

О семействах долгопериодических комет

О.В. Калиничева, Ю.А. Чернетенко

Вологодский государственный университет
ИПА РАН, Санкт–Петербург

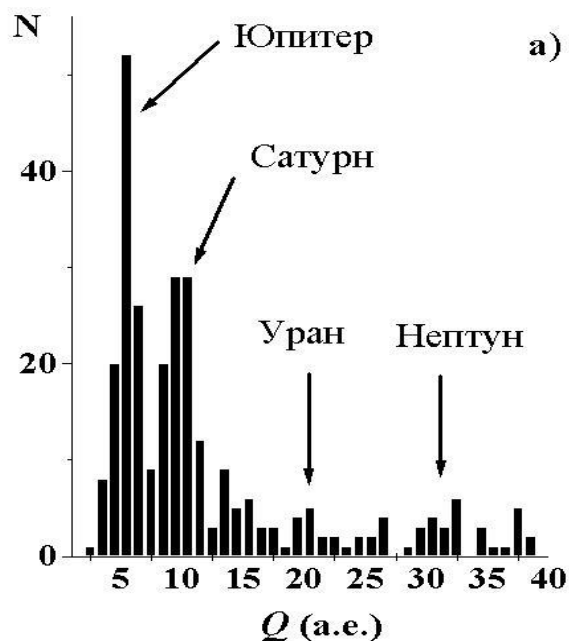
Высказывались и высказываются предположения о существовании в области рассеянного диска (или внутренней части облака Оорта), 50-2000 а.е., крупного возмущающего тела или тел. Более того, в работе Batygin et al., 2016 получены параметры его орбиты.

Распределение орбит долгопериодических комет может дать информацию о наличии таких возмущающих тел. И такие оценки неоднократно производились, с часто противоречивыми результатами.

Поэтому целью настоящей работы явилось рассмотрение таких распределений, поиск закономерностей и/или, неравномерностей их распределений на все возрастающем наблюдательном материале.

В чем заключаются предполагаемые закономерности? Для комет – это концентрация афелиев к плоскости орбиты, концентрация плоскостей орбит к плоскости орбиты планеты.

Так возникающие семейства комет являются недолговечными образованиями, т.к. определяются тесными сближениями и большими возмущениями, которые могут значительно изменить орбиту.



Определение **“кометное семейство”** отличается от определения **“семейство астероидов”**. Семейство астероидов подразумевает общее происхождение его членов, т.е. образование их в результате разрушения некоторого родительского тела.

Кроме этого, на движение ДПК оказывают возмущающее влияние центр Галактики, близкие прохождения звезд и молекулярных облаков.

Для астероидов – это работа Батыгина и др. [1] , в которой высказано предположение о существовании новой крупной планеты (планета X). Авторы статьи показывают, что необычное распределение орбит ряда открытых небесных тел в этой области (концентрация значений аргументов перигелиев) может быть случайным с малой вероятностью 0.007%. Но его можно объяснить гравитационным влиянием гипотетической планеты с массой 5-20 масс Земли, двигающейся по эллиптической орбите со следующими элементами:

$$a = 700 \text{ а.е.}, \omega = 150^\circ, \Omega = 113^\circ, i = 30^\circ, e = 0.6.$$

В работе [2] показано, что наблюдаемые наклоны осей вращения Солнца и больших планет можно объяснить влиянием этой планеты

[1] *Batygin K.E., Brown M. E.* Evidence for a distant giant planet in the Solar system // *Astronomical Journal*. —2016. — V.151—P.22.

