

ОБНАРУЖЕНИЕ МЕЖЗВЕЗДНЫХ ЧАСТИЦ И КРИТЕРИИ ОТБОРА МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ

Введение

Существует гипотеза о поиске межзвездных частиц из кинематических рассуждений. Возможно, 75 % межзвездных частиц, которые наблюдаются на Земле, распределены в интервале эксцентриситетов от 1 до 1,1. Приводятся результаты поиска орбит межзвездных частиц в соответствии с критериями, основанными на анализе орбитальных элементов и на ограничениях, связанных с условиями наблюдения таких частиц на Земле. Апробация поиска была сделана на различных выборках из наблюдательного материала объемом свыше 7 тысяч гиперболических и параболических орбит харьковского электронного радиометеорного каталога. Доказательства вероятности присутствия межзвездных метеороидов связаны с повышением точности радиолокационных измерений и применением специальных методик отбора.

1. Радиометеорные исследования в Харькове

Проблемная научно-исследовательская лаборатория (с 2002 г. научно-учебный центр радиотехники) Харьковского национального университета радиоэлектроники (ХНУРЭ), сотрудники которой сорок пять лет под руководством профессора Б.Л. Кащеева проводят радиолокационные исследования метеоров, располагает уникальным харьковским электронным орбитальным каталогом [1]. Этот каталог содержит первичную информацию, скорости, радианты и орбиты 250 000 радиометеороидов с массой от 0,001 г до 0,00001 г. Эти данные были зарегистрированы в течение радиолокационных наблюдений 1972-1978 г.г. [2]. Они были получены импульсно-дифракционным методом при базовых наблюдениях на трех разнесенных приемных пунктах. Астрономические азимуты пунктов следующие: 214° (4,32 км), 270° (главный), 290° (8,42 км). Географические координаты радиолокационной установки - 49° 24 ' 50 « с.ш. и 36° 51 ' 30 « в.д. Метеорная автоматическая радиолокационная система (МАРС) была создана в 1971-1972 г.г. в Харьковском Институте радиоэлектроники (ХИРЭ). В течение 1966-1993 г.г. название института было ХИРЭ. В течение 1993-2001 г.г. его название было Харьковский государственный технический университет радиоэлектроники (ХТУРЭ), с 7.08.01 - ХНУРЭ. Более подробная информация об этом в сети Интернет по адресу: <http://www.kture.kharkov.ua> или <http://www.kture.edu.ua>

МАРС был первой автоматической радиометеорной системой в Украине. Система включала две автоматические радиолокационные подсистемы, действующие в режиме реального масштаба времени. Первой была подсистема для изучения численности радиометеоров и притока метеорной материи. Второй была подсистема автоматического измерения скоростей и координат радиантов индивидуальных метеоров. Реализованы одновременные вычисления параметров индивидуальных орбит метеороидов. В течение 1972-1978 г.г. этой системой было зафиксировано более чем 20 миллионов метеоров и определено сотни тысяч орбит метеороидов. Использовались радиосигналы, отраженные от недоуплотненных ионизированных метеорных следов. Полученные орбитальные данные характерны для слабых метеоров до $+12^m$. Радиовеличина таких метеоров соответствует электронной линейной плотности следов $\alpha > 10^{11}$ эл·м⁻¹. Нижний предел обнаружения масс метеороидов орбитальной подсистемой - $5 \cdot 10^{-6}$ г. Номинальные параметры МАРС [2] даны в табл. 1. Стандартное отклонение измерения было оценено по результатам наблюдений метеоров известных потоков (Геминид, Квадрантид, Орионид). Случайные среднеквадратичные ошибки измерения экваториальных координат радианта индивидуального метеора приняты как в [3]:

$$\alpha\delta = \pm 2,0^\circ; \quad \sigma\alpha = \pm 2,0^\circ \text{ sec } \delta. \quad (1)$$

Таблица 1

Рабочая частота	31,1 МГц	Длительность импульсов	30 микросекунд
Мощность передатчика в импульсе	До 1 МВт	Усиление антенн	250
Частота повторения импульсов	500 Гц	Чувствительность приемника	5 мкВ (при соотношении сигнал/шум=2)

Кусочно-линейная аппроксимация среднеквадратичной погрешности определения его наблюдаемой скорости согласно [2] описывается уравнением

$$\sigma v = \begin{cases} 2,5 - 0,05v; & v \leq 20 \text{ км/с}, \\ 2,5 - 0,05v; & v \in (20...30) \text{ км/с}, \\ 1,0 \text{ км/с}; & v \in (30...40) \text{ км/с}, \\ 0,05v - 1,0; & v \in (40...50) \text{ км/с}, \\ 0,125v - 4,75; & v \geq 50 \text{ км/с}. \end{cases} \quad (2)$$

Но в действительности случайные среднеквадратичные погрешности харьковских измерений скоростей индивидуальных спорадических метеороидов [4] гораздо меньше, чем из (2). Зависимость оценок σv от v согласно статистическому анализу [3] результатов этих измерений приведена в табл. 2.

