

О СЛОЖНОЙ СТРУКТУРЕ КОМЕТЫ ЭНКЕ ПРИ ЕЕ ДВИЖЕНИИ ВБЛИЗИ СОЛНЦА

Ю.Д. Медведев, Ю.А. Чернетенко
ИПА РАН, Санкт–Петербург

«Пулково-2015»
21–25 сентября 2015 г.
Санкт-Петербург



Особенности динамики кометы Энке (2P)

- Имеет самый короткий период среди короткопериодических комет = 3.3 года.
- $q = 0.336$ а.е., $Q = 4.094$ а.е., $e = 0.848$. Наблюдается с 1786 г.
- Значительные негравитационные эффекты, трудности при определении орбиты.
- С кометой связаны метеорные потоки Бета-Тауриды и Тауриды.
- Существует гипотеза, что Тунгусский метеорит был крупным фрагментом кометы Энке.
- Сближающийся с Землей астероид 2004 TG₁₀ может быть фрагментом кометы Энке.

Особенности ядра кометы Энке

- Радиус 2.4 ± 0.3 км
- Период вращения 15.08 ± 0.08 час
- Северный полюс вращения: $\alpha = 205.6^\circ$, $\delta = 1.5^\circ$ (198.6° , -0.3°)
- Поверхностная плотность $0.5 - 1.0$ г см⁻³
- Радарные наблюдения 2003 г. не обнаружили в коме крупных (> 1 см) гранул
- Форма ядра ($a/b = 2.04$, $b/c > 1.18$ или 1.09). (The Excited Spin State of Comet 2P/Encke, M. Belton et al.)
- По ориентации веерообразной комы (Sekanina, 1988a, b) сделан вывод о наличии активных областей на поверхности ядра на широте $+55^\circ$ в северном полушарии и в южном полушарии на широте -75° .

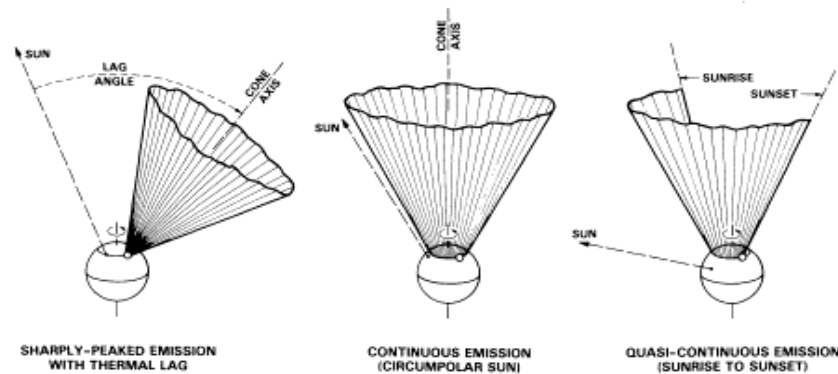


FIG. 7—Schematic representation of two concepts for the formation of a sunward fan of a rotating comet. The model with sharply-peaked emission and thermal lags (left) has the fan's apex at the point of maximum activity on the parallel of subsolar latitude, the cone axis coinciding with the direction of the expanding ejecta. For the continuous (centre) and quasi-continuous (right) collimated emission models, the fan's apex is at the point of intersection of the cone axis and the extension of the spinning emission vector, the axis coinciding with the rotation vector. Also shown are the equator, the location of the emission source and its parallel of latitude, the sense of rotation, and the Sun's direction. (Reproduced from Sekanina 1987.)

the nucleus must be in the state of virtually pure spin, as a “smear” caused by significant precession on time scales shorter than, or comparable to, the residence time of the ejecta in the fan would render the latter undetectable. Finally, to make the fan appear virtually structureless on linear scales characteristic of Earth-based images requires rather a high spin rate, unless there are several sources in the active zone or unless the source covers a very extensive area. Depending on the near-nucleus flow properties, gaseous emissions from discrete sources may also produce a fan-like coma, but its boundaries are generally less well defined because of a more chaotic distribution of molecular motions and randomization effects of photodissociation on the dynamics of daughter products.

Experience with the two concepts of fan formation, which are schematically compared in figure 7, has shown the collimation model to be vastly superior and almost certainly correct, allowing a straightforward determination of the spin-vector orientation. On a co-ordinate chart, the rotation-pole positions consistent with a given axial direction of the fan lie on a great circle passing through the axis. Position-angle data obtained at different times thus provide a set of great circles all of which must intersect at the same two points, whose co-ordinates are those of the rotation poles. In practice, because of observational errors involved, each great circle becomes a narrow slice delimited by two great circles that

Особенности комы

Определение орбиты и неграв. параметров

Интервал исследования – 7 появлений 1993 – 2013 гг. с общим числом наблюдений 3044. По появлениям они распределены следующим образом: 145, 118, 56, 1113, 272, 110, 1230.

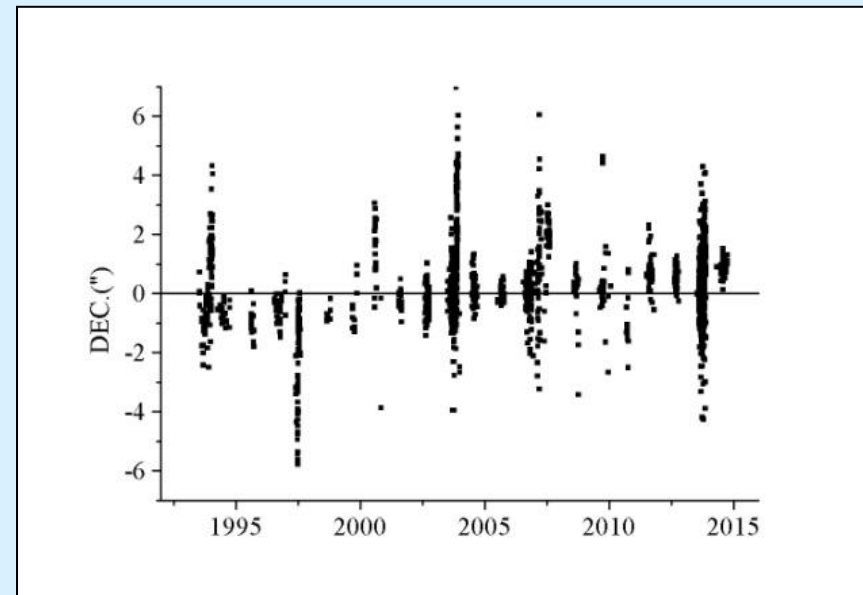
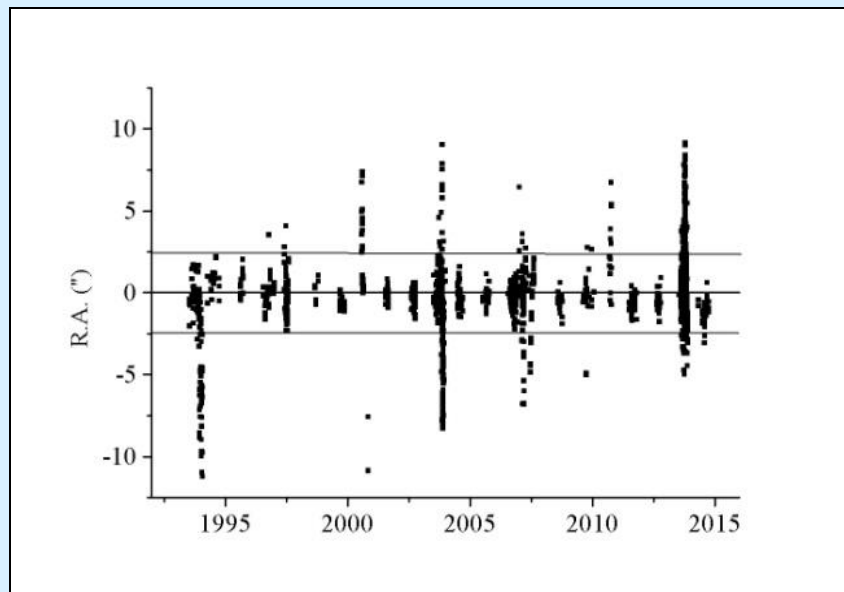
Параметры н.э. (Модель Марсдена)	Решение MPC	Настоящая работа
$A_1 (10^{-8} \text{ а.е.сут}^{-2})$	0.0088	0.0081 ± 0.0006
A_2	-0.000616	-0.000656 ± 0.000001
A_3	—	—
σ_0 (сек.дуги)	0.80	0.801