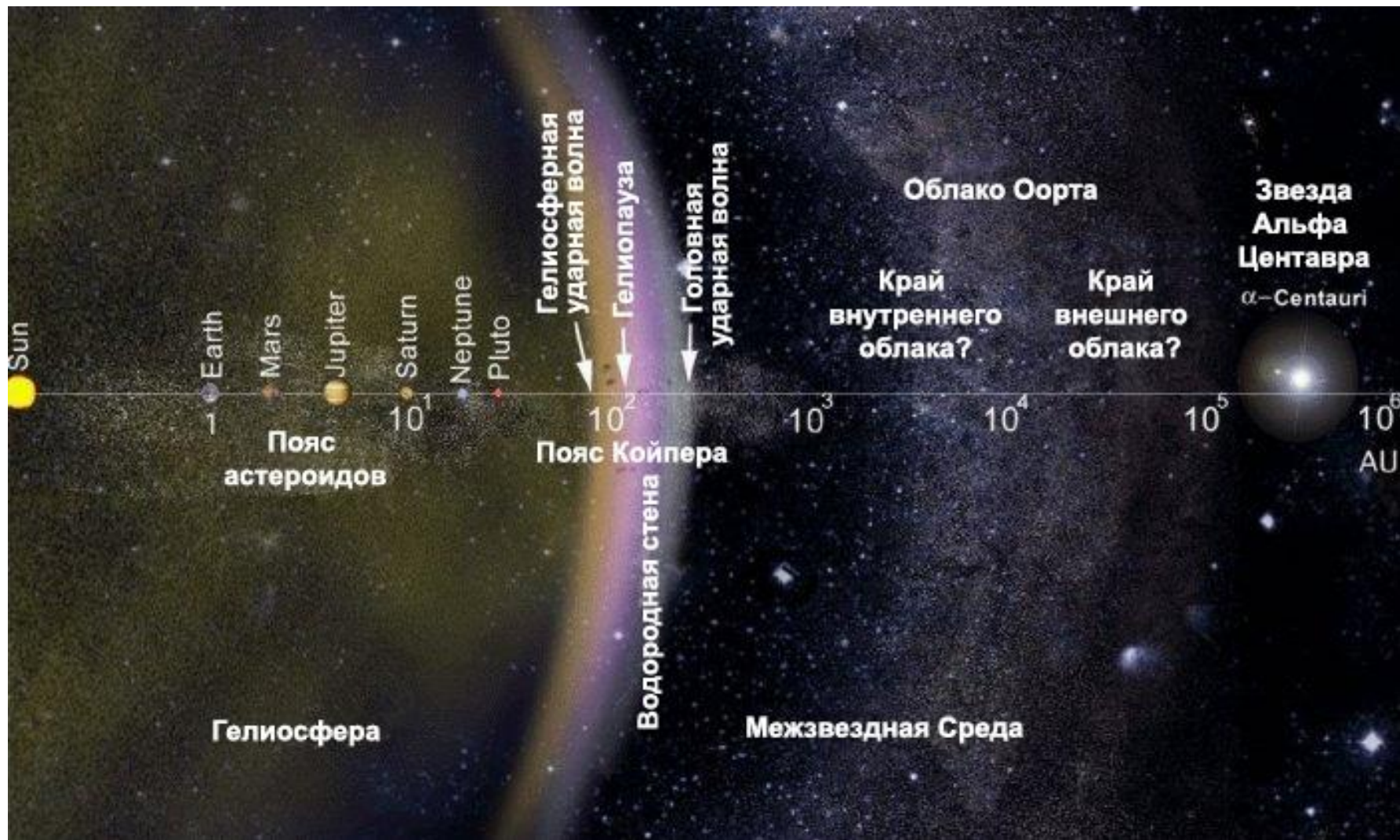
[2] *Bailey E., Batygin K.E., Brown M. E.* Solar obliquity induced by planet nine. // *Astronomical Journal*. —2016. — V.152—P.126..

