07 а. е. Это семейство хорошо проявляется как в координатах $a - e$, так и в координатах $a - i$. Диапазон эксцентриситетов составляет примерно 0.03—0.13, наклонов — 8—13°. Из рисунков также видно, что семейство разделено на два участка по шкале больших полуосей: 2.97—3.03 а. е. и 3.03—3.070 а. е. В дальнейшем будем называть эти участки соответственно левой и правой частью семейства Эос. Можно видеть небольшой промежуток между частями семейства, а также то, что левая часть более густо заполнена астероидами. В данном случае логично предположить, что мы имеем дело с двумя разными семействами, которые имеют близкие диапазоны больших полуосей и практически совпадающие диапазоны эксцентриситетов и наклонов.

Для проверки сделанного предположения мы использовали IRAS-альbedo, скорректированные описанным выше способом. В каталоге [7] приведены альbedo 98 астероидов левой части семейства Эос и альbedo 10 астероидов правой части. Среднее значение альbedo астероидов левой части составляет 0.118 ± 0.031 , правой части — 0.066 ± 0.020 . Иными словами, астероиды двух частей семейства в среднем заметно различаются по своим фотометрическим характеристикам. Согласно критерию Колмогорова — Смирнова альbedo левой и правой части семейства различаются на уровне доверительной вероятности выше 0.99. Поэтому можно считать, что наше

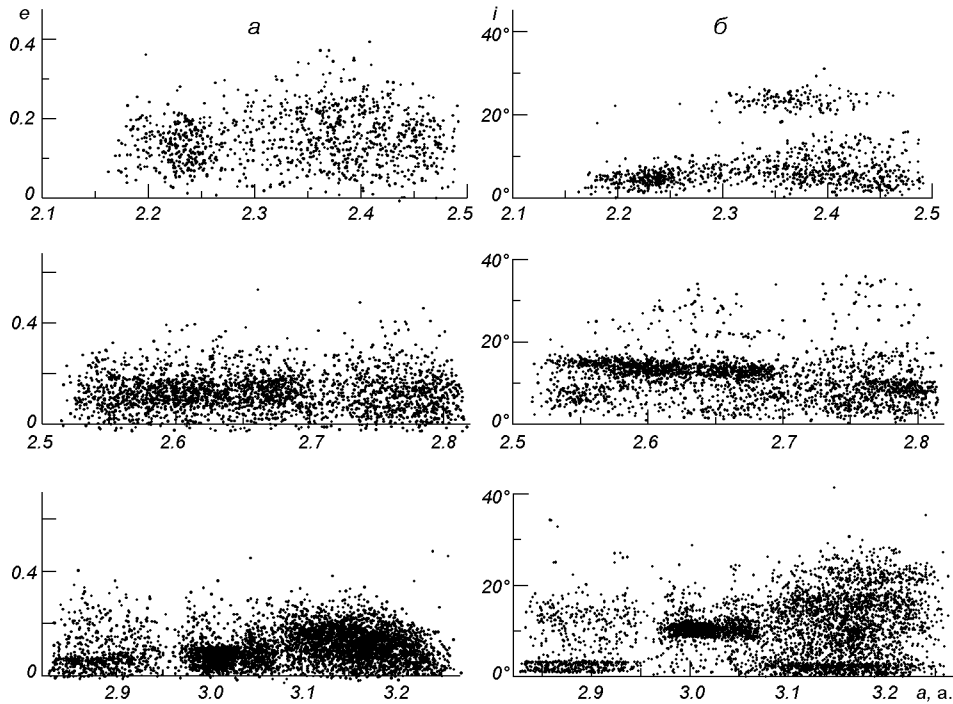


Рис. 2. Распределение астероидов с $H < 13^m$ в координатах большая полуось — эксцентриситет (а) и большая полуось — наклон (б)

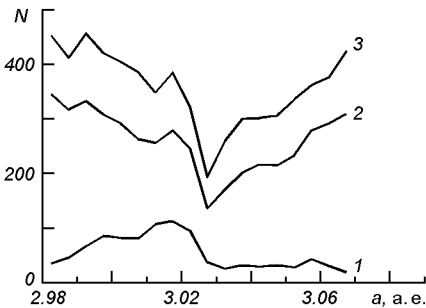


Рис. 3. Распределение относительного количества N орбит астероидов семейства Эос по значениям больших полуосей a : 1 — для тел с $H < 13^m$, 2 — $H < 15^m$, 3 — $H < 18^m$

предположение о двух разных семействах получило подтверждение.

