

УДК 523.64

Н. Л. Шабас<sup>1</sup>, В. Д. Дьяконова<sup>2</sup>, Ф. И. Кравцов<sup>1</sup>, К. И. Чурюмов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Астрономическая обсерватория Киевского университета имени Тараса Шевченко  
04053, Киев-53, ул. Обсерваторная 3

<sup>2</sup>Горнотаежная солнечная станция ДВНЦ РАН  
Россия, Приморский край, Уссурийский район, пос. Горнотаежное

## Изменения физических условий в плазменном хвосте кометы Остин

*Приведены результаты исследования физических условий в плазменном хвосте долгопериодической кометы Остин C/1982 M1 для 15 моментов наблюдений. Использована диффузионная модель. Получены оценки магнитного поля и других физических параметров плазменного хвоста кометы после прохождения перигелия.*

*ЗМІНА ФІЗИЧНИХ УМОВ У ПЛАЗМОВОМУ ХВОСТІ КОМЕТИ ОСТІН, Шабас Н. Л., Дьяконова В. Д., Кравцов Ф. І., Чурюмов К. І. — Приведені результати дослідження фізичних умов у плазмовому хвості довгоперіодичної комети C/1982 M1 (Остин) для 15 моментів спостережень. Використано дифузійну модель. Одержано оцінки магнітного поля та інших фізичних параметрів плазмового хвоста комети після проходження перигелію.*

*CHANGE OF PHYSICAL CONDITIONS IN THE PLASMA TAIL OF COMET AUSTIN, by Shabas N. L., D'yakonova V. D., Kravtsov F. I., Churyumov K. I. — The results of the investigation of physical conditions in the plasma tail of the long-period comet Austin C/1982 M1 are presented for 15 dates. The diffusion model was used. The magnetic field and other physical parameters of the plasma tail of the comet (after the perihelion) are estimated.*

В работах [7—9] мы исследовали физические условия в плазменных хвостах комет Абе, Чурюмова—Герасименко и Галлея. Использовалась диффузионная модель Г. К. Назарчук, Л. М. Шульмана [1—4], результаты полученных оценок физических параметров плазменных хвостов сравнивались с возможными условиями межпланетной среды.

Ниже с помощью той же модели впервые исследуются физические условия плазменного хвоста долгопериодической кометы Остин по данным фотометрии.

### НАБЛЮДЕНИЯ

Исследуемая комета C/1982 M1 (Остин) является долгопериодической и имеет параболическую орбиту. Комету открыл Р. Остин с помощью 15-см рефрактора в Нью-Плимуте (Новая Зеландия) 18 июня 1982 г., когда она

находилась в созвездии Часов и имела вид диффузного объекта  $10^m$ . Вблизи перигелия (24 августа 1982 г. в  $17.4^h$  UT) у нее наблюдались плазменные хвосты [6].

Мы исследуем плазменные хвосты кометы, наблюдавшиеся после перигелия. Для этого использованы фотоснимки, полученные с 29 августа по 25 сентября 1982 г. с помощью 80-см телескопа Шмидта в Астрономической обсерватории Латвийской академии наук в Балдоне (возле Риги). Наблюдения проводились А. К. Алкснисом, В. Д. Дьяконовой и К. И. Чурюмовым.

Полученные негативы профотометрированы Ф. И. Кравцовым. Для каждого из 15 моментов наблюдений построены профили яркости  $I_i/I_0$  ( $I_0$  — яркость центральной части головы кометы): один вдоль хвоста и четыре в поперечном направлении. Круглая щель микрофотометра диаметром 2.855 мм вырезала на пластинке область  $11.1''$ .

Фотометрируемая длина хвоста кометы Остин не превысила  $17'$ , что позволяет не учитывать дифференциальное поглощение вдоль хвоста. По фотометрическим данным построены продольные (ось  $x$  направлена вдоль оси хвоста от Солнца) и поперечные (ось  $y$ ) разрезы плазменного хвоста в виде зависимости относительной звездной величины  $m_i = -2.5 \lg(I_i/I_0)$  данной точки от логарифма расстояния (от ядра кометы или от оси плазменного хвоста соответственно). На рис. 1, 2 представлены некоторые из указанных профилей, а также соответствующие теоретические профили, построенные по диффузионной модели [1—4]. Такие сравнения проделаны для каждого из 15 моментов наблюдений (по 5 разрезов). В результате были определены параметры диффузионной модели, позволяющие оценивать физические условия в плазменном хвосте кометы.