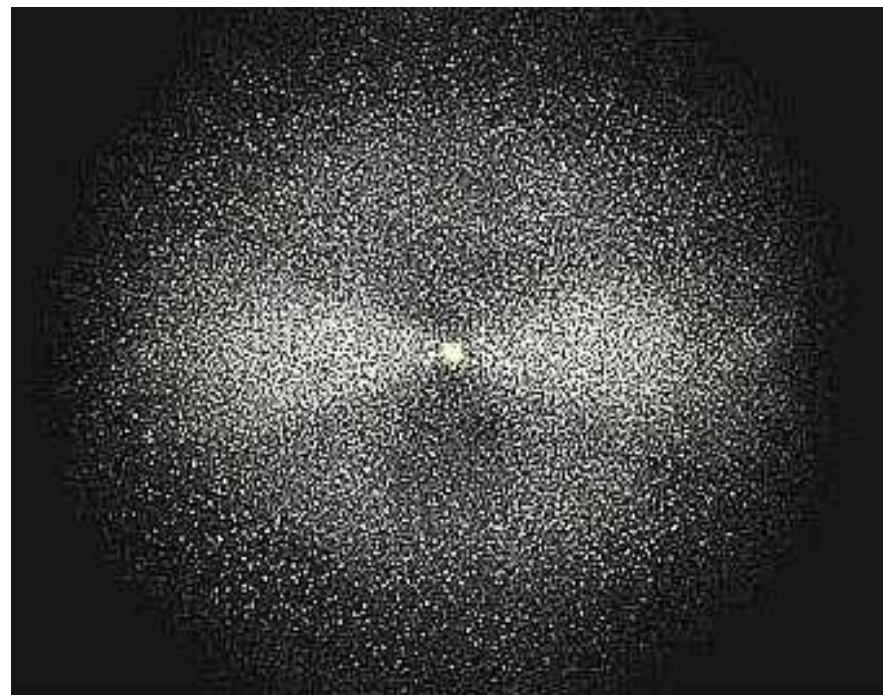
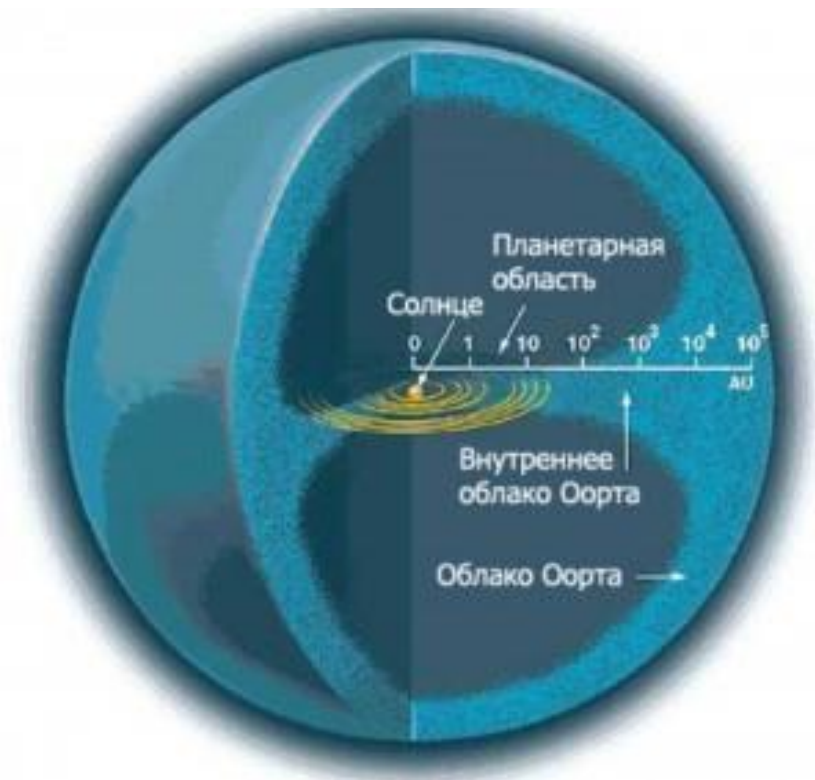
Для астероидов – это работа G.Li о распределении долгот перигелиев (Secular Dynamics on TNOs and Planet Nine Interactions). Результаты получены моделированием. Для тел ($a=250$ ае, $Q=500$ а.е., $e=0.9$) концентрация долгот перицентра относительно долготы перицентра планеты для орбит с низкими наклонами должны быть вблизи 0° и 180° , для орбит с наклонами 60° - 120° – вблизи 90° и 270° .

При рассмотрении реальных распределений такие закономерности не найдены, делается вывод о том, что вблизи плоскости эклиптики такого тела нет.

В работе используется каталог элементов орбит эллиптических комет (МПЦ) с афельными расстояниями, $Q = 50-5000$ а.е., 527 комет. Перигельные расстояния для них не превышают 9 а.е.

Параметры орбит нами не уточнялись, поэтому их ошибки не учитывались.

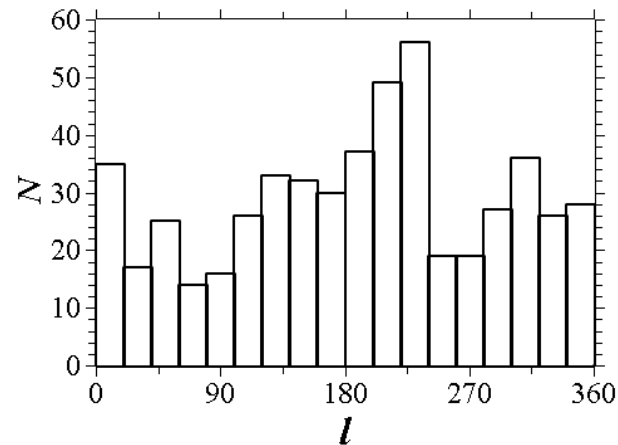
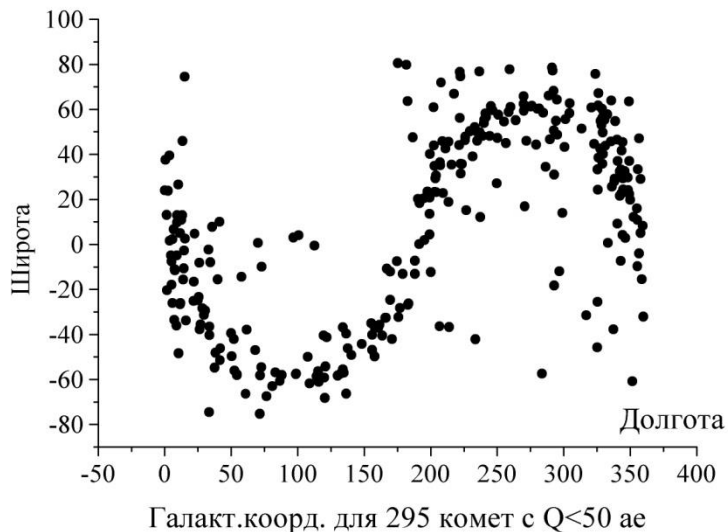