В поисках дальнейших аргументов мы рассмотрели зависимость количества N орбит астероидов семейства в отдельных узких диапазонах больших полуосей от самого значения a . Поскольку большие полуоси орбит астероидов в процессе эволюции изменяются незначительно, то подобное распределение каждого семейства должно иметь максимум в зоне большой полуоси родительского тела с некоторым спадом в обе стороны. Для семейства Эос такие распределения (в относительных единицах) приведены на рис. 3. Здесь минимальное значение большой полуоси взято 2.98 а. е., что на 0.01 а. е. больше соответствующего значения a для этого семейства. Дело в том, что ближняя к Солнцу зона семейства расположена на самом краю люка 7/3. Поэтому часть орбит в непосредственной близости к люку может не относиться к семейству Эос, а просто быть переброшенной из другого края соответствующей резонансной зоны люка в процессе эволюции.

Видно, что орбиты более ярких астероидов (кривая 1, $H < 13^m$, 973 орбиты) распределены приблизительно в ожидаемом порядке. Неожиданным оказались распределения для более слабых астероидов: кривая 2 ($H < 15^m$, 4597 орбит) и кривая 3 ($H < 18^m$, 6164 орбиты). В перерасчете на размеры все три кривые примерно соответствуют: 1 — $D > 10$ км, 2 — $D > 2.5$ км, 3 — $D > 1$ км. Таким образом, концентрация числа орбит астероидов с размерами менее 10 км имеет минимум при $a = 3.027$ а. е. с заметным увеличением в обе стороны. Сразу отметим, что согласно критерию Колмогорова обе ветви кривых 2 и 3 существенно отличаются от равномерного распределения (уровень значимости 0.01). Можно ли объяснить это эффектом селекции? Очевидно, что нет. Хотя левые ветви кривых по характеру соответствуют эффекту селекции, но численно не согласуются с ним. Ведь концентрация астероидов возрастает более чем в два раза при уменьшении расстояния от Солнца всего в 1.017 раза. Что касается правых частей, то они и по характеру не соответствуют эффекту селекции. На наш взгляд, данный факт можно объяснить реальным смещением астероидов влево и вправо. При этом для более светлых астероидов следует предположить уменьшение больших полуосей орбит, а для более темных — увеличение. Здесь даже не особенно важно, является ли рассматриваемая группа астероидов одним семейством Эос или это два разных семейства со случайно совпавшими диапазонами элементов.

Поскольку большие полуоси орбит не имеют вековых изменений, то для объяснения наблюдаемых зависимостей можно предположить влияние некоторого негравитационного эффекта. По-видимому, эффект Ярковского не может служить объяснением подобных изменений орбит таких крупных тел. Здесь можно предположить действие негравитационного эффекта, аналогичного кометному. В этой связи можно привести публикации, например [4], в которых показывается возможность влияния солнечной радиации на скорость и ориентацию осей вращения астероидов с размерами в несколько десятков километров. Однако анализ механизма предполагаемого нами эффекта требует отдельного исследования, которое планируется выполнить в дальнейшем.

ДРУГИЕ СЕМЕЙСТВА АСТЕРОИДОВ

Понятно, что если действует негравитационный эффект, обуславливающий пространственное разделение светлых и темных астероидов, то его проявление должно сказываться и на других семействах. Подобное проявление проще всего видеть на зависимостях альbedo астероидов от больших полуосей орбит. Если эффект есть, то астероиды с большими значениями альbedo будут иметь в среднем меньшие значения больших полуосей. Понятно, что подобное проявление можно видеть лишь на примере крупных семейств, с большими количествами астероидов, в том числе и в каталоге IRAS. Кроме семейства Эос, в поясе астероидов есть еще три достаточно крупных семейства: Фемиды, Корониды и Флоры.