Угол теплового запаздывания в плоскости орбиты составляет $\sim 5^\circ$

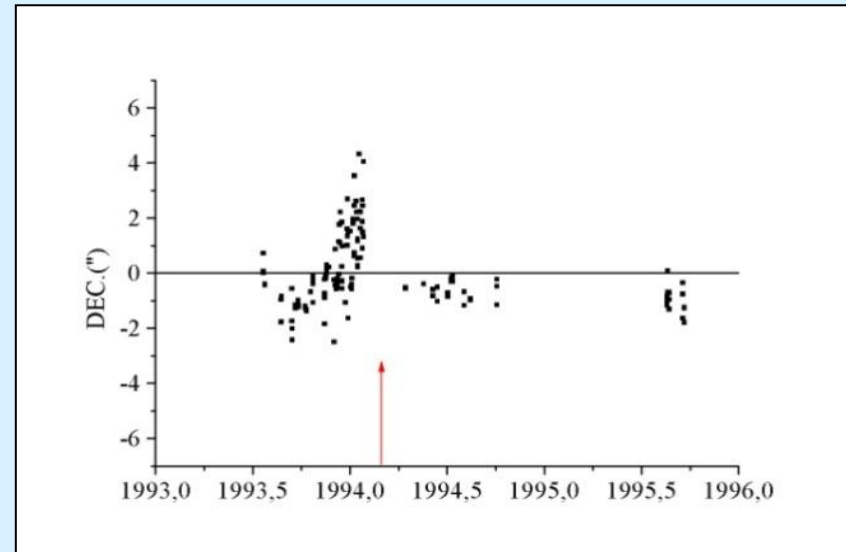
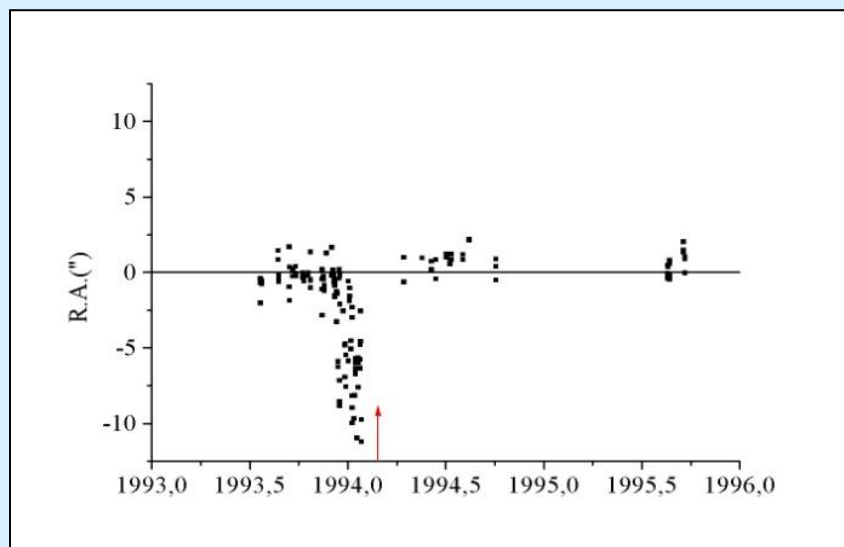
6	349	557	967	1247	1901
48	355	568	970	1273	1904
49	360	585	987	1286	1908
84	367	586	1002	1309	1924
104	372	599	1006	1335	1936
106	376	605	1013	1370	1938
107	379	620	1018	1383	1940
118	385	642	1021	1395	1943
127	392	644	1024	1396	1947
130	410	683	1026	1410	1953
160	411	691	1030	1412	1970
170	415	693	1032	1551	1987
174	421	695	1041	1565	1993
183	422	696	1046	1630	1995
188	423	699	1071	1640	1997
204	434	703	1077	1645	2015
206	442	704	1120	1668	2060
212	445	750	1151	1696	2090
213	448	786	1170	1706	2534
215	458	834	1174	1715	2662
232	461	850	1183	1736	3296
235	470	859	1192	1741	3400
246	473	867	1196	1744	3574
291	474	887	1210	1745	
300	494	897	1223	1747	
320	504	900	1232	1772	
327	510	939	1235	1857	
340	511	945	1236	1872	
347	540	958	1242	1881	

