

УДК 523.64-35

Ю. В. Сизоненко

Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины
03680 ГСП, Киев, ул. Академика Заболотного 27

Физические характеристики плазменного хвоста кометы 1P/Галлея

Согласно диффузионной модели плазменного хвоста кометы рассчитаны профили распределения яркости, совпадающие с фотометрическими разрезами хвоста кометы Галлея в декабре 1985 года. Для периода наблюдений найдены оценки индукции магнитного поля в хвосте кометы Галлея, а также оценки времени жизни светящихся частиц, коэффициентов продольной и поперечной диффузии ионов. Показано, что вероятной причиной скачка индукции магнитного поля кометы была встреча кометы с высокоскоростным потоком солнечного ветра.

ФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАЗМОВОГО ХВОСТА КОМЕТИ 1P/ГАЛЛЕЯ, Сизоненко Ю. В. — За дифузійною моделлю плазмового хвоста комети розраховані профілі розподілу яскравості, що збігаються з фотометричними перерізами хвоста комети Галлея в грудні 1985 року. Для періоду спостережень знайдено оцінки індукції магнітного поля в хвості комети Галлея, а також оцінки часу існування світних частинок, коефіцієнтів поздовжньої та поперечної дифузії іонів. Показано, що ймовірною причиною стрибка індукції магнітного поля комети була зустріч комети з швидкісним потоком сонячного вітру.

SOME PHYSICAL CHARACTERISTICS OF THE PLASMA TAIL OF COMET 1P/HALLEY, by Sizonenko Yu. V. — The photometric scans of the plasma tail of Comet Halley are compared with the profiles of brightness distribution for the tail streams of which were calculated with the use of the diffusion model of the plasma tail. We estimated the magnetic field induction and the lifetime of ions in the tail of Comet Halley as well as the coefficients of diffusion during the observations at time. It is shown that the jump of the magnetic field induction in the plasma tail can be a result of a collision of the comet with a highstream solar wind.

ВВЕДЕНИЕ

Комета 1P/Галлея в появлении 1982—1987 гг. изучалась многими астрономами, а также *in situ* несколькими космическими аппаратами, которые впервые выполнили измерения физических характеристик кометной атмо-

сферы вблизи от ядра кометы, определили размеры и форму ядра. Эти исследования дали моментальную картину кометных явлений, которая была дополнена наземными наблюдениями кометы на значительном отрезке ее орбиты до и после прохождения перигелия. Одними из самых длительных и плодотворных наблюдений были наблюдения крупномасштабных явлений в хвостах кометы Галлея. Огромный наблюдательный материал [10], собранный в рамках этой программы, все еще не обработан полностью. Результаты международной программы наблюдений крупномасштабных явлений в комете Галлея (LSPN) могут быть использованы для исследования распределения яркости в хвостах кометы. В этой работе мы оценили физические характеристики плазменной составляющей атмосферы кометы Галлея исходя из распределения яркости в хвостах на нескольких снимках кометы, полученных в ходе наблюдений по программе LSPN.

Плазменный хвост кометы Галлея появился во второй половине ноября 1985 г. [7]. В начале декабря плазменный хвост кометы состоял из нескольких потоков, главный из которых простирался на 9.5 млн км от ядра кометы. В декабре зафиксировано два явления отрыва хвоста кометы, возможно связанные с прохождением секторной границы межпланетного магнитного поля [14].

НАБЛЮДЕНИЯ И ФОТОМЕТРИЯ СНИМКОВ

Для изучения двумерного распределения яркости по хвосту кометы были использованы снимки, сделанные Л. Г. Ахвердяном в прямом фокусе 2.6 м телескопа ЗТА-2.6 (Бюраканская астрофизическая обсерватория) и К. И. Чурюмовым на 1-м телескопе RCC-1.0 в Ассах (Казахстан). Использован также снимок кометы, полученный С. И. Герасименко на телескопе ДША (Гиссарская АО). Для снимков использованы фотопластинки ORWO ZU-21. Фотопластинки с телескопа RCC-1.0 подвергнуты гиперсенсбилизации в водороде. В табл. 1 помещены характеристики наблюдений кометы: моменты УТ начала экспозиции по всемирному времени, длительность экспозиции ΔT , координаты ядра кометы α и δ , угловой масштаб снимка scl , l — длина участка хвоста, выбранного для фотометрии.