В рамках модели [1—4] образование плазменного хвоста кометы рассматривается в виде процессов диффузии и сноса в хвост. Источником вещества считается ядро кометы (с прилегающей областью), мощность которого постоянна, а истечение вещества началось бесконечно давно. Здесь центр тяжести каждого мгновенно испущенного пакета частиц движется равноускоренно вдоль оси хвоста кометы. Химический состав светящегося вещества хвоста считается постоянным. Взаимодействие кометных ионов с солнечным ветром принимается в виде получения кометным ионом случайных импульсов со стороны проносящихся сквозь хвост неоднородностей самосогласованных полей. Тогда поверхностная яркость  $I$  пропорциональна поверхностной плотности светящихся частиц  $n$ . Если  $k$  — произведение

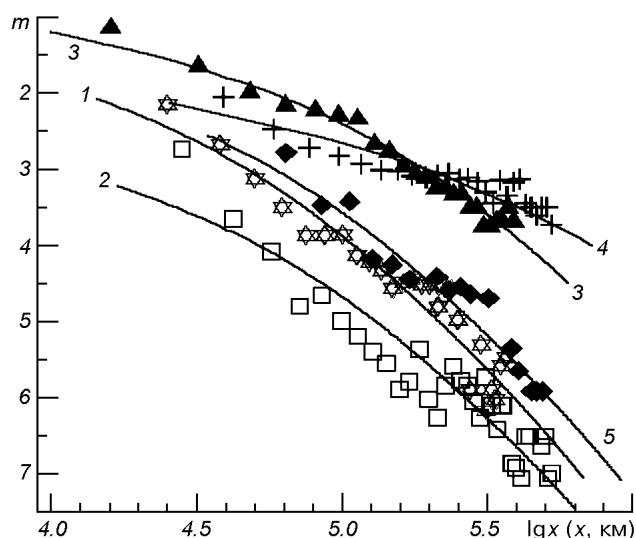


Рис. 1. Продольные фотометрические разрезы плазменного хвоста кометы Остин (C/1982 M1), сентябрь, 1982 г. и соответствующие теоретические профили: кривая 1 — 1.798 UT, 2 — 5.817 UT, 3 — 10.798 UT, 4 — 19.765 UT, 5 — 25.752 UT