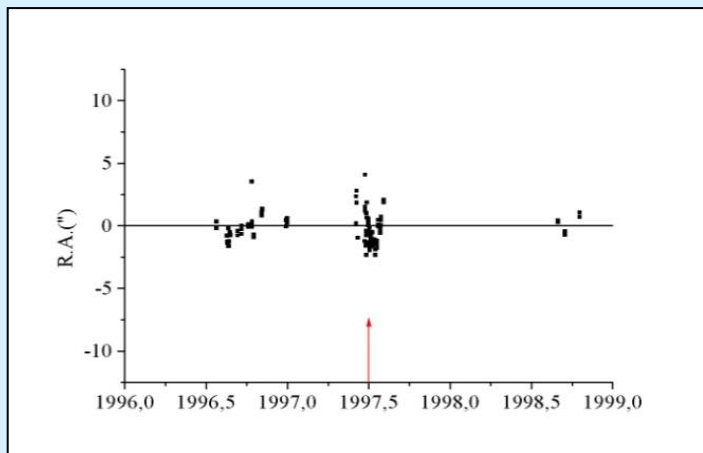
**Номера 168
обсерваторий**

О-С для 7-ми появлений

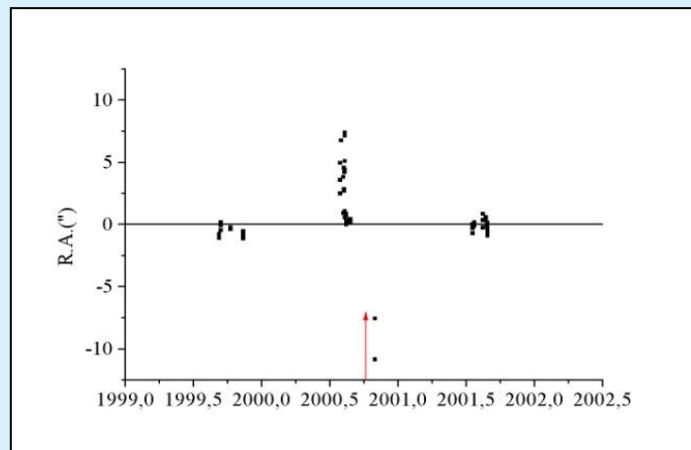
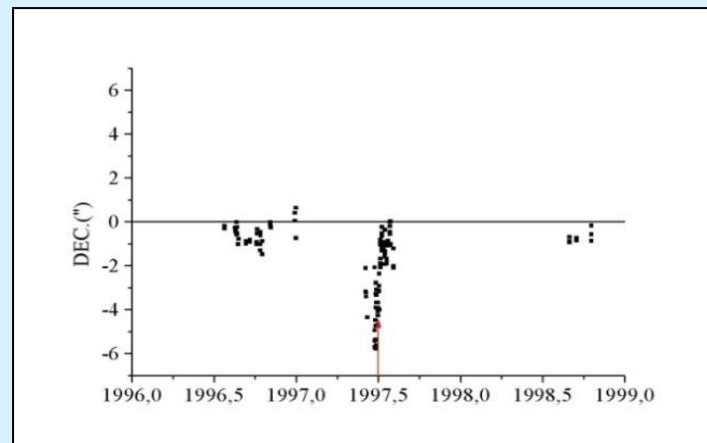


1993 – 1996

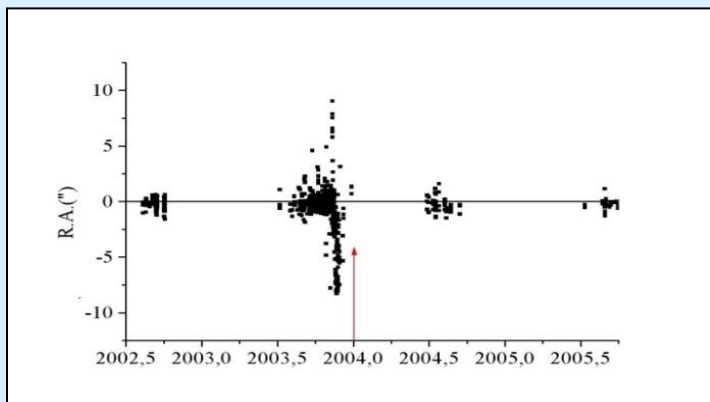
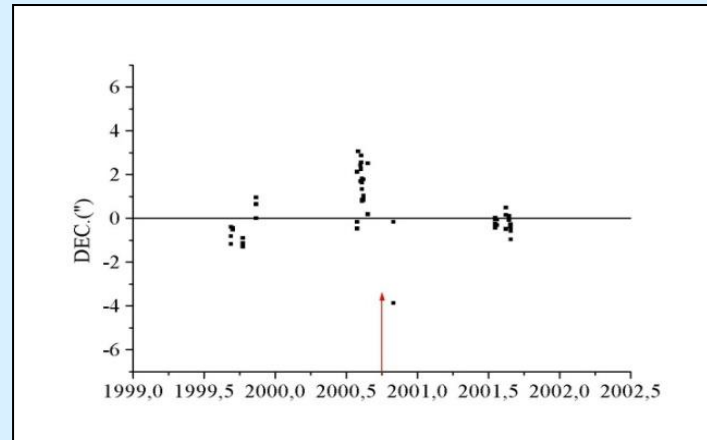