Семейство Фемиды расположено на внешнем краю главного пояса астероидов по шкале больших полуосей ($a = 3.08—3.22$ а. е.). В каталоге IRAS насчитывается 95 астероидов этого семейства. Усредненная линейная зависимость $p(a)$ показывает некоторое уменьшение альbedo с увеличением большой полуоси, однако эта регрессия статистически несущественная.

Семейство Корониды по шкале больших полуосей расположено между люками 5:2 и 7:3 ($a = 2.83—2.95$ а. е.). В каталоге IRAS насчитывается 27 астероидов этого семейства. На рис. 4, a представлено распределение альbedo астероидов семейства Корониды по большим полуосям орбит.

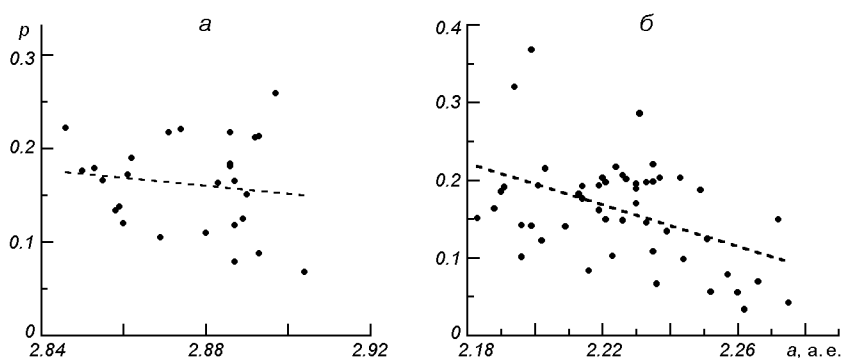


Рис. 4. Распределение астероидов семейств Коронида (*a*) и Флоры (*б*) в координатах большая полуось — альbedo

Заметен некоторый дефицит темных астероидов при меньших значениях a , что качественно подтверждает сделанное предположение. Усредненная линейная зависимость типа $p = b_1 a + b_0$ (штриховая линия) показывает уменьшение альbedo с увеличением большой полуоси. Ошибка коэффициента регрессии b_1 примерно соизмерима со значением самого коэффициента. Поэтому здесь также можно говорить лишь о качественном, но не о количественном подтверждении эффекта.

Семейство Флоры расположено на внутреннем крае главного пояса астероидов по шкале больших полуосей ($a = 2.18\text{—}2.28$ а. е.). Кроме того, это семейство вплотную подходит к зоне векового резонанса ν_6 , обусловленного влиянием Сатурна. Данный резонанс выметает все орбиты в определенной зоне координатного пространства $a\text{—}i$. Из рис. 2, б видно, что в зоне семейства Флоры крайне мало орбит с наклонами больше 8° и полностью отсутствуют орбиты с наклоном $i > 10^\circ$. Понятно, что упомянутый резонанс не оказывает выборочного влияния на астероиды с определенными значениями альbedo. Поэтому распределения альbedo астероидов семейства Флоры по большим полуосям может служить аргументом «за» или «против» наличия искомого негравитационного эффекта. Это распределение приведено на рис. 4, б. Хорошо видно уменьшение среднего значения альbedo астероидов семейства с увеличением большой полуоси. Коэффициент b_1 линейной аппроксимации составляет -1.34 , а его стандартная ошибка равна 0.37 , т. е. в 3.6 раза меньше. Если исключить из рассмотрения три астероида с альbedo выше 0.28 , то получим соответствующие значения -1.01 и 0.31 , что по сути ничего не меняет: обе зависимости существенны на уровне значимости меньше 0.01 по критерию Фишера.

Следовательно, распределение астероидов семейства Флоры в координатах большая полуось — альbedo не только качественно, но и численно свидетельствует о возможности негравитационного эффекта, разделяющего астероиды с различными значениями альbedo.

Обстоятельный анализ зависимостей $p(a)$ семейств астероидов нуждается в учете наблюдательной селекции. Значения альbedo в каталоге IRAS определялись по зарегистрированному собственному излучению от астероидов на длинах волн $\lambda\lambda = 12, 25, 60$ и 100 мкм. Собственное излучение, в свою очередь, определяется количеством поглощенной солнечной радиации. Следовательно, потоки I_1 излучения от низкоальбедных астероидов будут

больше потоков I_2 излучения от высокоальбедных астероидов. Если отношение I_1/I_2 заметно увеличивается с увеличением большой полуоси, то зависимости $p(a)$, представленные на рис. 4, могут быть в той или иной степени обусловлены наблюдательной селекцией.