Таблица 2

$v, \text{км/с}$	$\sigma v, \text{км/с}$	$v, \text{км/с}$	$\sigma v, \text{км/с}$	$v, \text{км/с}$	$\sigma v, \text{км/с}$	$v, \text{км/с}$	$\sigma v, \text{км/с}$
19-21	0,5	31-33	0,4	57-59	0,5	63-65	0,7
26-27	0,5	37-39	0,3	59-61	0,4		

Согласно этому методу среднеквадратичная погрешность гелиоцентрической скорости индивидуального метеора σv_h не должна превышать 0,2-0,3 км/с. Погрешности радиоизмерений, оцененные по наблюдениям метеорных потоков, часто завышены [3]. Для проверки точности расчета гиперболических орбит по результатам наблюдений были взяты данные о скоростях и метеорных орбитах, полученных радиометодом в Харькове. Для вычислений было принято, что погрешности измерений равны следующим значениям

$$\sigma v \cdot v^{-1} = 0,02; \quad \sigma\alpha = 2,1^\circ; \quad \sigma\delta = 1,7^\circ. \quad (3)$$

Были вычислены среднеквадратичные погрешности определения скорости и координат радианта, эксцентриситета (4) и других параметров орбиты.

$$\sigma e = \frac{1}{2ae} \left\{ \sigma^2 p + \frac{\sigma^2 a}{a^2} \right\}^{1/2}. \quad (4)$$

В табл. 3 приведены среднеквадратичные погрешности скоростей, координат радиантов и орбитальных элементов для метеороидов, зарегистрированных различными методами: 1- фотографическим в Одессе и Душанбе [5-6]; 2 - радиолокационным в Харькове (наблюдения метеорного потока Геминид) [7]; 3 - радиолокационным в Харькове (вычисление по аналитическим формулам, средние величины для эллиптических орбит) [3]; 4 - радиолокационным в Харькове (индивидуальные гиперболические орбиты) [4]; 5 - радиолокационным в Обнинске [8]; 6- фотографическим (наблюдения Персеид)[9]; 7 - радиосистемой AMOR [10].

Величины у радиометеоров [4] усредненные, с учетом хвостов функции распределения погрешностей. Точность индивидуальных орбит иногда лучше. Можно встретить такие

минимальные величины, как $\sigma V_g < 1,5$ км/с, $\sigma Z < 0,5^\circ$, $\sigma A < 0,5^\circ$, $\sigma V_h < 1$ км/с. В работах [3-5, 8] показано, что точность каталогов орбит радиометеоров не хуже, чем точность фотографических каталогов, а иногда лучше. Точность орбит каталогов может быть улучшена повышением точности вычислений (если исходные параметры известны), т. е. применяя улучшенный алгоритм и константы [4].

Т а б л и ц а 3

N	V_g , км/с	σA°	σZ°	$\sigma \alpha^\circ$	$\sigma \delta^\circ$	σe	$\sigma(1/a)$ а.е. ⁻¹	σi°	$\sigma \omega^\circ$
1	0,6			0,5	0,5	0,052	0,054	2,12	2,46
2	2,0			2,7	2,4	0,028	0,15	5,6	4,3
3	1,4					0,25	0,12	6,6	
4	2,4	1,8	4,2			0,205	0,253	7,0	7,6
5	1,6			2,0	2,0	0,04	0,08	3,0	4,0
6	0,6			0,5	0,05	0,048	0,050	1,78	1,92
7	5%(v_h)							2	2