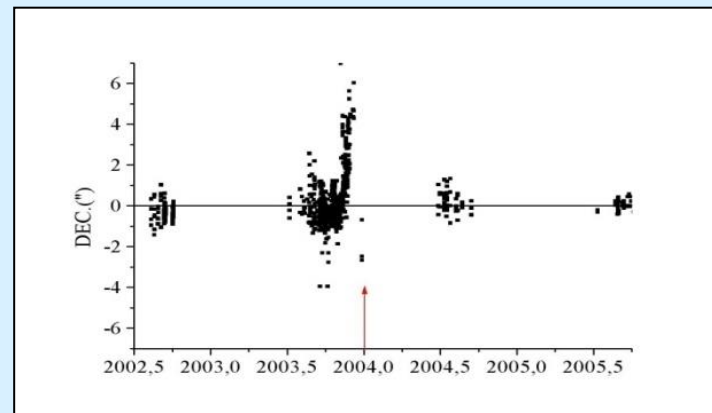
1996 – 1999

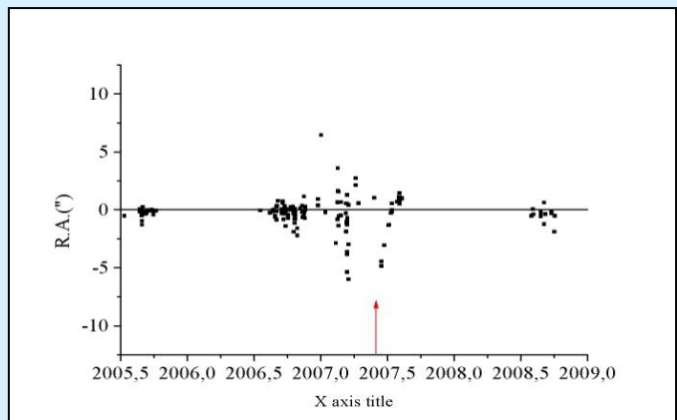


1999 – 2002

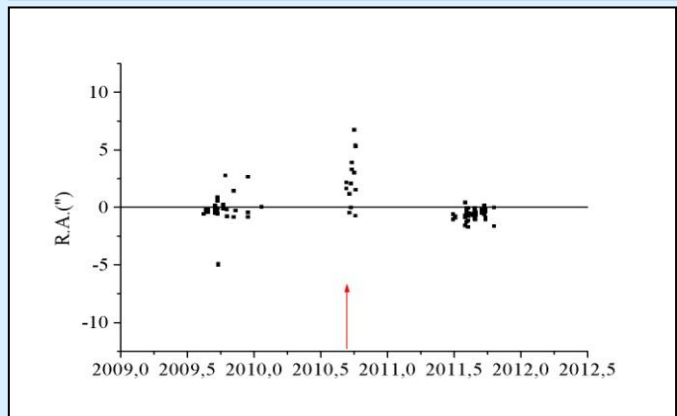
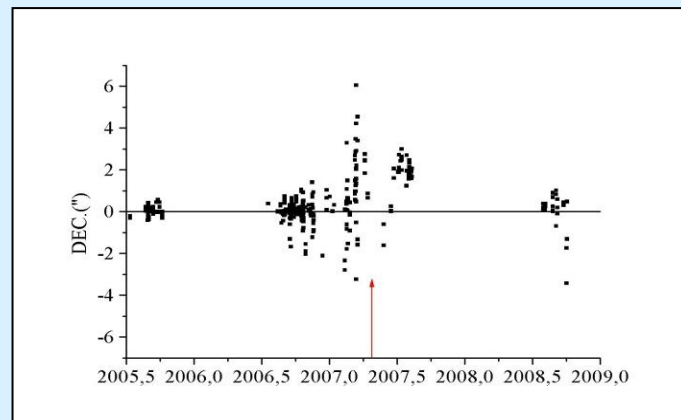


2002 – 2005

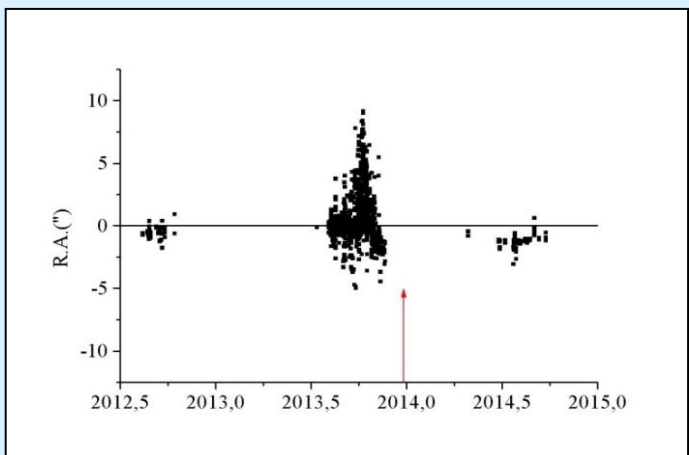
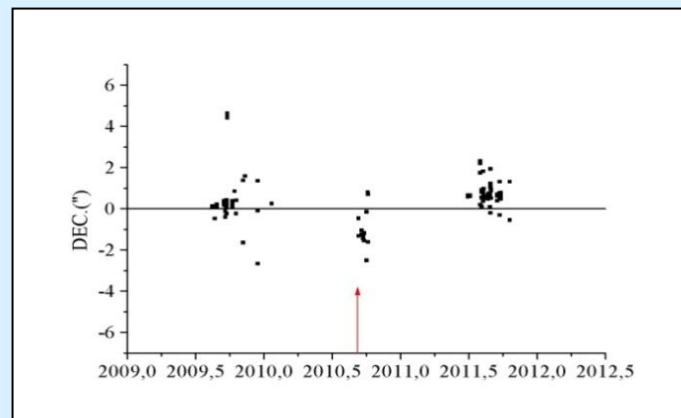




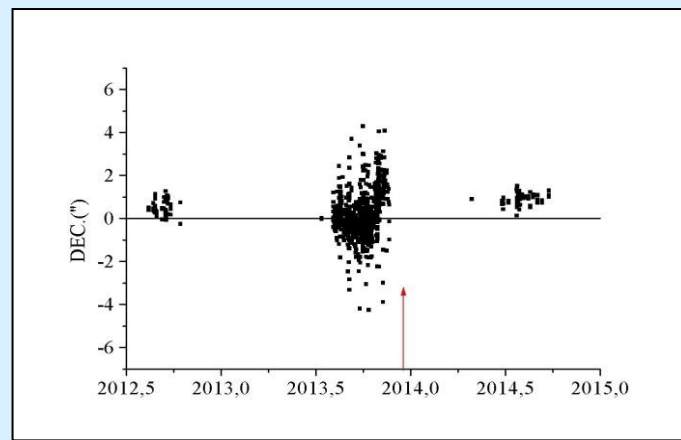
2005 – 2009



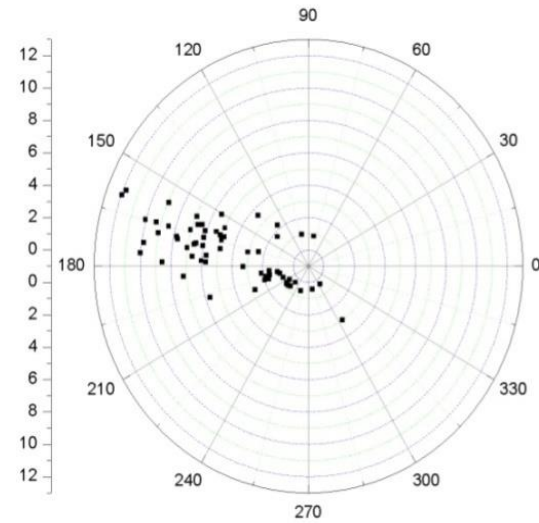
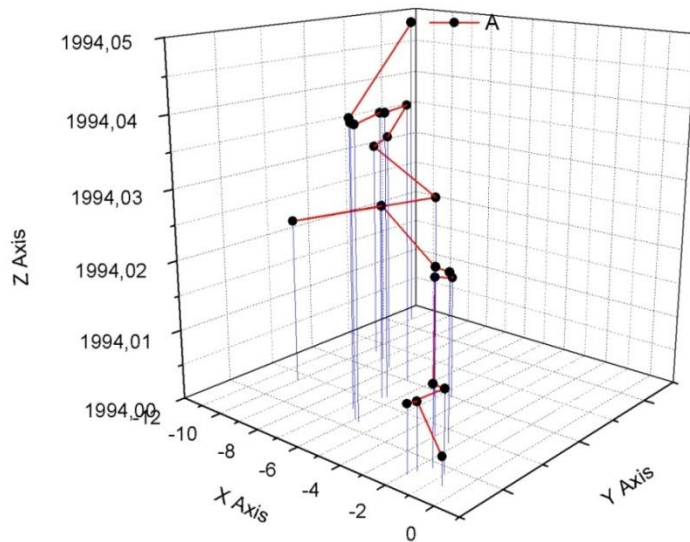
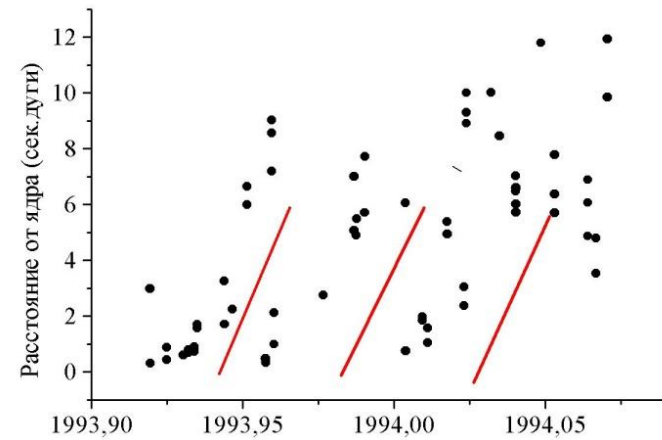
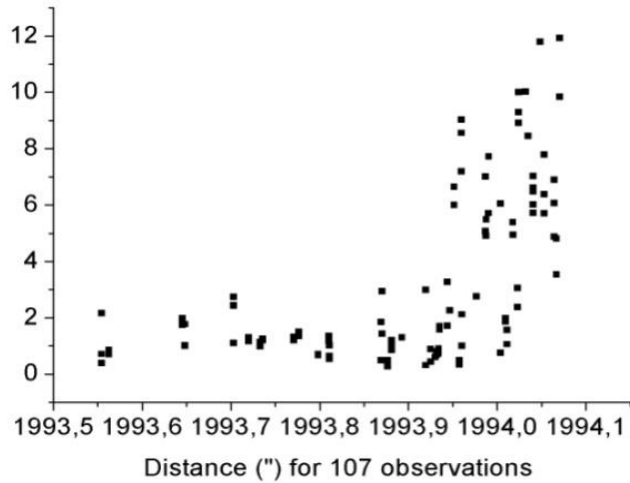
2009 – 2012