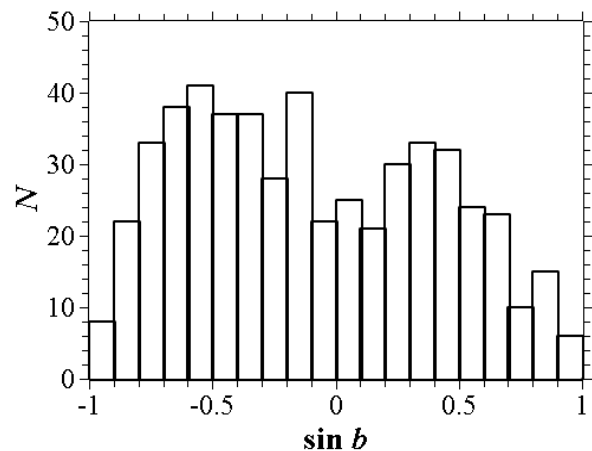
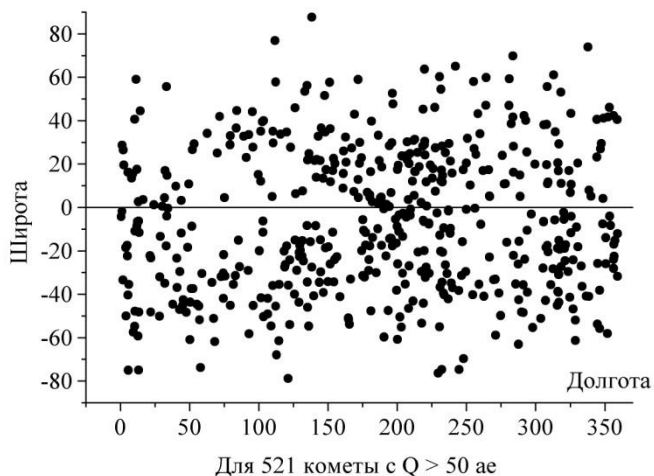
Считается, что облако Оорта занимает область от 2000-5000 а. е. до 50 000 а. е. от Солнца. Некоторые оценки помещают внешний край между 100 000 и 200 000 а.е.

Афелии комет

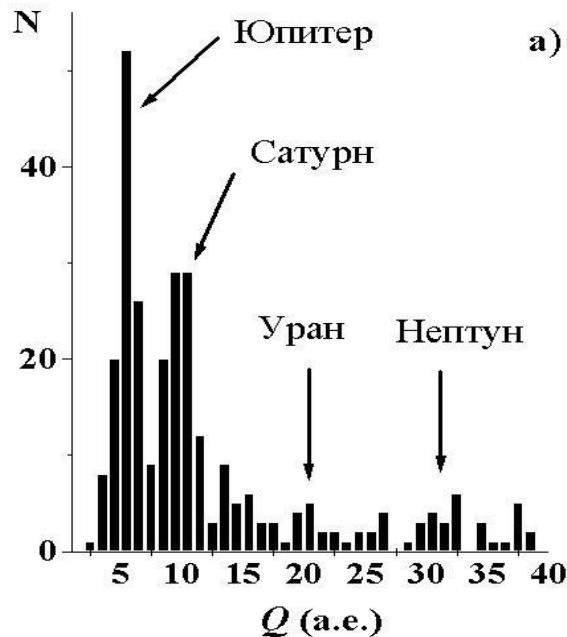
Распределения для комет с $Q > 50$ а.е.



При уровне значимости $\alpha=0.01$ распределение по l значительно отличается от равномерного: $(\chi^2_{\text{выч}} = 72.8) > (\chi^2_{\text{крит}} = 33.4)$



Задача – выявление плоскостей, относительно которых существуют максимальные количества афелиев, и определение параметров орбит предполагаемых возмущающих тел



Методики определения плоскости (Ω , I)

Элементы орбиты Юпитера

$\omega = 275^\circ$, $\Omega = 101^\circ$, $I = 1.3^\circ$, $e = 0.05$, $Q = 5.5$ a.e.

Использованы элементы 449 комет с $Q = 4.4 - 7.5$ a.e.