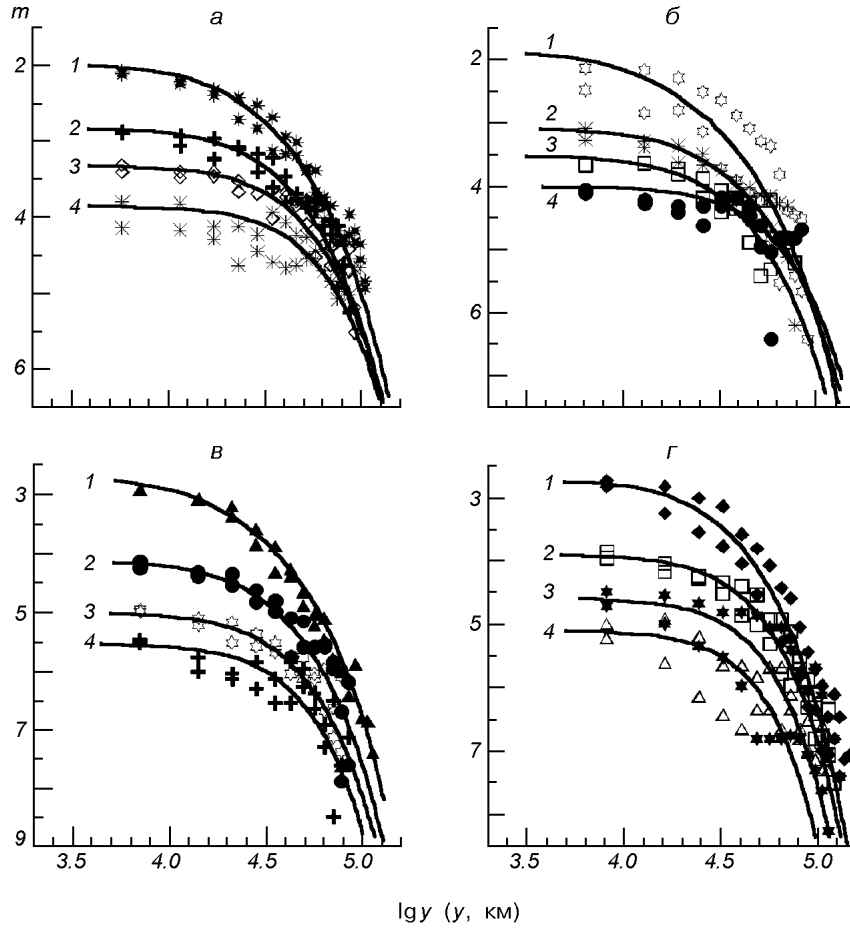


Рис. 2. Поперечные фотометрические разрезы 1—4 плазменного хвоста кометы C/1982 M1 (Остин) и соответствующие теоретические профили: а — август 30.797 UT (1982 г.) на расстояниях от ядра  $x = 38, 66, 93$  и  $127$  тыс. км; б — сентябрь 2.797 UT,  $x = 24, 49, 70$  и  $122$  тыс. км; в — сентябрь 5.817 UT,  $x = 28, 57, 87$  и  $1.22$  тыс. км; г — сентябрь 10.834 UT,  $x = 36, 70, 104$  и  $138$  тыс. км

коэффициента пропорциональности между этими величинами и постоянной мощностью ядра кометы, то поверхностная яркость каждой точки плазменного кометного хвоста представляется в виде [1—4]

$$I(x, y) = \frac{k}{4\pi\sqrt{D_{\parallel}D_{\perp}}} \int_0^{\infty} \exp \left[ - \frac{\left(x - \frac{at^2}{2}\right)^2}{4D_{\parallel}t^*} - \frac{y^2}{4D_{\perp}t^*} - \frac{t^*}{\tau} \right] \frac{dt}{t}, \quad (1)$$

где  $t$  — время,  $t^*$  — возраст пакета частиц,  $D_{\parallel}$ ,  $D_{\perp}$  продольный и поперечный коэффициенты диффузии,  $a$  — ускорение,  $\tau$  — время жизни светящихся частиц.

В модели используется безразмерный параметр  $\Gamma$ , определяющий ускорение  $a$  светящихся частиц:

$$\Gamma = a\sqrt{\tau^3/D_{\parallel}}. \quad (2)$$

Вводятся безразмерные координаты  $X$  и  $Y$ :

$$X = x/L_{\parallel}, \quad Y = y/L_{\perp}, \quad (3)$$

где  $L_{\parallel}$ ,  $L_{\perp}$  — продольный и поперечный масштабы:

$$L_{\parallel} = 2\sqrt{D_{\parallel}\tau}, \quad L_{\perp} = 2\sqrt{D_{\perp}\tau}. \quad (4)$$

После введения безразмерных параметров диффузионной модели и использования логарифмического масштаба теоретический закон падения яркости представляется в виде константы (вычисление которой не требуется) и семейства кривых  $-2.5\lg\Phi(X, Y, \Gamma)$ :

$$\Phi(X, Y, \Gamma) = \int_0^{\infty} \exp\left[-\frac{(X - \Gamma\theta^2)^2 + Y^2}{\theta} - \theta\right] \frac{d\theta}{\theta}, \quad (5)$$