2. Данные по гиперболическим орбитам

Большинство метеоров, наблюдаемых инструментально, связано с Солнечной системой. Тем не менее, Солнечная система не замкнута. Она пронизана для частиц и даже крупных тел, летящих внутрь и наружу. Так как метеороиды с гиперболической гелиоцентрической скоростью могут иметь обычные геоцентрические скорости [4, 11], возможность зарегистрировать гиперболические метеоры больше не связывают с большими погрешностями определения их скорости. Присутствие межзвездных частиц в наблюдательных данных не подтверждено до сих пор потому, что точность измерений и вычислений не достаточна для подтверждения достоверности этих данных. Эта проблема известна как проблема гиперболических метеороидов, но реально это проблема гиперболических орбит пылевых частиц в Солнечной системе. Нет ни одной достаточно точной орбиты малого тела, достоверно классифицированной как реально гиперболическая. То, что и межзвездные частицы, и те частицы, которые покидают Солнечную систему, могут иметь гиперболические орбиты, довольно усложняет анализ данных по таким орбитам. Проблема межзвездных метеороидов становится составной частью проблемы гиперболических орбит, потому что трудно обнаружить пекулярное движение Солнца в распределениях всех гиперболических орбит. В соответствии с теорией захвата [12], захваченные в Солнечную систему тела будут иметь эллиптические и почти параболические орбиты. Это делает поиск межзвездных частиц еще более сложным. Рост числа гиперболических орбит с увеличением количества данных может быть либо реальным, либо результатом накопления ошибочных данных. Анализ образования гиперболических орбит в Солнечной системе показывает, что их число не может превышать несколько процентов. Чем меньше масса метеороидов ($M \ll 1$ г), тем больше существует механизмов (световое давление и другие негравитационные эффекты, возмущения Солнца и Луны в сфере земного притяжения), которые могут трансформировать их орбиты в гиперболические, но такие тела труднее обнаруживать.

По оценкам Всехсвятского [13] межзвездные метеоры должны наблюдаться практически ежедневно. В этом случае метеороиды с $e \gg 1$ должны присутствовать среди наблюдаемых тел. По другим оценкам [14-15], наоборот, эксцентриситеты гравитационно сфокусированных межзвездных орбит должны быть сконцентрированы к единице. Орбиты, которые стали гиперболическими из-за возмущений от сближений с планетами [16], ожидаются имеющими также эксцентриситеты $e \sim 1$. Возможным механизмом происхождения гиперболических метеороидов с $V_h > 57$ км/с является столкновение двух астероидов [17].

Современные астрономические открытия качественно подтвердили гипотезу [13] о происхождении гиперболических метеороидов из-за вулканической эруптивности как на спутниках планет, так и в Галактике. Имеющиеся данные по звезде Геминге указывают

непосредственную связь между веществом, выброшенным во время взрыва этой сверхновой и открытыми микрометеороидными потоками Аресибо-частиц [19] и Улис-частиц [20]. Пылевые эксперименты на борту Улиса и других космических кораблей зарегистрировали значительный поток β -метеороидов с межзвездными гиперболическими орбитами в интервале масс $10^{-16} - 10^{-8}$ г [21]. Метеорные исследования на радиолокационной системе Аресибо в 1997 г. подтверждают существование гиперболических метеороидов с массами $10^{-11} - 10^{-6}$ г. Радиолокационная система AMOR действует ежедневно в Южной полусфере и дает возможность изучать характеристики групп частиц с массами $\geq 10^{-7}$ г, пришедших из бесконечности внутрь Солнечной системы [10].

Процентное содержание исследуемых гиперболических орбит зависит от точности измерений и вычислений. Оказывается, что в точных фотографических данных гипербол – 1-2%, в менее точных фотографических данных – до 10%, так же как в радиометеорных каталогах иногда от 2 до 24 % [16, 22]. Также есть данные наблюдений по гиперболам, полученные фотографическими и радиометодами в Киеве [15], Казани и Харькове [4]. Радарные наблюдения уступают лучшим фотографическим наблюдениям в точности измерения, но они значительно превосходят их по статистической обеспеченности результатов и позволяют регистрировать более слабые метеоры. Увеличение относительного числа гиперболических орбит в радиокаталогах по сравнению с фотографическими может быть следствием не только больших погрешностей измерений, но и более благоприятных условий для регистрации метеорных тел с гиперболическими орбитами. Вместе с тем верхняя граница возможности пронаблюдать реальные гиперболические орбиты при радиоизмерениях не может превышать теоретические оценки вероятности встречи Земли с такими орбитами.