На снимках видны изображения кометного хвоста I типа длиной до 1.5° . Хвост I типа состоит из нескольких потоков разной длины. Структура хвоста кометы в эти дни быстро менялась. Даже на снимках ЗТА-10 и ЗТА-12, которые разделяют не более 2 ч, заметны изменения второстепенных деталей структуры [6]. Полное изменение структуры хвоста между 16 и 17 декабря отмечает К. И. Чурюмов [7]. Интересно сопоставить быстрые изменения структуры хвоста с изменениями физических характеристик плазменного хвоста.

Поверхностная фотометрия снимков ЗТА-10 и ЗТА-12 выполнена в Бюраканской АО на двухкоординатном микрофотометре PDS-8 Ю. В. Сизо-

Таблица 1. Обстоятельства наблюдений кометы 1/P Галлея

Номер снимка	УТ, 1985, декабрь	ΔT , мин	α_{1985}	δ_{1985}	Масштаб снимка, "/мм	l , 10^6 км
ДША-135	9.61304	60	$23^h 32^m 05.5^s$	$+7^\circ 08' 06''$	103.1	1.065
ЗТА-10	9.66180	40	23 31 46.2	7 05 13	29.0	1.318
ЗТА-12	9.73611	40	23 31 26.6	7 02 09	29.0	1.318
RCC-8503	12.67405	25	23 19 58.4	5 09 29	15.5	0.343
RCC-8506	16.63422	25	23 06 45.9	2 58 26	15.5	0.529
RCC-8511	17.62409	25	23 04 24.5	2 29 46	15.5	0.541

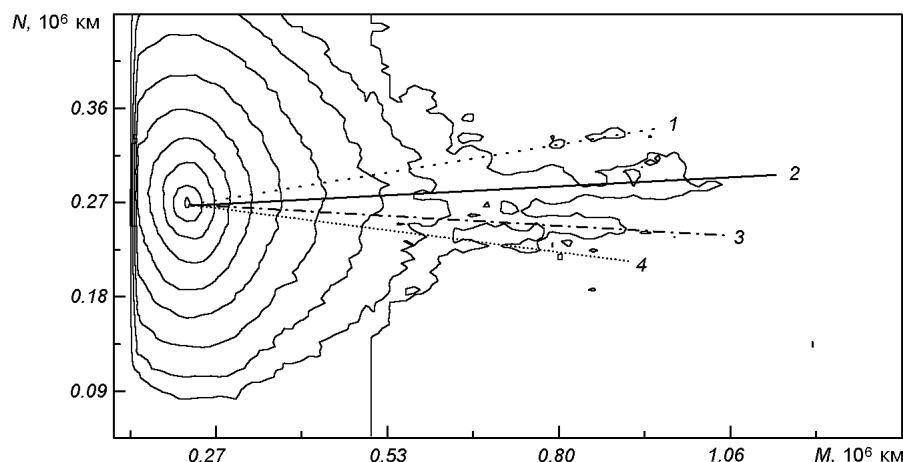


Рис. 1. Изофоты, построенные по снимку ЗТА-12 от 9.73611 декабря 1985 г. Прямые линии указывают направления фотометрических разрезов вдоль основных потоков плазменного хвоста кометы Галлея

ненко и Л. Г. Ахвердяном. Фотометрия снимков RCC-8503, RCC-8506 и RCC-8511 выполнена в Главной астрономической обсерватории Украины В. Г. Парусимовым и К. И. Чурюмовым на автоматическом двухкоординатном микрофотометре АЦМФ-ХУ. На этом же фотометре В. Л. Костюченко выполнил поверхностную фотометрию снимка ДША-135. Этот несколько разнородный фотометрический материал объединен методикой обработки и учета фотометрических редуций, выполненных автором этой работы. Фотометрическая обработка этих снимков подробно описана в работе [6]. Снимок ДША-135 обработан нами позже по этой же методике. Шаг сканирования и размер диафрагмы фотометра подбирался таким образом, чтобы обеспечить примерно одинаковое пространственное разрешение фотометрии для всех снимков. Несмотря на то, что угловой масштаб снимков ДША-135 и RCC-8511 различается почти в семь раз, пространственное разрешение фотометрии для этих снимков различается всего лишь в 1.4 раза. Для каждого снимка мы получили распределение яркости, выраженное во внеатмосферных звездных величинах с единичной площадки картинной плоскости. Для снимков RCC-8503 и RCC-8511 во время наблюдений не были получены снимки фотометрических стандартов, и поэтому для них найдены распределения яркости в относительной шкале звездных величин. На рис. 1 показана система изофот, построенная для снимка ЗТА-12. Центральная изофота ограничивает участок изображения с яркостью $B_1 = 16.2$ зв.вел./сд^{2*}, а внешняя — участок с яркостью $B_{10} = 22.8$ зв.вел./сд².