где  $\theta = t/(2\tau)$ . Вычисление этого теоретического выражения для заданных параметров  $X$ ,  $Y$ ,  $\Gamma$  производилось по программе, в которой несобственный интеграл представляется в виде суммы интегралов (количество их зависит от заданной точности). Для интегрирования в каждом пределе использовался метод Симпсона. Параметры модели для теоретических профилей (рис. 1) оказались следующими: 1 —  $\Gamma = 1 \pm 0.1$ ,  $L_{\parallel} = 144.5 \pm 3.4$  тыс. км; 2 —  $\Gamma = 1 \pm 0.2$ ,  $L_{\parallel} = 211.3 \pm 4.8$  тыс. км; 3 —  $\Gamma = 1 \pm 0.1$ ,  $L_{\parallel} = 501.2 \pm \pm 5.8$  тыс. км; 4 —  $\Gamma = 7 \pm 0.1$ ,  $L_{\parallel} = 2512 \pm 29$  тыс. км; 5 —  $\Gamma = 1 \pm 0.1$ ,  $L_{\parallel} = 199.5 \pm 4.6$  тыс. км. Для поперечных разрезов плазменного хвоста (рис. 2) параметры диффузионной модели имеют такие значения: а)  $\Gamma = 1 \pm 0.2$ ,  $L_{\parallel} = 251.2 \pm 4.8$  тыс. км,  $L_{\perp} = 116.5 \pm 2.7$  тыс. км; б)  $\Gamma = 1 \pm \pm 0.2$ ,  $L_{\parallel} = 251.2 \pm 4.8$  тыс. км,  $L_{\perp} = 98.8 \pm 2.3$  тыс. км; в)  $\Gamma = 1 \pm 0.2$ ,  $L_{\parallel} = 211.3 \pm 4.8$  тыс. км,  $L_{\perp} = 81.6 \pm 1.9$  тыс. км; г)  $\Gamma = 1 \pm 0.1$ ,  $L_{\parallel} = 125.9 \pm \pm 2.9$  тыс. км,  $L_{\perp} = 73.7 \pm 1.7$  тыс. км.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице приведены оценки физических параметров в плазменном хвосте кометы C/1982 M1 (Остин) для всех 15 моментов наблюдений с помощью описанного метода: ускорение  $a$  ионов хвоста, время жизни  $\tau$  флуоресцирующих частиц, возможные средние значения продольного и поперечного коэффициентов диффузии  $D_{\parallel}$ ,  $D_{\perp}$ , возможные средние величины магнитного поля  $B$  плазменного хвоста кометы, гелиоцентрические  $r$  и геоцентрические  $\Delta$  расстояния кометы в моменты наблюдений. Параметры вычислялись согласно выражениям [1—4]:

$$a = \gamma \frac{m_s}{r^2} (1 + \mu), \quad \tau = \sqrt{\Gamma L_{\parallel} / (2a)}, \quad (6)$$

$$D_{\parallel} = \sqrt{a L_{\parallel}^3 / (8\Gamma)}, \quad D_{\perp} = L_{\perp}^2 \sqrt{a / (8\Gamma L_{\parallel})},$$

где  $\gamma$  — гравитационная постоянная,  $m_s$  — масса Солнца,  $\mu$  — эффективное ускорение частицы (согласно механической теории кометных форм для плазменных хвостов комет  $1 + \mu \geq 10$ ). Как видно из таблицы, физические условия в плазменном хвосте кометы C/1982 M1 (Остин) изменялись для всего периода наблюдений после прохождения кометой перигелия. Ускорение ионов хвоста  $a$ , вычисленное согласно теории кометных форм, постоянно убывало, значения других параметров колеблются.

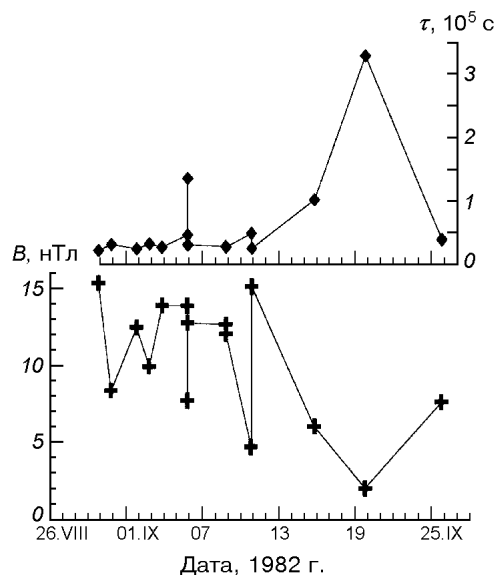
Для получения возможных средних значений магнитного поля плазменного хвоста необходим выбор температур флуоресцирующих ионов [1—4]:

$$B \approx 2 \cdot 10^{11} \frac{T}{D_{\parallel}} \frac{L_{\parallel}}{L_{\perp}} \quad [\text{нТл}]. \quad (7)$$