1. Минимизация функции расстояний афелиев от плоскости

$I = 2.5^\circ$, $\Omega = 39.4^\circ$ (малый наклон => плохо определяется узел).

2. Плоскость концентрации афелиев по числу точек в 10-градусной окрестности орбиты планеты (с шагом 1 градус по наклону и долготе узла)

$I = 2 - 3^\circ$, $\Omega = 5 - 6^\circ$, $8 - 26^\circ$, $42 - 44^\circ$, $122 - 123^\circ$

Всем значениям соответствует одинаковый максимум.

Определение параметров ω , e , Q .

Элементы орбиты Юпитера

$$\omega = 275^\circ, \Omega = 101^\circ, I = 1.3^\circ, e = 0.05, Q = 5.5 \text{ а.е.}$$

Использованы данные о 406 кометах с $Q = 4.4 - 6.5 \text{ а.е.}$

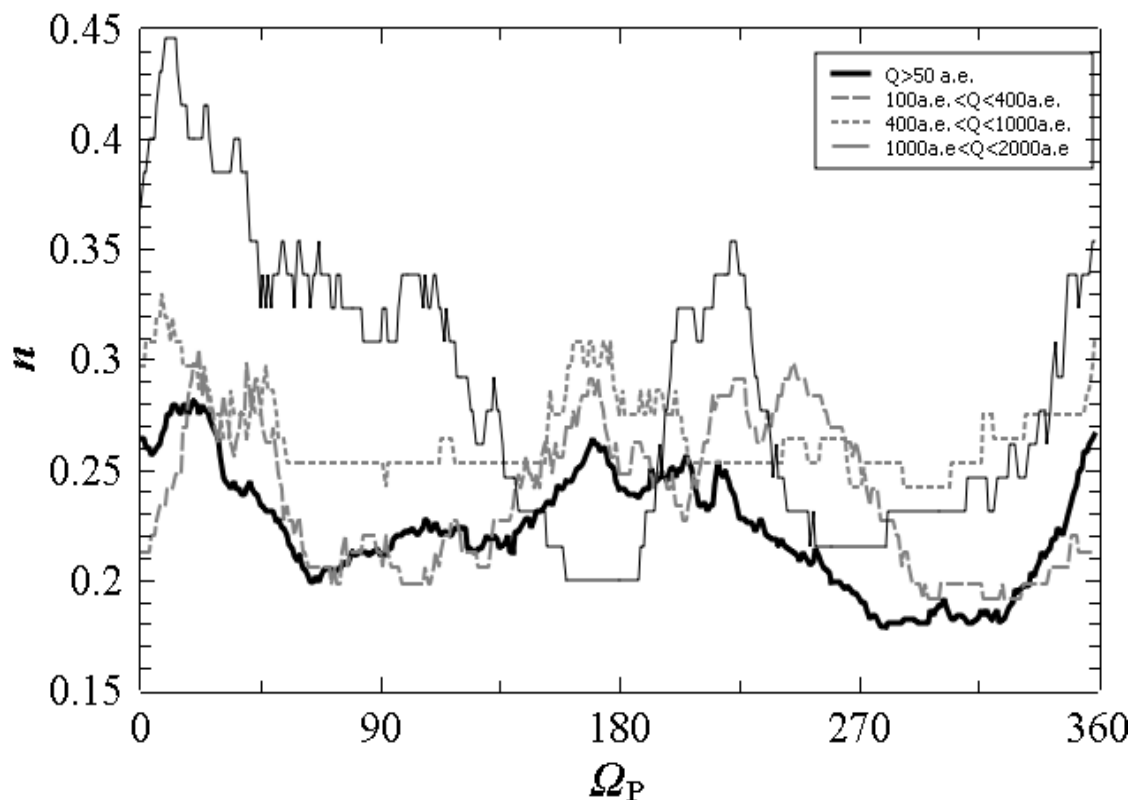
Есть плоскость орбиты некоторого тела. Вычисляем элементы орбит комет относительно этой плоскости.

Определим параметры орбиты, относительно которой число афелиев максимально – ω , e , Q .

В качестве критерия близости орбиты планеты и афелия кометы используем величину $X \leq kR$, где k – некоторый эмпирический коэффициент, R – гелиоцентрическое расстояние точки на орбите.

Порядок ошибок только метода 10° , 0.1, 0.2 а.е.

k	ω	e	Q
0.1	310	0.1	5.8
0.15	0	0	5.4
0.2	0	0	5.6



Вычислим количество кометных афелиев, находящихся в некоторой окрестности плоскости с заданными долготой восходящего узла Ω_p и наклоном i_p .