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЯРКОСТИ В ПЛАЗМЕННОМ ХВОСТЕ КОМЕТЫ

Распределение яркости в плазменном хвосте кометы определяется положением кометных ионов, движущихся от Солнца под действием его фотонной и корпускулярной радиации. Описав распределение яркости с помощью диффузионной модели плазменного хвоста [4], мы получим такие характеристики плазменного хвоста, как время жизни светящихся частиц, продоль-

* Редакция рекомендует для обозначения секунд дуги употреблять буквенные обозначения:
1" = 1 сд = 10³ мсд = 10⁶ мксд

ный и поперечный коэффициент диффузии, а также оценки напряженности магнитного поля. Соотношения диффузионной модели, позволяющие найти физические характеристики плазменного хвоста кометы, мы взяли из работ [3, 8]. Опишем усовершенствования, которые мы сделали для повышения точности оценок указанных физических величин. В вышеперечисленных работах для расчетов физических характеристик принято значение эффективного ускорения кометных ионов $\mu = 10$. При этом предполагалось, что оно не может быть меньшим, если следовать выводам небесно-механической теории кометных форм. Принятое значение позволяло определять верхнюю оценку времени жизни светящихся частиц и нижнюю оценку коэффициентов диффузии. Однако оценка напряженности магнитного поля хвоста зависит также и от температуры ионов T_i , значение которой известно лишь приблизительно:

$$B \approx 2 \cdot 10^{11} \frac{T_i}{D_{\parallel}(\mu)} \frac{L_{\parallel}}{L_{\perp} \cos \beta}. \quad (1)$$

При двух неопределенных параметрах (T_i в числителе и μ в знаменателе) оценка напряженности магнитного поля становится некорректной, и поэтому нельзя говорить о верхней или нижней оценке величины B . Мы нашли возможность получить более надежную оценку величины ускорения кометных ионов. Для кометы Галлея имеется много снимков, зафиксировавших облачные образования в плазменном хвосте. Мы оценили ускорение по измерениям движения облачного образования в хвосте кометы Галлея относительно ядра кометы. Для этой цели использовались восемь репродукций снимков кометы, опубликованных в работе [10]. Снимки получены с 13.80 по 15.05 декабря, т. е. близко к моментам наших наблюдений. Ускорения рассчитывались по методике [11]. Найдено среднее значение эффективного ускорения $\bar{\mu} = 97 \pm 11$, которое неплохо согласуется с величиной, полученной в работе [11] для послеперигелийного периода ($\bar{\mu} = 89.2$). Для появления кометы Галлея в 1910 г. среднее значение $\bar{\mu} = 66.5$ [5]. Полученное значение $\bar{\mu} = 97$ можно использовать для расчета ускорения ионов с 9 по 17 декабря по зависимости

$$a = \gamma \frac{M_S}{r^2} (1 + \mu), \quad (2)$$

где M_S — масса Солнца, r — гелиоцентрическое расстояние, γ — гравитационная постоянная. Вычисленные таким образом ускорения ионов изменяются от 32 до 38 см/с².

Для сравнения распределения яркости в плазменном хвосте кометы с результатами модельных расчетов яркости используют продольные и поперечные фотометрические разрезы хвоста. После фотометрической обработки снимка кометы мы получаем карту распределения яркости, которая часто ориентирована произвольным образом относительно направлений потоков плазменного хвоста. Чтобы облегчить и сделать более уверенным выбор направления фотометрических разрезов хвоста, мы преобразовали декартовы координаты фотометрической карты в полярные с началом в ядре кометы. При этом мы исходили из предположения, что большинство потоков плазменного хвоста начинаются в околоядерной области и распространяются затем приблизительно радиально. Это предположение, верное для невозмущенных потоков, не накладывает дополнительных ограничений на применение диффузионной модели, поскольку она согласно [4] рассматривает равноускоренное движение элементарного облака ионов. Получив карту распределения яркости в полярных координатах, мы выбрали затем