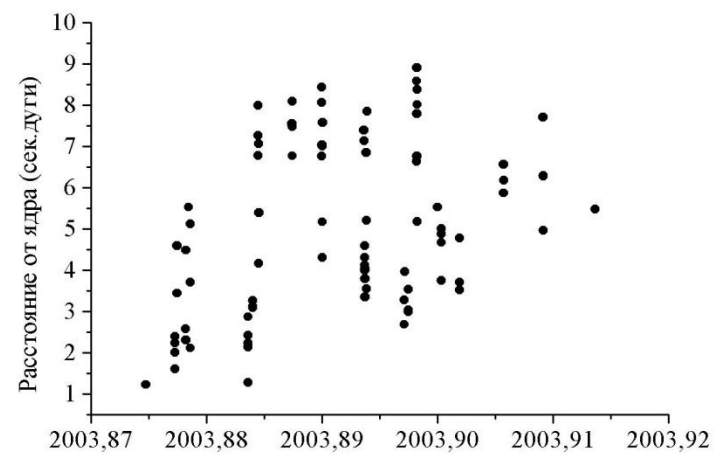
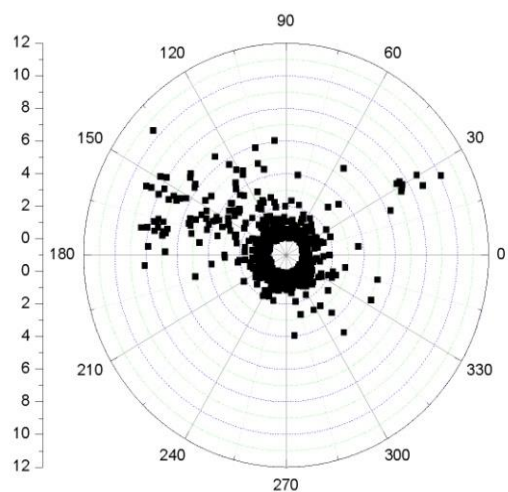
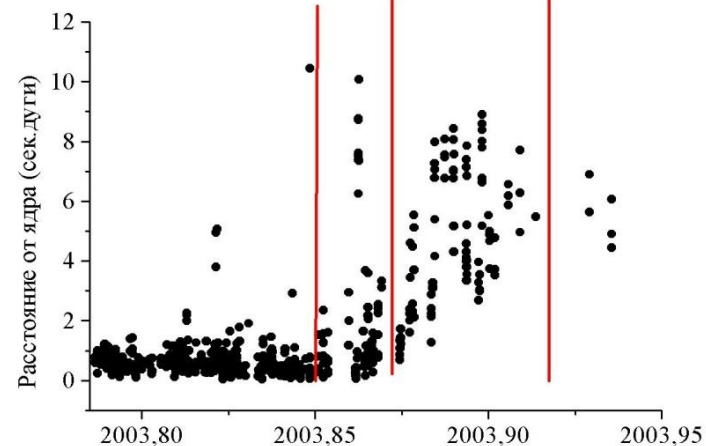
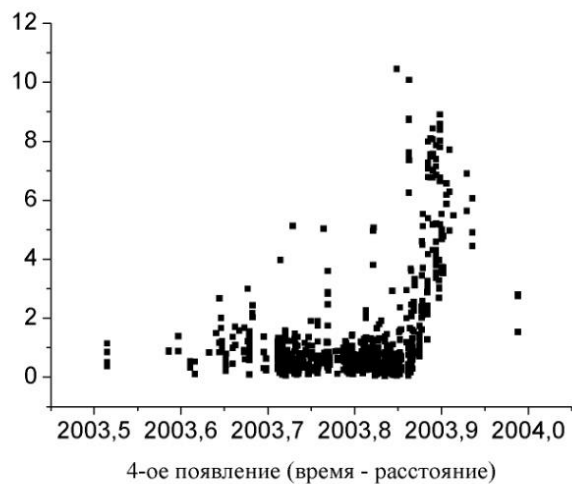
2012 – 2015



Появление 1993–1994 гг.