Гиперболические орбиты есть в телевизионных метеорных каталогах [23]: почти 15% в японском каталоге, который включает наблюдения 1990-1994 г.г. в и 12% – в канадском каталоге. Согласно Эпику знаменитый метеорит Пултуск – единственное тело с уверенно определенной гиперболической скоростью [24]. Также уместно упомянуть 98 гиперболических комет каталога Марсдена и гиперболические орбиты в других кометных каталогах. Опубликовано несколько каталогов орбит гиперболических метеороидов. Среди них каталог Всехсвятого, состоящий из 78 орбит [13], каталог Симакиной, состоящий из 38 гиперболических орбит [25], одесский каталог транспланетных радиантов 737 гиперболических метеоров [18]. Имея больше данных, можно изучать распределение гиперболических орбит, даже если каждая орбита не очень точная. Накопленные к настоящему времени наблюдательные данные по телам с гиперболическими орбитами неоднородны и недостаточно обширны, чтобы сделать какие-то значимые окончательные выводы.

3. Критерии распознавания реальных гиперболических орбит

Оценка эффективности механизма образования гиперболических орбит в Солнечной системе может быть сделана косвенно. Одним из косвенных критериев является число узлов тестируемых орбит [26]. Гиперболическая орбита в противоположность эллиптической может пересекать эклиптическую плоскость только в одной точке. Для гиперболической орбиты метеороида, имеющей два узла, можем найти возмущающие силы в эклиптической плоскости, которые могли трансформировать в гиперболу ее первоначальную, возможно, негиперболическую орбиту. В Харькове предложен метод разделения данных с использованием радиус-векторов восходящего и нисходящего узлов. Возмущающая планета определяется по близости радиус-вектора одного из узлов орбиты метеороида к радиус-вектору этой планеты. В табл. 4 приведены орбитальные параметры метеорных тел с $e \geq 1$ образованные планетными возмущениями Марса (1-4), Юпитера (5-7) и Сатурна (8-9) по харьковским данным 1975-1976 г.г. в соответствии с методикой Штола [16].

Идея, что любая планета Солнечной системы способна трансформировать орбиту в гиперболу, подтверждается в [11, 26] оценками падающего потока частиц, чьи гиперболические орбиты стали результатом трансформации их начальных орбит в сферах влияния планет.

Таблица 4

N	Дата	Время	V_h , км/с	i°	ω°	e	p , а.е.	q , а.е.	R , а.е.
1	16.08.76	12:23	47	88	99	1,33	1,23	0,55	1,56
2	02.09.76	05:10	45	74	259	1,19	1,22	0,56	1,56
3	07.09.76	03:05	42	13	79	1,04	1,19	0,58	1,51
4	09.09.76	02:15	43	32	260	1,10	1,20	0,57	1,52
5	03.02.75	16:44	44	61	123	1,11	1,59	0,75	4,05
6	07.02.75	01:50	43	9	49	1,06	1,67	0,81	5,59
7	19.03.76	07:51	42	132	227	1,00	1,63	0,84	4,54
8	12.06.75	13:48	57	26	113	2,09	1,82	0,60	8,09
9	19.06.76	13:37	68	53	108	2,02	1,85	0,51	8,99

Существует гипотеза о возможности обнаружения межзвездных частиц из кинематических соображений. Это дает 46,6 км/с как наименьший предел гелиоцентрической скорости межзвездных метеороидов. Следовательно, если гелиоцентрическая скорость метеороида превышает параболическую скорость более чем на 10 км/с, это тело может быть межзвездного происхождения [22]. Кроме того, концентрация метеорных радиантов к апексу Солнца ($\lambda=272^\circ$, $\beta=57,5^\circ$) должна наблюдаться для межзвездных метеороидов. Если метеороиды межзвездного пространства были извергнуты из звездных систем, можно ожидать, что радианты этих метеоров будут сконцентрированы в плоскости Галактики. Несколько потенциальных исходных областей межзвездных метеороидов можно постулировать [13, 19, 26].

Для частицы, входящей в Солнечную систему из межзвездного пространства и попадающей на Землю (т. е. движущейся из апекса), распределение межзвездных метеороидов по эксцентриситету орбит и перигелийному расстоянию было рассчитано в статье [15] для различных долгот Земли (дат наблюдений). Было получено, что наиболее вероятные наблюдаемые периоды обнаружения межзвездных метеороидов будут в марте и сентябре. Эксцентриситеты орбит таких межзвездных частиц не должны превышать величину 1,1.