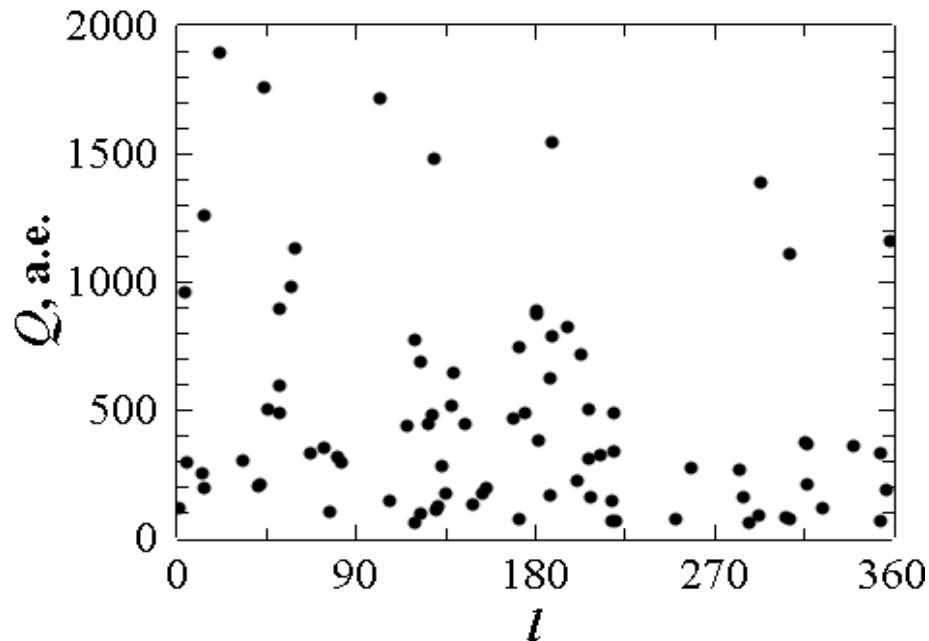
Ω_p и i_p меняется с шагом 1° . На рис. показана относительная частота попадания афелиев комет в 10° окрестность плоскости с заданной долготой восходящего узла и наклоном для 4-х интервалов изменения Q .

Интервал Q (а.е.)	Локальные максимумы и соответствующие им плоскости (углы относительно плоскости галактики)				
	Ω_p, i_p	Ω_p, i_p	Ω_p, i_p	Ω_p, i_p	Ω_p, i_p
>50	10-20, 35-40		170, 40		
100-400	10-20, 35-40	40-45, 85-90	170, 40	220, 90	245, 30
400-1000	10-20, 35-40	40-45, 60	170, 40		
1000-2000	10-20, 35-40			220, 35-40	
	Перпендикулярна эклиптике и прохо- дит через точки солнцестояний			Для плане- ты X – 200, 88	

На рисунке показаны афелии, которые находятся вблизи от плоскости с долготой восходящего узла $\Omega_p = 170^\circ$ и наклоном $i_p = 40^\circ$. На интервале $50 \text{ а.е.} < Q < 2000 \text{ а.е.}$ в 10° окрестности этой плоскости находится 84 афелия. Афельные расстояния Q этих комет распределены весьма неравномерно. Так, комет с $900 \text{ а.е.} < Q < 2000 \text{ а.е.}$ всего 12 из 84. Кроме того, количество точек зависит от галактической долготы афелиев l .

В табл. приведено медианное значение афельного расстояния Q_{med} для различных интервалов галактической долготы афелиев l .

Расположение афелиев комет, находящихся в 10° окрестности плоскости $\Omega_p = 170^\circ$, $i_p = 40^\circ$



При $\alpha=0.01$ распределение значительно отличается от равномерного: $(\chi^2_{\text{выч}} = 27.3) > (\chi^2_{\text{крит}} = 9.2)$

Медианное значение афельного расстояния Q_{med} для различных интервалов долготы афелия

l	N	$Q_{med} (a.e.)$
$315^\circ\text{-}45^\circ$	16	229.3
$45^\circ\text{-}135^\circ$	21	352.0
$135^\circ\text{-}225^\circ$	29	376.1
$225^\circ\text{-}315^\circ$	8	76.2

Одна из возможных причин обнаруженной неравномерности в распределении афелиев в плоскости $\Omega_p = 170^\circ$, $i_p = 40^\circ$ - существование в этой плоскости массивного, возмущающего орбиты комет, тела.

В первом приближении, согласно данным табл. и рис., можно сделать предположение, что перигелий этого тела расположен около галактической долготы $l_G \sim 0^\circ$, а афелий – около долготы $l_G \sim 180^\circ$ на расстоянии $Q \sim 1000$ а.е

Определим максимальное число афелиев, находящихся в непосредственной близости от орбиты возмущающего тела при условии, что орбита находится в плоскости $\Omega_p = 170^\circ$, $i_p = 40^\circ$.