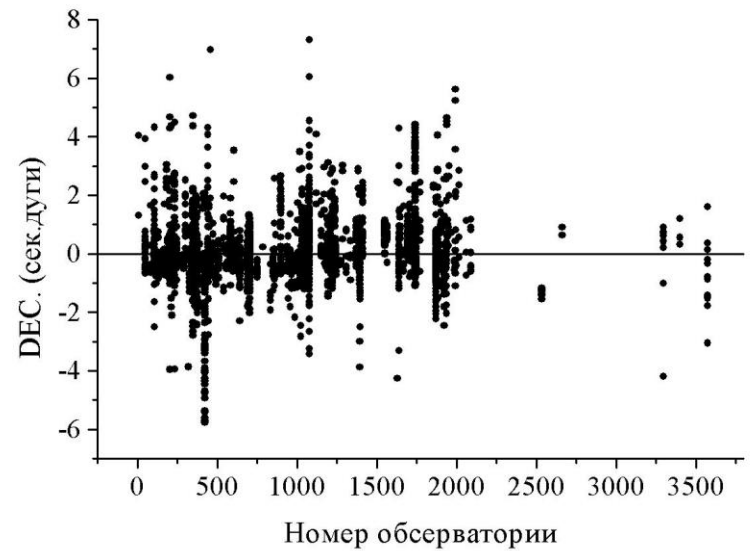
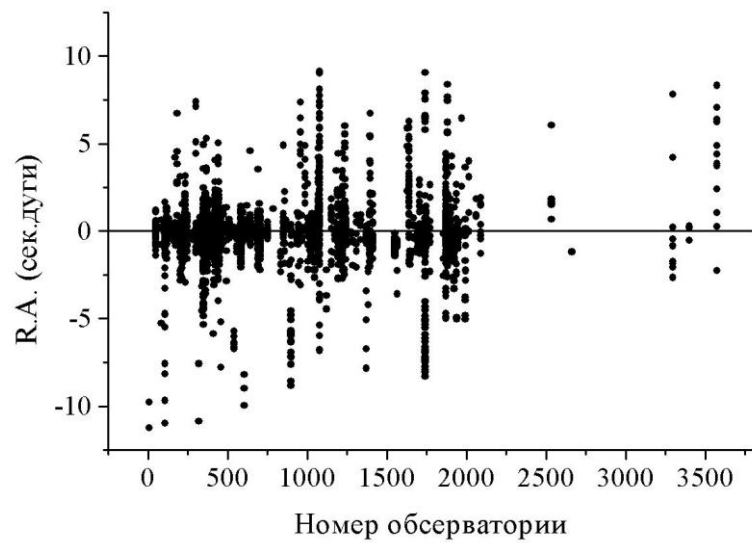
Появление 2003–2004 гг. Зависимость О–С от времени



Возможные причины таких уклонений:

1. Смещение центра яркости (фотоцентра) относительно центра тяжести.
2. Ядро кометы – двойное.
3. Движение двух тел на близких орбитах.
4. Ошибки наблюдений.

Сопоставление О-С и номеров обсерваторий



<http://www.cfa.harvard.edu/iau/special/residuals2.txt>

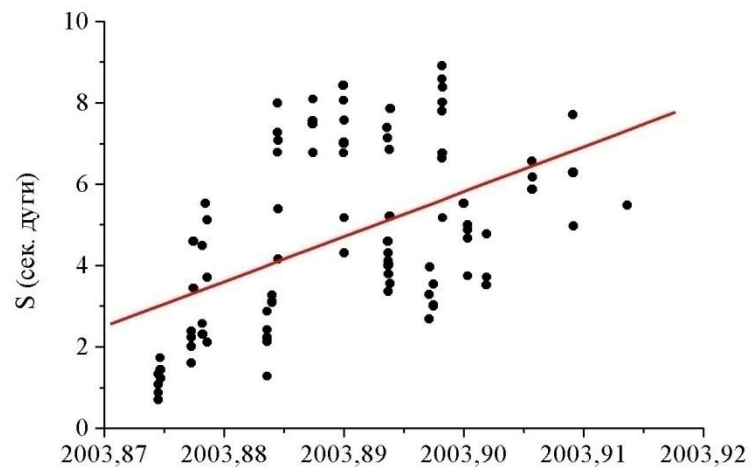
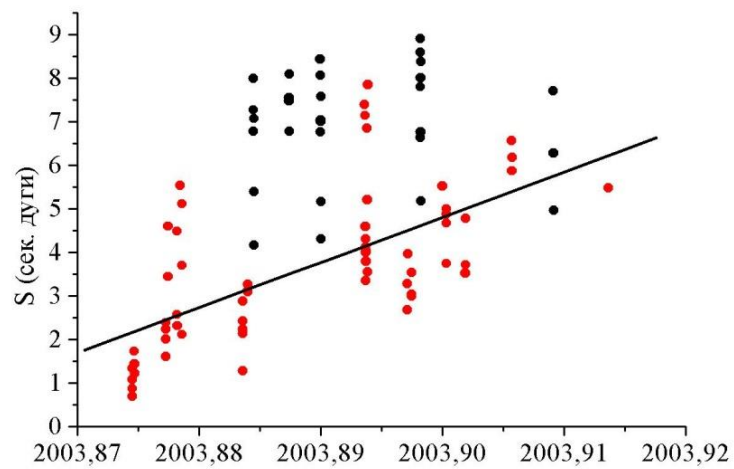
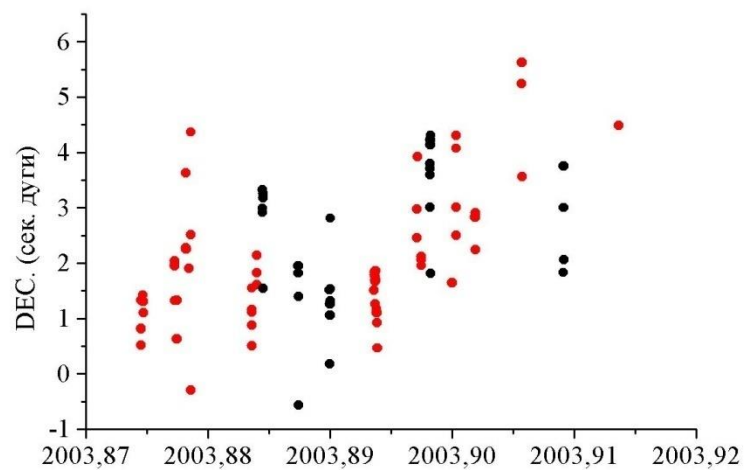
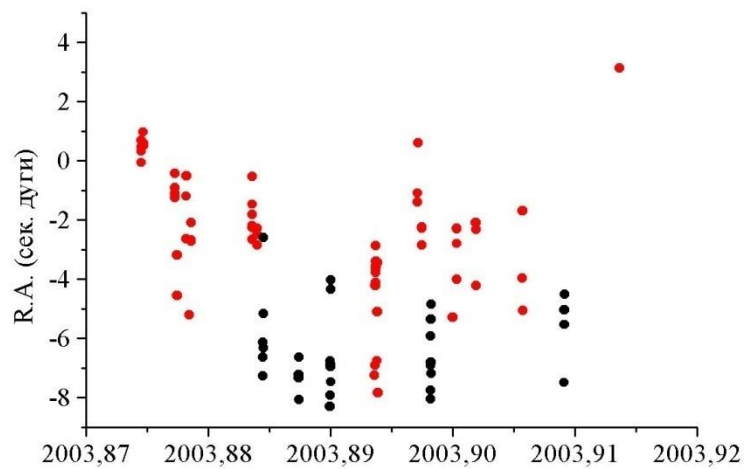
Общее число наблюдений – 90

N обс	Число наблюд.	Систематические ошибки		N обс	Число наблюд.	Систематические ошибки	
		α (")	δ (")			α (")	δ (")
49	3	−0.23	0.01	442	7	−0.53	0.03
84	1	0.06	0.16	458	1	−0.09	−0.22
204	3	0.03	0.06	900	2	0.16	0.06
213	3	−0.15	−0.10	1046	6	0.23	0.09
235	1	0.70	−0.04	1370	4	−0.31	0.12
300	4	−0.14	0.82	1383	3	—	—
340	2	0.05	0.00	1741	30	−0.08	0.15
349	8	0.00	−0.05	1993	3	0.10	0.27
360	6	0.11	0.14	1995	3	−0.02	0.01