Компьютерные методы поиска метеорных потоков [1,3] могут использоваться для поиска групп межзвездных частиц. Компьютерный поиск потоков был впервые введен Саутуртом и Хоккинсом в 1965 г. Использовался метод кластер-анализа, основанного на поиске близлежащих соседних орбит, взаимосвязанных в пятимерном пространстве (e, q, i, ω, Ω). Авторы ввели универсальное расстояние D_{AB} между двумя точками в пятимерном пространстве (e, q, i, ω, Ω) и вычислили все возможные расстояния между этими точками. Потом все пары, которые удовлетворяли условию $D < D_s$, где D_s -предусмотренное оговоренное наибольшее допустимое расстояние в фазовом пространстве, группируются вместе либо непосредственно, либо косвенно, образуя кластер (метеорный поток). Для D_{AB} используется алгоритм (5)

$$D_{AB}^2 = (e_A - e_B)^2 + (q_A - q_B)^2 + \left(2 \sin \frac{1}{2 \cdot I_{AB}}\right)^2 + (e_A + e_B)^2 \left(\sin \frac{1}{2 \cdot \Pi_{AB}}\right)^2, \quad (5)$$

где A и B - две орбиты, которые сравниваются; I_{AB} - угол между орбитальными плоскостями; Π_{AB} - различие между долготами перигелия, измеренного от пересечения орбит. Этот алгоритм часто упоминается как D - критерий [1, 3] и его следует применить для поиска группирования среди метеороидных орбит, имеющих эксцентриситет, близкий к единице.

4. Харьковские гиперболические орбиты метеоров

Из 250 тысяч орбит, обнаруженных метеорной автоматизированной радиолокационной системой ХИРЭ с января 1972 г. по декабрь 1978 г. зарегистрировано более чем 7 тысяч орбит с $e > 0,8$ для метеороидов с массами $> 10^{-6}$ г. Распределение геоцентрической скорости V_g

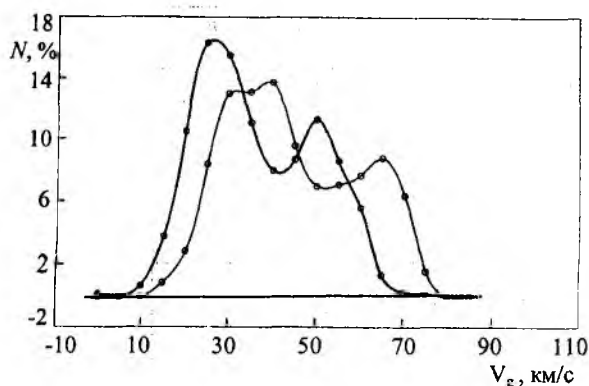


Рис. 1

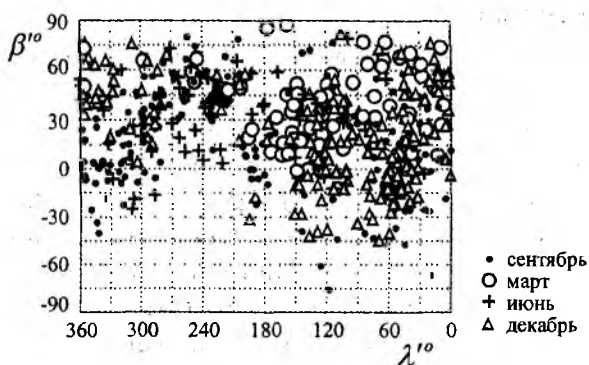
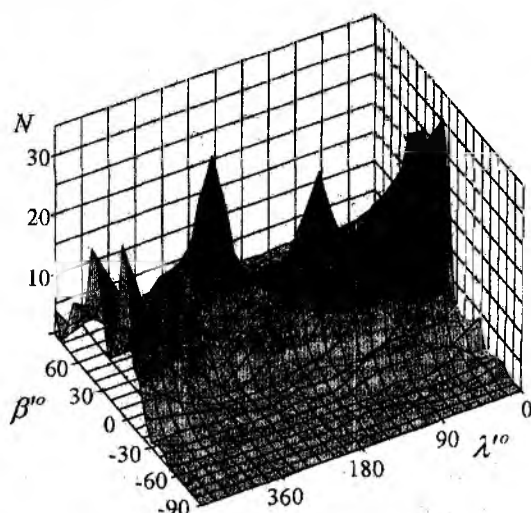