Параметры орбиты на плоскости $\Omega_p = 170^\circ$, $i_p = 40^\circ$

k	ω	e	Q
84 кометы, Q – 50-1000 а.е.			
0.15	140	0.5	850
62 кометы, Q – 100-1000 а.е.			
0.1	140	0.5	900
0.15	140	0.5	850
0.2	180	0.6	800, 850
Ошибки	± 10	± 0.1	± 50

Ошибки относятся только к методике расчетов

Для параметров орбиты возмущающего тела получаем
 $\Omega_p = 170^\circ$, $i_p = 40^\circ$, $e = 0.5 \pm 0.1$, $\omega = 140^\circ \pm 10^\circ$, $Q = 850 \pm 50$ а.е.

КОМЕТЫ

$$\Omega_p = 170^\circ$$

$$i_p = 40^\circ$$

$$e = 0.5$$

$$\omega = 140^\circ$$

$$Q = 850$$

$$a = 570 \text{ a.e.}$$

$$q = 280 \text{ a.e.}$$

$$\Pi = 310$$

ТНО

$$200^\circ$$

$$88^\circ$$

$$0.6$$

$$4.5^\circ$$

$$11200 \text{ a.e.}$$

$$700 \text{ a.e.}$$

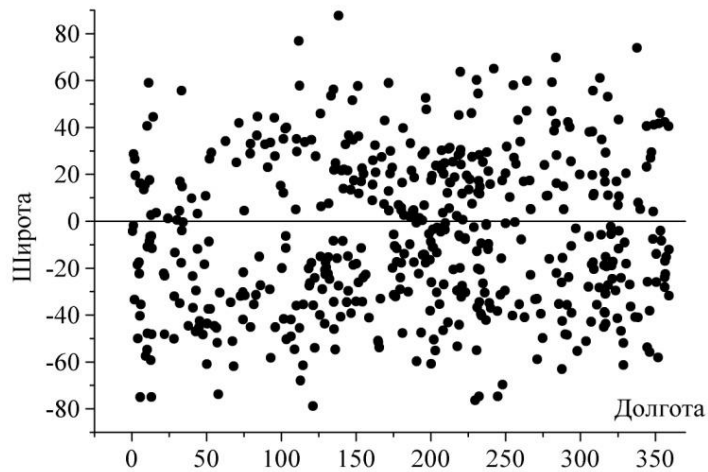
$$280 \text{ a.e.}$$

$$204.5$$

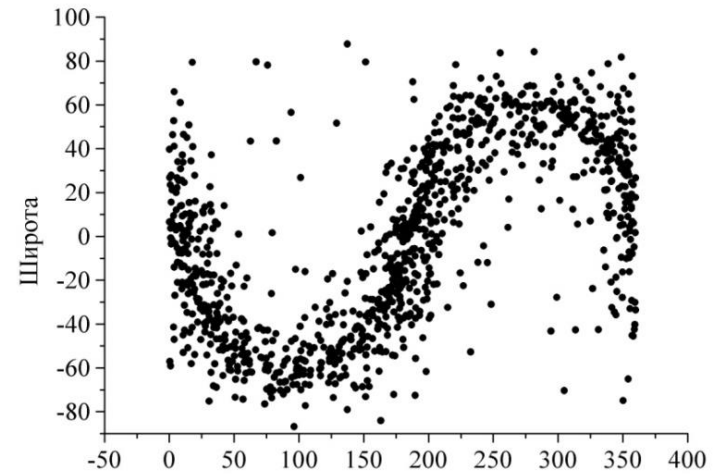
Кометы

Галактические координаты афелиев

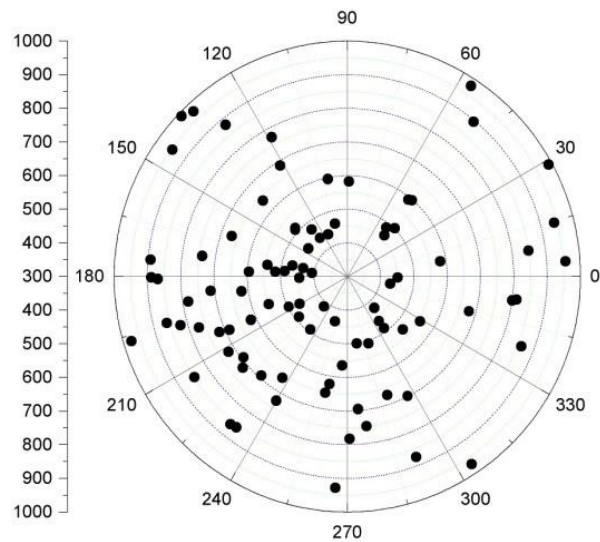
ТНО



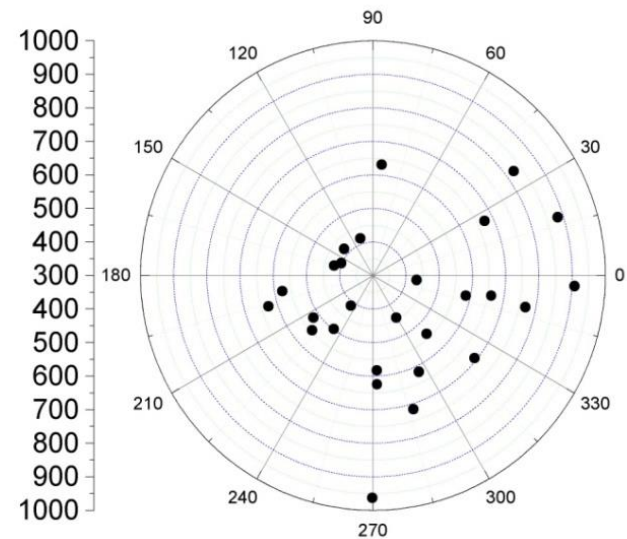
Для 521 кометы с $Q > 50$ ае



1057 TNO $Q=50-6000$ ае. Гал.координаты афелиев



118 комет с $Q 400-1000$ ае. 31 находится справа



27 TNO с $Q 400-1000$ ае (без отбора по полюсам)

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Показана, что есть значительная неравномерность в распределении положений афелиев комет на интервале их значений 100 – 1000 а.е.
2. При предположении, что эти кометы являются семейством некоторого возмущающего тела, получены параметры его орбиты

$$\Omega_p = 170^\circ, i_p = 40^\circ, e = 0.5 \pm 0.1, \omega = 140^\circ \pm 10^\circ, Q = 850 \pm 50 \text{ а.е.}$$

3. Полученные значения углов ориентации значительно отличаются от результатов Батыгина и др.
4. Возможные объяснения – неравномерность распределения афелиев не вызвана наличием возмущающего тела; значительные ошибки определения параметров орбиты этого тела...