Возможные средние значения физических параметров плазменного хвоста кометы Остин (C/1982M1), полученные по диффузионной модели

Дата, 1982 UT	$r$ ,		$\alpha$ , см/с <sup>2</sup>	$\tau$ , 10 <sup>4</sup> с	$D_{  }$ , 10 <sup>15</sup> см <sup>2</sup> /с		$D_{\perp}$ , 10 <sup>14</sup> см <sup>2</sup> /с		$B$ , нТл	$\Delta$ ,	
	а.	е.						а.		е.	
VIII 29.7930	0.663	13.560		2.16±0.09	1.84±0.16	7.24±0.97	15.35±2.63	0.755			
30.7965	0.666	13.438		3.06 0.32	5.16 0.78	11.10 2.02	8.35 1.91	0.784			
IX 1.7975	0.678	12.967		2.36 0.14	2.21 0.20	8.47 0.99	12.49 2.26	0.842			
2.7967	0.684	12.740		3.14 0.33	5.02 0.78	7.77 1.42	9.99 2.27	0.870			
3.7953	0.690	12.520		2.67 0.18	2.97 0.23	6.10 0.72	13.91 2.81	0.889			
5.7972	0.705	11.993		4.58 0.28	1.54 0.15	7.24 0.93	13.88 2.79	0.955			
5.8042	0.705	11.993		13.6 0.37	7.33 0.82	8.30 1.32	7.68 1.62	0.955			
5.8170	0.705	11.993		2.97 0.32	3.76 0.59	5.60 1.10	12.79 2.97	0.955			
8.8007	0.731	11.155		2.73 0.17	2.54 0.22	6.42 1.15	12.67 2.85	1.037			
8.8237	0.731	11.155		2.67 0.15	2.36 0.21	7.12 1.26	12.07 2.88	1.037			
10.7977	0.751	10.569		4.87 0.27	12.90 0.93	10.23 1.58	4.68 0.95	1.090			
10.8339	0.751	10.569		2.44 0.26	1.62 0.15	5.56 0.65	15.13 2.32	1.090			
15.7729	0.805	9.198		10.14 0.31	9.81 0.86	6.30 0.87	6.00 1.27	1.214			
19.7650	0.857	8.116		32.91 0.43	47.93 1.18	9.56 1.06	1.99 0.41	1.306			
25.7518	0.936	6.804		3.83 0.19	2.60 0.24	6.53 0.75	7.58 1.58	1.429			

Рис. 3. Изменения времени жизни светящихся частиц  $\tau$  и среднего значения магнитного поля  $B$  в плазменном хвосте кометы C/1982 M1 (Остин)



При выборе температуры ионов хвоста считалось, что: а) при  $r = 1$  а. е. она могла быть равна 50 000 К (соответствует порядку температуры протонов солнечного ветра); б) температура ионов изменяется пропорционально  $r^{-2}$ .

Значения времени жизни  $\tau$  светящихся частиц и средних значений магнитного поля  $B$  плазменного хвоста кометы C/1982 M1 (Остин) для периода с 29 августа по 25 сентября 1982 г. приведены на рис. 3.

Видно, что величина магнитного поля изменялась в пределах от 2 нТл до 15 нТл. В работах [5, 7] при исследовании вновь образующегося плазменного хвоста кометы Галлея нижний порядок температур ионов хвоста считался равным  $5 \cdot 10^5$  К, и получено, что магнитное поле могло иметь значения:  $B \approx 12.5$  и 20 нТл (январь 7.551 и 8.576 UT, 1986 г.) [5]. При таком выборе температур для кометы C/1982 M1 (Остин) средние величины магнитного поля плазменного хвоста могли изменяться от 8.8 до 67.5 нТл (август, 29.793 UT,  $r = 0.663$  а. е.).