Рис. 2

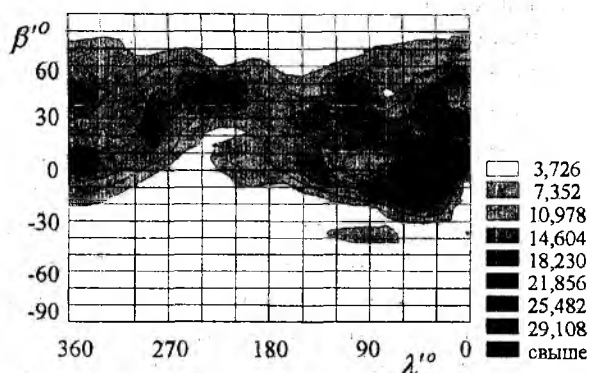


Рис. 3

для метеороидов с гиперболическими орбитами лишь незначительно смещено к большим скоростям по сравнению с распределением V_g для эллиптических орбит, что видно из рис.1. Физический фактор замечаемости радиометеоров является функцией наблюдаемой скорости и зенитного расстояния радианта. Геометрический фактор замечаемости есть функция, главным образом, склонения радианта при круглосуточных наблюдениях [7]. Различия между распределениями гиперболических и эллиптических орбит метеороидов по азимуту, зенитному расстоянию и склонению радианта несущественны [2, 4]. Упомянутая выше аналогия учета факторов избирательности в распределениях орбит всех метеоров и метеороидов с гиперболическими орбитами позволяет использовать харьковские данные без учета селекции при сравнении различных параметров гиперболических и эллиптических орбит между собой. При анализе распределения по гелиоцентрической скорости уместно вспомнить, что довольно много орбит имеют погрешности по индивидуальным оценкам меньше, чем средняя величина $\sigma V_h = 2$ км/с. В соответствии с харьковскими данными хвост функции распределения по скорости тянется до $V_h \approx 90$ км/с, но главный максимум распределения V_h лежит в пределах от 40 км/с до 50 км/с. Вероятность обнаружения межзвездных метеороидов в соответствии с [15] была изучена. Возможно на рис. 2 присутствует некоторое число межзвездных метеороидов среди наблюдаемых периодов: 20 дней перед и 20 дней после 21 марта; 22 июня; 23 сентября; 22 декабря. Распределение на рис.3 по координатам радианта (α', β') для гиперболических орбит ($1 < e < 1.1$) в эклиптической гелиоцентрической системе координат может использоваться для вывода о концентрации метеорных радиантов к апексу пекулярного движения Солнца и некоторым другим областям возможных источников.

«Гиперболические» метеороидные орбиты в Харькове изучались на выборках различного объема отобранных по приведенным критериям: $a < 0$, $e \geq 1$ и $a > 0$, $0,9 < e < 1$. Был использован набор из 533 эллиптических орбит (данные 1975 г. с $0,9 = e < 1$). Он был отобран с использованием харьковского эллиптического орбитального каталога [2]. Все 7911 почти параболические и гиперболические отобранные орбиты относятся к семилетнему периоду. Число наблюдаемых гиперболических орбит изменяется в течении года приблизительно так же, как общее число орбит с минимумом в первой половине года. Процент гиперболических орбит изменяется в течении года от 1,2 до 4,8 (для 1975 г.). Средний годовой процент гиперболических орбит составляет 2,8% от общего числа орбит. Исследовалось распределение различных выборок гиперболических метеороидных орбит по эксцентриситету. В 1972-1978 г.г. были обнаружены 1102 метеороида с гиперболическими орбитами с $1 < e < 1.1$. На рис.4. приведено распределение их параметров: перигелийного расстояния q , истинной аномалии ν , наклона орбиты i , гелиоцентрической скорости V_h , эксцентриситета e , аргумента перигелия ω (N – число орбит).