The Observatories at Petit Jean Mountain (N 1741), 41cm Newtonian

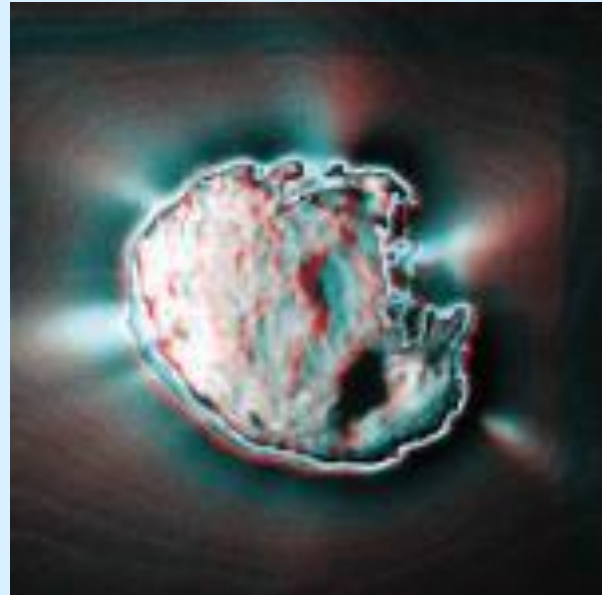
11-12-2003, $m_2 = 16.0$, Clay Sherrod

Comet has undergone a remarkable transformation in central /nuclear regions;
the nucleus is no longer a distinct and stellar feature, but rather quite diffuse
and open with a very faint suspect centroid;
a major cloud extension emanates from this central feature to the NW
but cannot be characterized as a "tail" but rather intensified coma area.



Предполагаем, что вблизи перигелия
происходят достаточно мощные выбросы
кометного вещества.

Комета Вильда 2



Комета Борелли



[Yu. Bondarenko, Yu.Chernetenko, Yu.Medvedev](#)
[Physical and dynamical parameters of particles](#)
[in outbursting Comet 17P/Holmes.](#)

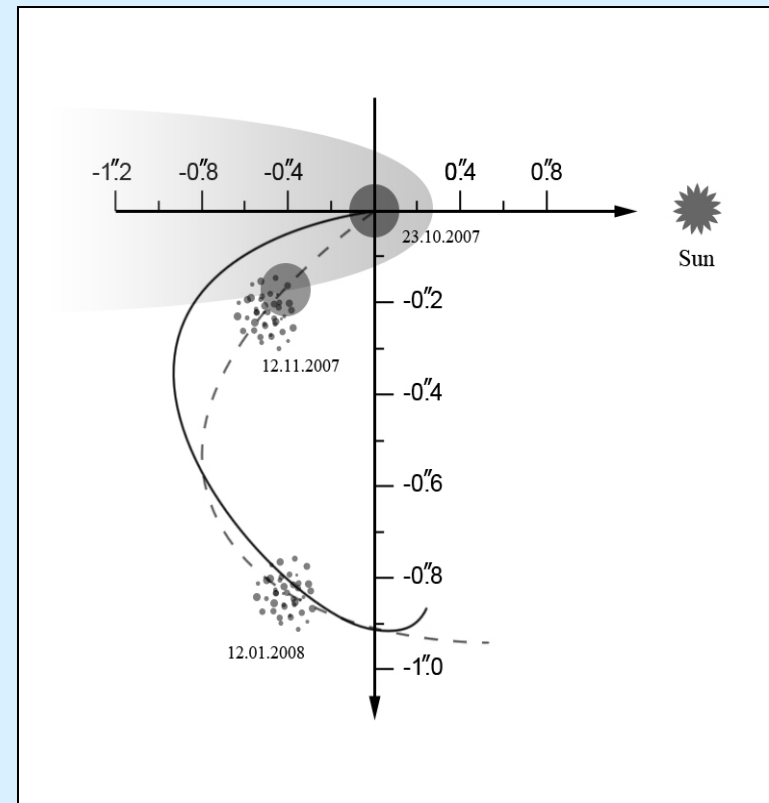
Труды ИПА РАН, 2012, вып. 26, 133–140

Разработана модель движения частиц вблизи
кометного ядра, учитывающая

1. Световое давление
2. Газодинамическое давление молекул газа, сублимирующих с поверхности ядра.
3. Гравитационные влияния ядра кометы и Солнца

Для вспышки яркости кометы Холмса были
оценены начальная скорость (1.2 м/сек) и
направление выброса,
размер выброшенных фрагментов,
их траектория в окрестности ядра кометы
и эволюция в течение 90 сут.

Положение и эволюция
центра яркости кометы Холмса



1. Световое давление
$$\bar{W}_1 = -\theta_d \frac{\sigma}{m} \frac{q_0}{c} \frac{\bar{r}_{sun}}{r_{sun}^3},$$

где θ_d – коэффициент, определяющий эффективность передачи солнечной радиации пылинке; σ , m – миделево сечение и масса частицы; q_0 – солнечная постоянная; c – скорость света; $\bar{r}_{sun}$ – кометоцентрический вектор Солнца.

2. Ускорение (торможение) потоком сублимирующего газа

$$\bar{W}_2 = C_d \rho \frac{\sigma}{m} |\bar{V}_{gas} - \dot{\bar{r}}| (\bar{V}_{gas} - \dot{\bar{r}}),$$

где C_d – аэродинамическое торможение; ρ – плотность сублимирующего газа; $\bar{V}_{gas}$, $\dot{\bar{r}}$ – кометоцентрические векторы скорости газа и частицы.

3. Гравитационное притяжение кометного ядра

$$\bar{W}_3 = -\frac{GM_c \bar{r}}{r^3},$$

4. Гравитационное притяжение Солнца (взята только вторая гармоника в разложении возмущающего потенциала по полиномам Лежандра)

$$\bar{W}_4 = GM_{sun} \left[\frac{3(\bar{r}_{sun} \bar{r}) \bar{r}}{r_{sun}^5} - \frac{\bar{r}}{r_{sun}^3} \right]$$

где G – гравитационная постоянная, M_c – масса кометы, M_{Sun} – масса Солнца, $\bar{r}$ – кометоцентрический вектор положения частицы.