Выполненные численные оценки показали, что селекция спутника IRAS изменяет отношение количества тел со значениями альbedo 0.05 и 0.15 максимум на 4 % при изменении больших полуосей от внутреннего края пояса астероидов к внешнему (от 2.2 до 3.5 а. е.). Соответственно для отдельных семейств астероидов, где диапазон значений a гораздо уже, максимальное влияние такой селекции составляет 0.3 %. Поэтому можно сказать, что наблюдательная селекция спутника IRAS никак не влияет на зависимости $p(a)$, представленные на рис. 4.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ СКОРОСТИ РАЗБЕГАНИЯ АСТЕРОИДОВ

Количественные оценки обсуждаемого негравитационного эффекта можно получить на основании численных расчетов эволюции орбит астероидов. Для этого нужно иметь два точных каталога орбит на достаточно разнесенные эпохи. Далее нужно выполнить численные расчеты эволюции орбит от более ранней эпохи к более поздней с учетом всех возможных гравитационных факторов. Затем сравнить полученные расчетные значения больших полуосей орбит с соответствующими каталожными значениями. Разности значений больших полуосей могут быть обусловлены несколькими причинами: а) ошибки элементов орбит в каталогах; б) гравитационное или столкновительное влияние неучтенных тел; в) ошибками численных расчетов; г) некоторые негравитационные эффекты.

Для оценок мы использовали ежегодник «Эфемериды малых планет на 1996 г.» (эпоха 13 ноября 1996 г.) и каталог на 2006 г. (эпоха 6 марта 2006 г.). Каталог на 1982 г., в котором впервые большие полуоси орбит приведены с точностью до 10^{-7} а. е., мы не использовали, так как многие орбиты в нем не настолько точны, как в каталоге на 1996 г. Используя численный метод интегрирования, описанный в работе [2], мы рассчитали эволюцию орбит астероидов от эпохи 13 ноября 1996 г. до эпохи 6 марта 2006 г. Расчеты проводились для астероидов главного пояса, альbedo и размеры которых приведены в каталоге IRAS. Таких орбит оказалось 1694. После этого были определены разности δa между большими полуосями орбит в каталоге на 2006 г. и большими полуосями орбит после численной эволюции. Если $\delta a < 0$, то вычисленное значение большой полуоси больше каталожного, а если $\delta a > 0$, то наоборот.

Сначала рассмотрим зависимость значений δa от размеров астероидов (рис. 5). Дискретность значений δa обусловлена точностью каталожных данных больших полуосей (10^{-7} а. е.). Приведены не все орбиты, а лишь те, для которых отклонения больших полуосей не превышают $2 \cdot 10^{-6}$ а. е. Понятно, что очень большие отклонения никак не связаны с искомым негравитационным эффектом.

Видно, что нулевому отклонению ($\delta a = 0$) соответствует максимальное количество орбит (392); при $\delta a = \pm 10^{-7}$ количество орбит составляет 296 и 303 соответственно. При увеличении отклонений количество орбит резко уменьшается. Отсюда можно сделать вывод, что точность расчетов до последнего знака соответствует точности каталогов. Относительное большинство орбит из нашей выборки (392) приведено в каталогах с точными значениями элементов, и на интервале эволюции от 1996 г. до 2006 г. они не испытывали никаких возмущений, кроме тех, что были учтены в наших

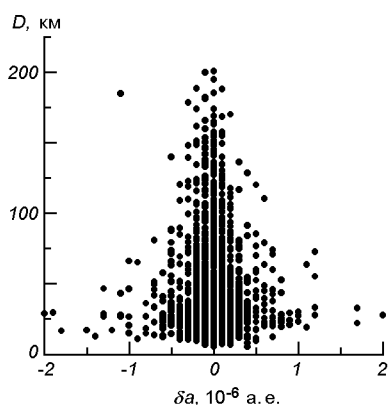


Рис. 5. Зависимость значений δa от размеров астероидов для всей выборки

расчетах. Если программа точно считает одни орбиты, то все другие орбиты просчитаны также точно. Поэтому неточность расчетов как возможную причину отклонений расчетных и каталожных значений больших полуосей орбит можно исключить. Все отличные от нуля значения δa обусловлены либо неточностями элементов орбит, либо влиянием неучтенных в расчетах тел, либо искомым негравитационным эффектом.