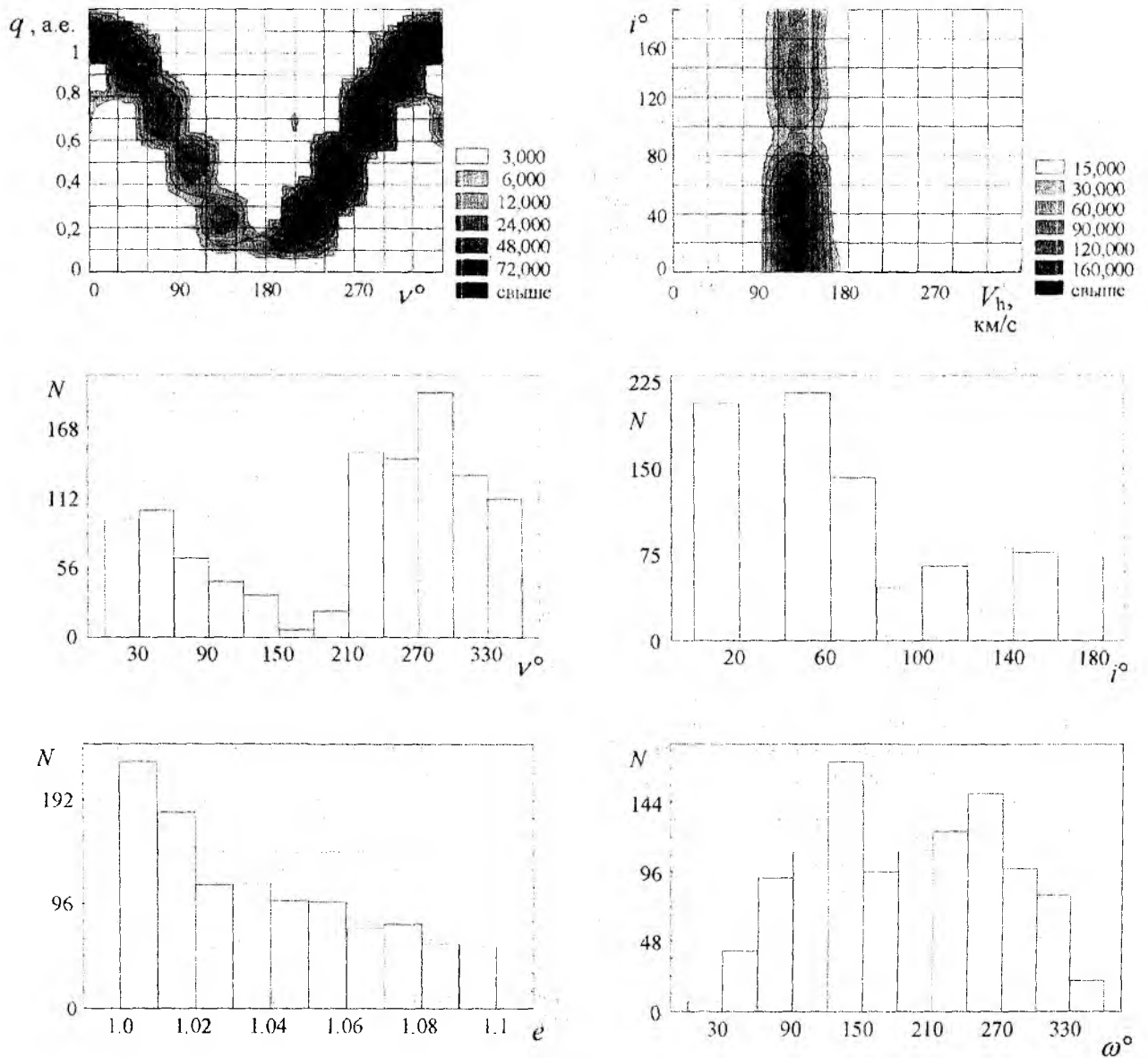


Рис. 4

Среди 7911 орбит, содержащихся в базе данных, 2300 имеют эксцентриситет $1 < e < 2$, а у 28 орбит $e > 5$. В 1975 г. зарегистрированы 15 орбит с $5 < e < 7$. В пользу реальности наличия гиперболических орбит в харьковских данных свидетельствует явное различие распределений числа орбит по элонгации радианта от солнца для гиперболических и для эллиптических орбит с $0,9 < e < 1$ [11].

Заключение

Результаты исследований, проведенных в ХНУРЭ, подтверждают, что среди метеорных данных, зарегистрированных радиолокационным методом, возможен поиск реальных гиперболических орбит. Следует отметить преимущества базы радиолокационных данных, связанные с высокой статистической обеспеченностью этого метода, и недостатки, обусловленные ограниченной точностью радиометеорных измерений. Необходимы новые критерии отбора межзвездных метеороидов. Проблема гиперболических метеоров ставит новые задачи. Комплекс орбит метеороидов с эксцентриситетом, близким к единице, может служить материалом как для отбора межзвездных частиц, так и для поиска родительских тел на окраинах Солнечной системы.