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Долгопериодические кометы (ДПК) можно разделить на «новые» и «старые». «Новые» кометы имеют большую полуось $a > 10^4$ а.е. (Fernandez, 1981) и первый раз оказались во внутренних областях Солнечной системы. На движение «новых» комет оказывают влияние приливные силы со стороны галактического диска (Matese, Whitman, 1992), близкие прохождения звезд и молекулярных облаков (Feng, Bailer-Jones, 2014). Модель галактического прилива предполагает, что распределение перигелиев кометы является случайным по галактической долготе перигелия l_G и предсказывает существенно неслучайное распределение по галактической широте перигелиев b_G (Matese, Whitman, 1992). Если прилив доминирует, то долженждаться недостаток линий апсид около галактических полюсов и галактического экватора и избыток вблизи $b_q = \pm 45^\circ$. Перигелии (афелии) ДПК распределены на небесной сфере неравномерно. В работах (Matese et al., 1999; Matese & Whitmire 2011) было доказано существование двух максимумов в распределении по галактической долготе $l_G \sim 135^\circ$ и $l_G \sim 315^\circ$. Предполагалось, что найденная анизотропия в распределении кажущаяся и связана с тем, что перигелии (афелии) «новых» ДПК лежат преимущественно на большом круге. Перигелии ДПК на этом большом круге могут быть связаны со звездными столкновениями, имеющими предпочтительные направления, связанные с апексом пекулярного движения Солнца (Feng, Bailer-Jones, 2014). Согласно (Murrey, 1999) афелии комет с большой полуосью $30000 < a < 50000$ а.е. концентрируются к большому кругу с галактической долготой восходящего узла $\Omega = 77^\circ \pm 13^\circ$ и галактическим наклоном $i = 120^\circ$. В работе (Matese, Whitmire, 2011) показано, что линии апсид орбит «новых» комет концентрируются к большому кругу с галактической долготой восходящего узла $\Omega = 319^\circ$ и галактическим наклоном $i = 103^\circ$ (или в противоположном направлении) в связи с тем, что в этой плоскости движется спутник Солнца с массой 1-4 масс Юпитера. Орбиты «старых» ДПК сохраняют в некоторой степени особенности «новых» ДПК, но при этом накапливают дополнительные возмущения в элементах своих орбит. Эти возмущения, в частности, могут быть вызваны гравитационным воздействием неизвестных массивных планет.