Понятно, что такой эффект в большей степени должен влиять на тела меньших размеров. С другой стороны, более мелкие астероиды открыты позднее, имеют более слабый блеск, и следовательно, при уточнении элементов их орбит из наблюдений возникают большие погрешности. Поэтому для выявления возможного негравитационного эффекта нами были выбраны астероиды с размерами от 10 до 50 км. Кроме того, влияние подобного эффекта на большие полуоси орбит должны быть крайне малыми, иначе они были бы уже выявлены. Как видно из приведенного выше анализа наблюдательных данных, этот эффект может сказываться или на всех телах в соответствующем диапазоне размеров, или на их значительной части. Анализ орбит сделанной выборки астероидов ($D = 10\text{--}50$ км) показывает, что при увеличении значений $|\delta a|$ от нуля количество орбит сначала уменьшается плавно, а при $|\delta a| > 4 \cdot 10^{-7}$ — более резко. Поэтому с целью выявления искомого негравитационного эффекта мы и ограничили нашу выборку в этом диапазоне значений δa . Таких орбит оказалось 1017.

В применении к нашей выборке искомым негравитационным эффектом должен сказываться на зависимости δa от альбедо. Значения δa для светлых астероидов должны быть или меньше нуля, или хотя бы меньше, чем для темных тел. Зависимость $\delta a(p)$ для сделанной выборки представлена на рис. 6, а. Видно, что качественно искомым негравитационный эффект проявляется на нашей выборке. Однако значение коэффициента b_1 регрессионной прямой для данной зависимости лишь немного больше его стандартной ошибки (соответственно -0.128 и 0.096). Следовательно, несмотря на качественное согласие, нет достаточных оснований говорить об убедительном численном подтверждении эффекта разделения светлых и темных астероидов на десятилетнем интервале эволюции орбит.

Все же качественное согласие зависимости δa от p с действием эффекта пространственного разделения светлых и темных астероидов говорит о некотором количественном проявлении данного эффекта на десятилетнем интервале. Возможно, более четкое проявление эффекта гасится ошибками значений элементов орбит и влиянием других тел, как гравитационным, так и столкновительным. Понятно, что влияние каталожных ошибок в данном случае неустранимо. Что касается второго фактора, то его можно немного

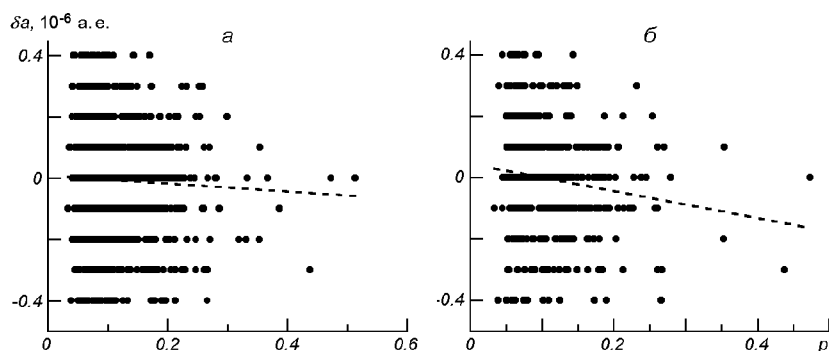


Рис. 6. Зависимости значений δa от альbedo астероидов: *а* — для всей выборки, *б* — для тел на орбитах с наклонами $i > 10^\circ$