Список литературы: 1. *Voloshchuk Yu.I., Kashcheyev B.L., Podolyaka V.A.* A Meteor Complex Near Earth's Orbit: Sporadic Background, Streams, and Associations. I. The Technique for Selection of Streams and Associations from a Large Sample of Individual Meteor Orbits // *Solar System Research*. Vol.29, N 5. P. 382 – 391, 1995. 2. *Кащеев Б.Л., Ткачук А.А.* Результаты радиолокационных наблюдений слабых метеоров. Каталог орбит метеоров до +12 m. Материалы мирового центра данных Б. М.: ВИНТИ, 1980. 232 с. 3. *Волощук Ю.И., Кащеев Б.Л., Кручиненко В.Г.* Метеоры и метеорное вещество. Киев: Наукова думка, 1989. 296 с. 4. *Кащеев Б.Л., Ткачук А.А., Коломиец С.В.* О проблеме гиперболических метеоров // *Проблемы космической физики*. 1982. Вып. 17. С. 3 – 15. 5. *Babadzanov P.B., Kramer Y.N.* Some Results of Investigations of Instantaneous Meteor Photographs // *Physics and dynamics of meteors*. Dordrecht (Holland): D. Reidel Publ. Co. 1968. С. 128 – 142. 6. *Катасев Л.А.* Исследование метеоров в атмосфере Земли фотографическим методом. Ленинград, 1966. 334 с. 7. *Кащеев Б.Л., Лебединец В.Н., Лагутин М.Ф.* Метеорные явления в атмосфере Земли. М.: Наука, 1967. 260 с. 8. *Лебединец В.Н.* Пыль в верхней атмосфере и космическом пространстве. Метеоры. Ленинград: Гидрометеиздат, 1980. 248 с. 9. *Бабаджанов П.Б.* Фотографические наблюдения Персеид // *Бюллетень Института астрофизики*. 1958. №26. С. 13 – 20. 10. *Baggley W.J.* The Interstellar Particle Component measured by AMOR // *Proceedings «Meteoroids 1998»*. Bratislava, 1999. P. 265 – 273. 11. *Андреев Г.В., Кащеев Б.Л., Коломиец С.В.* Противоречия проблемы гиперболических метеоров // *Метеорные исследования*. 1987. № 13. С.93 – 104. 12. *Радзиевский В.В., Томанов В.П.* К вопросу о происхождении почти параболических комет // *Астрономический журнал*. 1970. Том 7, № 2. С. 1094 – 1099. 13. *Всехсвятский С.К.* Эруптивные процессы в Галактике и гиперболические метеоры // *Проблемы космической физики*. 1978. Вып. 13. С.141 – 146. 14. *Белькович О.И., Потапов И.Н.* Ожидаемое распределение элементов орбит межзвездных частиц в Солнечной системе // *Астрон. вестник*. 1985. Т. 18, № 3. С.206 – 210. 15. *Казанцев А.М.* Возможность обнаружения межзвездных метеороидов // *Кинематика и физика небесных тел*. 1998. С. 82 – 88. 16. *Stohl J.* On the problem of hyperbolic meteors // *Bull. Astron. Inst. Czechosl.* 1970. Vol. 21. P. 10 – 17. 17. *Казанцев А.М., Шербаум Л.М.* Поиск механизма происхождения ярко выраженных гиперболических орбит метеоров // *Астрон. вестн.* 1990. Том. 24, № 1. С. 72 – 78. 18. *Краммер Е.Н., Шестака И.С., Маркина А.К.* Орбиты метеоров по фотографическим наблюдениям 1957 – 1983. Каталог. // Материалы мирового центра данных Б. М.: ВИНТИ, 1986. 186 с. 19. *Mathews J.D. and al.* Possible Origins of Low Inclination Antapex Micrometeors Observed Using The Arecibo UHF Radar // *Proceedings «Meteoroids 1998»*. Bratislava, 1999. P.79 – 82. 20. *Grun E.* Dust Detection From Space Vehicles // *Meteoroids And Their Parent Bodies*. 1992. Bratislava, 1993. P. 349 – 356. 24. 21. *Mann I.* The Out of Ecliptic Distribution of Interplanetary Dust and its Relation to Other Bodies in the Solar System // *Earth, Moon And Planets*. 1995. Vol.68, N1 – 3. P. 419 – 426. 22. *Hajdukova. M.Jr.* On the Hyperbolic and Interstellar Meteoror orbits // *Proceedings «Meteoroids 1998»*. 1999. P. 61 – 64. 23. *Sarma T., Jones J.* Double –station Observations of 454 TU Meteors // *Bull. Astron. Inst. Czechosl.* 1985. Vol. 36, N9. P. 103 – 115. 24. *Мак-Кинли Д.* Методы метеорной астрономии. М.: Изд.-во «Мир», 1964. 384 с. 25. *Симакина Е.Г.* О гиперболических орбитах метеоров // *Астрон. вестник* 1968. Том.2, № 3. С. 153 – 157. 26. *Andreyev G.V., Kashcheyev B.L., Kolomiyets S.V.* Hyperbolic Meteoroid Flux Near Earth Orbit // *Abstracts for IAU Symposium 160: Asteroids, Comets, and Meteors, Belgirate (Novara), Italy, June 14 – 18 1993*. P. 12.