Можно отметить малые значения времени жизни ( $\tau < 10^5$  с) светящихся ионов хвоста кометы. Величина магнитного поля хвоста должна зависеть от расположения кометы в межпланетном пространстве, а значит от значения

межпланетного магнитного поля, наличия высокоскоростных потоков солнечного ветра и других физических условий. В частности, в работе [7] было обнаружено усиление магнитного поля хвоста кометы Галлея, которое можно представить в виде экспоненциальной функции

$$B = B_m [1 - \exp(-\Delta t/\tau^*)]. \quad (8)$$

Здесь  $\Delta t$  — период времени после отрыва хвоста,  $\tau^*$  — время релаксации,  $B_m$  — некоторое максимальное значение магнитного поля, к достижению которого стремится магнитное поле хвоста кометы. Значение  $B_m$  должно зависеть как от индивидуальных характеристик кометы, так и от условий межпланетной среды. В данном случае по зависимости (8) было оценено время нулевого значения магнитного поля хвоста. Оно совпало с временем пролета кометой Галлея секторной границы межпланетного магнитного поля (+/-), январь 6.8 UT, 1986 г.)

Таким образом, для дальнейшего исследования физического состояния плазменного хвоста долгопериодической кометы C/1982 M1 (Остин), объяснения изменений значений полученных физических параметров хвоста необходимо изучение связи этих явлений с соответствующими условиями солнечного ветра и солнечной активностью.

В дальнейшем предполагается исследовать зависимость изменений физических параметров в хвосте кометы C/1982 M1 (Остин) от изменений физических условий в межпланетной среде и солнечном ветре.

#### ВЫВОДЫ

В период с 29 августа 1982 г. по 25 сентября 1982 г. в плазменном хвосте кометы C/1982 M1 (Остин) наблюдались колебания индукции магнитного поля  $B$  вблизи среднего значения  $B \approx 10$  нТл. Эти флуктуации, по-видимому, отражают флуктуации магнитной индукции в солнечном ветре, обтекающем комету. Наибольшие значения  $B \approx 15.3$  нТл зафиксированы в начале периода наблюдений (24.08.1982 г.) и примерно такое же — 15.09.82 г. Минимальное значение  $B \approx 2$  нТл приходится на момент 19.09.82 г., что, по-видимому, связано с прохождением кометы через границу секторной структуры межпланетного магнитного поля.

1. Коноплева В. П., Назарчук Г. К., Шульман Л. М. Поверхностная фотометрия комет // Киев: Наук. думка, 1977.—265 с.
2. Назарчук Г. К. Детальная фотометрия кометы Арнда—Ролана 1956 // Физика комет и метеоров. — Киев: Наук. думка, 1965.—С. 23—55.
3. Назарчук Г. К. Проверка гипотезы свободномолекулярного разлета частиц в хвосте кометы 1957 III // Активные процессы в кометах. — Киев: Наук. думка, 1967.—С. 28—42.
4. Назарчук Г. К., Шульман Л. М. Диффузионная модель хвоста кометы // Проблемы космич. физики.—1968.—Вып. 3.—С. 11—24.
5. Сагдеев Р. З., Шапиро В. Д., Шевченко В. И. Взаимодействие нагруженного солнечного ветра с кометой: теория и наблюдения. — М., 1989.—С. 3—47.—(Итоги науки и техники. Плазменные процессы в космосе; Т. 1).
6. Чурюмов К. И. Появление комет в 1982 г. // Астрон. календарь. 1984. — М: Наука, 1983.—Вып. 87.—С. 204—213.
7. Чурюмов К. И., Шабас Н. Л. Физические условия в плазменном хвосте кометы Галлея в период его отрыва 6—8 января 1986 года // Астрон. вестн.—1998.—32, № 3.—С. 269—276.
8. Шабас Н. Л. Плазмові хвосты комет // Тр. Першої міжнар. конф. КАММАК99 / Під ред. К. І. Чурюмов. — Вінниця, 2000.—С. 191—197.
9. Шабас Н. Л. Фізичні параметри плазмового хвоста комети 67 P Чурюмова—Герасименка // Вісник. Київ. ун-ту. Астрономія.—1999.—Вип. 35.—С. 80—83.