уменьшить. Логично предположить, что максимальное влияние тел, неучтенных в расчетах, происходит вблизи плоскости эклиптики. Поэтому для относительного уменьшения этого влияния мы исключили из рассмотрения астероиды с наклонами орбит меньше 10° . Количество оставшихся астероидов составило 436. Зависимость $\delta a(p)$ для новой выборки приведена на рис. 6, б. Качественно зависимость стала более крутой, т. е. искомый негравитационный эффект проявился более четко. При этом число орбит сократилось более чем в два раза, а стандартная ошибка коэффициента регрессии стала почти в три раза меньше самого коэффициента. Значения коэффициента b_1 и его ошибки равны соответственно -0.440 и 0.151 , а если исключить из выборки четыре астероида с альbedo больше 0.4 , то -0.476 и 0.174 . Таким образом, с этими астероидами или без них значение коэффициента регрессии почти в три раза больше его стандартной ошибки. В обоих случаях уровень значимости относительно зависимости $\delta a(p)$ при $i > 10^\circ$ составляет менее 0.01 . Если сделать выборку орбит с несколько большими наклонами ($i > 13^\circ$), то коэффициент регрессии становится еще более значимым и превышает ошибку в 3.25 раза, хотя число орбит уменьшается до 247. Следовательно, результаты численных расчетов не только качественно, но и количественно свидетельствуют о возможности негравитационного эффекта, разделяющего светлые и темные астероиды.

Наверное, о какой-либо точной численной оценке скорости такого разделения астероидов говорить затруднительно. Речь может идти лишь о порядке величины. Как видно из рис. 6, б, скорость разделения самых тусклых и самых светлых астероидов с размерами $10\text{--}50$ км составляет около $1 \cdot 10^{-7}$ а. е. за 10 лет, т. е. 1 а. е. за 100 миллионов лет. Кроме того, на сегодняшнюю эпоху лишь некоторая часть астероидов с такими размерами может испытывать влияние подобного эффекта. Именно эта группа тел и может определять зависимости на рис. 6.

ВЫВОДЫ

Наблюдаемые распределения альbedo астероидов в семействах и численные расчеты свидетельствуют о возможности действия в Солнечной системе негравитационного механизма, приводящего к пространственному разделению астероидов с заметно отличающимися значениями альbedo. Если такой эффект действительно существует, то на сегодняшнюю эпоху в главном

поясе астероидов есть тела с размерами 10—50 км, для которых скорость такого разделения по порядку величины может составлять около 1 а. е. за 10^8 лет.

Автор глубоко признателен проф. Д. Ф. Лупишко за полезные советы и замечания.

1. Казанцев А. М. Некоторые особенности распределения числа астероидов по размерам // Кинематика и физика небес. тел.—2002.—18, № 6.—С. 517—524.
2. Казанцев А. М. Простой метод численных расчетов эволюции орбит околоземных астероидов // Астрон. вестн.—2002.—36, № 1.—С. 48—54.
3. Лупишко Д. Ф. Улучшенные IRAS-альбедо и размеры астероидов // Астрон. вестн.—1998.—32, № 2.—С. 141—146.
4. Harris A. W., Pravec P. Rotational properties of asteroids, comets and TNOs // Asteroids, Comets, Meteors: Proc. 229th Symp. of the IAU, Buzios, Brasil August 7—12, 2005. — Cambridge: Univ. Press, 2006.—P. 439—447.
5. Lupishko D. F., Mohamed R. A. A new calibration of the polarimetric albedo scale of asteroids // Icarus.—1996.—119, N 1.—P. 209—213.
6. Shevchenko V. G., Tedesco E. F. Asteroid albedos deduced from stellar occultations // Icarus.—2006.—184, N 1.—P. 211—220.
7. Tedesco E. F., Noah P. V., Noah M., Price S. D. The Supplemental IRAS Minor Planet Survey // Astron. J.—2002.—123, N 2.—P. 1056—1085.
8. Tedesco E. F., Veeder G. J. IMPS albedos and diameters catalogue (FP 102) // The IRAS Minor Planet Survey / Eds E. F. Tedesco, G. J. Veeder, J. W. Fowler, J. R. Chillemi. — MA: Phillips Lab., Hanson Air Force Base.—1992.—P. 243—297.
9. Zappala V., Cellino A. Asteroid families. II. Extension to unnumbered multiopposition asteroids // Astron. J.—1994.—107, N 2.—P. 772—801.

Поступило в редакцию 20.01.07