Было принято, что: $\bar{V}_{gas} = 600 / r^{0.5}$ м/сек;

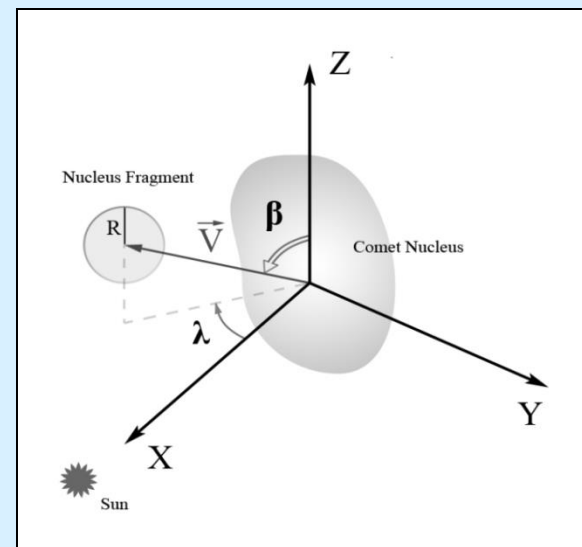
коэффициент, определяющий количество энергии,
идущей на испарение = 0.01;

плотность ядра = 0.5 г /см³; R = 3.5 км;

=> V на экваторе = 0.4, V₁ = 1.3, V₂ = 1.9 м/сек.

Определялись из наблюдений:

скорость выброса $\vec{r}$, радиус частицы σ , углы λ и β .
Скорость выброса и размер частиц варьировались,
углы λ и β определялись МНК.

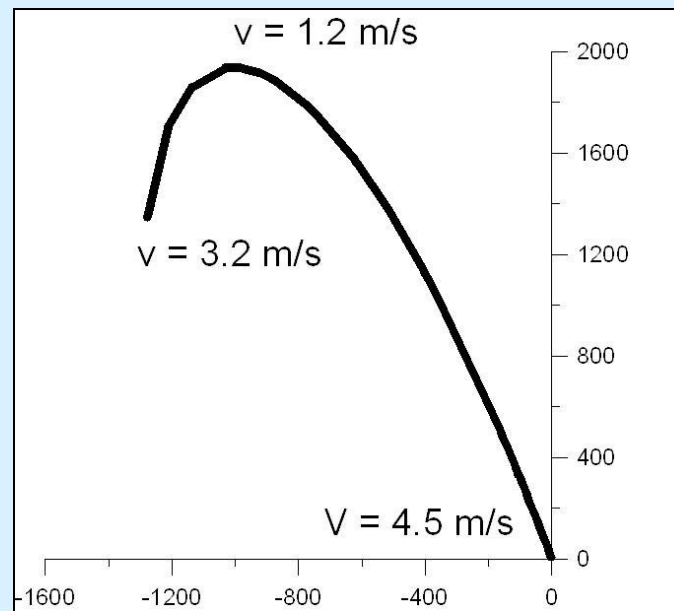
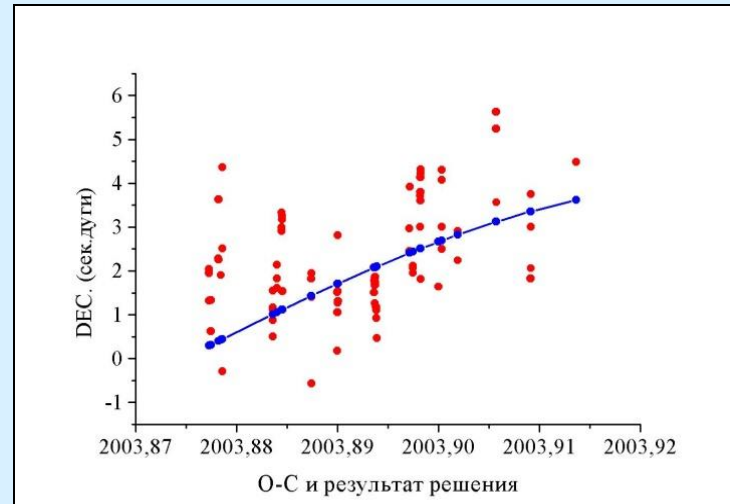
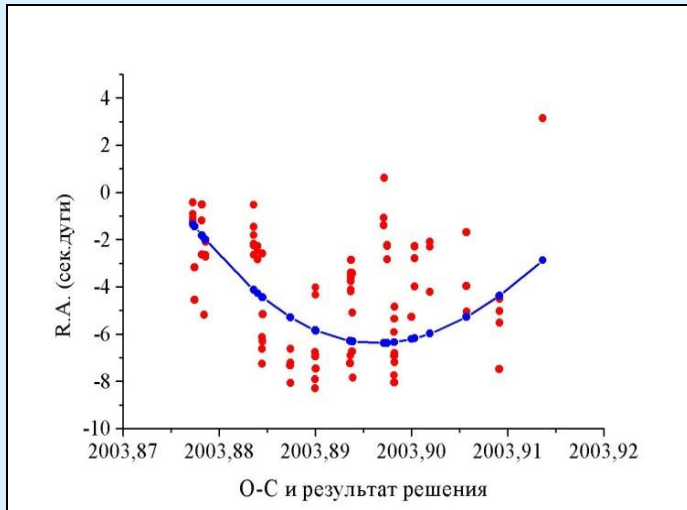


Решения для нескольких выбросов

Момент выброса ΔT (сут.)	1994 01 02.4 – 38	1997 06 16.0 + 24	2003 11 16.5 – 44	2007 03 10.8 – 40
σ (м)	0.0005	0.001	0.0008	0.0001
$\vec{r}$ (м/сек)	9.0	2.0	4.5	50.0
λ (град)	–5.67 ± 0.07	138.65 ± 0.02	–16.86 ± 0.01	–18.49 ± 0.03
β (град)	75.17 ± 0.05	94.80 ± 0.02	80.29 ± 0.01	79.00 ± 0.02
σ ₀ (сек. дуги)	0.856	0.986	0.892	1.135
r (а.е.)	0.931	0.668	1.018	0.953

Угол теплового запаздывания по неграв. эффектам в плоскости орбиты ~ –5°

О–С и их аппроксимация решением для выброса 2003 11 16.49, обстоятельства которого (расстояние до кометы и конфигурация Солнце–Земля–комета) наиболее благоприятны для решения.



X, Y – в км.
Ось Y совпадает с направлением на Солнце.

Основные результаты

1. Показано, что активность кометы Энке проявляется как в действии регулярного негравитационного механизма, так и в периодических выбросах, фотометрическая яркость которых сравнима с яркостью комы кометы и приводит в наблюдениях к такому явлению, как ложное ядро или смещение фотоцентра.
2. Периодичность выбросов составляет примерно 15–20 суток, что не может быть объяснено периодом вращения в 15 час. Амплитуда выбросов – до 12 сек. дуги в О–С, это может соответствовать расстоянию от ядра в несколько тысяч км. В отдельных появлениях можно отметить существование выбросов одновременно из двух активных областей.
3. По разработанной модели движения частиц вблизи кометного ядра получены некоторые физические характеристики для 4-х выбросов. Их источники на поверхности ядра расположены вблизи плоскости орбиты. Есть отличие выбросов до перигелия от выброса после перигелия.

4. Желательна специальная программа наблюдений в появлении кометы в 2016–2017 гг.

Наиболее благоприятное появление будет только в 2030 г., хотя, возможно, к этому времени комета станет неактивной.