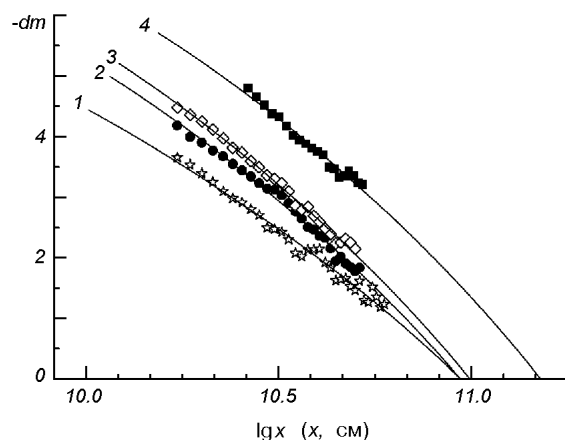


Рис. 2. Сопоставление продольных фотометрических разрезов снимка ЗТА-12 с рассчитанными профилями распределения яркости. Изменение яркости $-dm$ дано по отношению к уровню фона. Номера модельных кривых соответствуют номерам разрезов на рис. 1

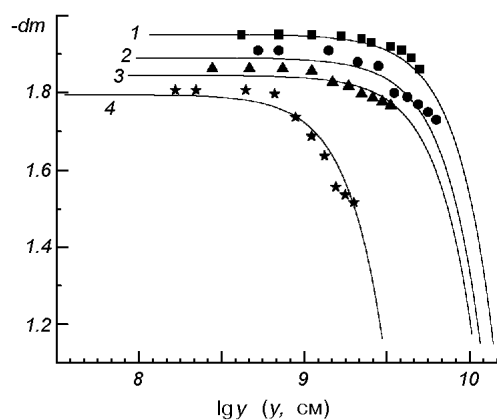


Рис. 3. Сопоставление поперечных фотометрических разрезов потока 2 снимка ЗТА-12 с рассчитанными профилями распределения яркости: 1 — поперечный разрез потока на расстоянии $3.77 \cdot 10^{10}$ см от ядра, 2 — на расстоянии $4.45 \cdot 10^{10}$ см от ядра, 3 — на расстоянии $5.82 \cdot 10^{10}$ см от ядра, 4 — на расстоянии $6.49 \cdot 10^{10}$ см от ядра

угол θ , соответствующий направлению потока плазменного хвоста, и получили отсчеты для продольного разреза вдоль этой координаты. В некоторых случаях фотометрические отсчеты в 3-4 углах усреднялись, чтобы сгладить колебания оси потока плазменного хвоста.

Полученные таким образом фотометрические разрезы сопоставлялись с рассчитанными профилями распределения яркости, соответствующими набору модельных параметров Γ , L_{\parallel} и L_{\perp} [3]. Программа подгонки профилей распределения яркости осуществляла изменение модельных параметров до тех пор, пока не была получена минимальная сумма квадратов отклонений отсчетов фотометрического разреза от рассчитанного профиля.

На рис. 2 представлены четыре продольные фотометрические разреза (см. рис. 1) и полученные для них модельные профили яркости, а на рис. 3 — наблюдаемые и модельные профили яркости поперек потока 2.

Проделав процедуру сопоставления разрезов и профилей для всех обработанных снимков, мы получили наборы модельных параметров для расчета физических характеристик плазменного хвоста кометы по соотношениям, приведенным в работе [8]. Согласно [12, 13] для максимальной и минимальной температуры кометных ионов мы приняли значения 80 000 и 20 000 К. В табл. 2 приведены средние по потокам значения модельных параметров Γ , L_{\parallel} и L_{\perp} для каждого снимка и их стандартные отклонения. В табл. 3 даны вычисленные по средним модельным параметрам значения ускорения кометных ионов a , продольного и поперечного коэффициентов диффузии D_{\parallel} и D_{\perp} , а также максимальная и минимальная оценки индукции магнитного поля хвоста B^{\min} и B^{\max} на каждую дату наблюдений.

Таблица 2. Параметры диффузионной модели для плазменного хвоста кометы Галлея в декабре 1985 г.

Номер пластинки	Γ	$L_{\parallel}, 10^{10}$ см	$L_{\perp}, 10^9$ см
ДША-135	4.19 ± 0.22	0.77 ± 0.41	6.99 ± 0.49
ЗТА-10	1.32 ± 0.34	0.68 ± 0.42	5.38 ± 0.42
ЗТА-12	0.58 ± 0.11	1.08 ± 1.32	4.53 ± 0.32
RCC-8503	0.64 ± 0.12	0.31 ± 0.01	1.55 ± 0.08
RCC-8506	1.03 ± 0.14	0.61 ± 0.46	3.79 ± 0.07
RCC-8511	44.8 ± 5.9	1.24 ± 0.08	8.12 ± 0.14

Таблица 3. Физические характеристики плазменного хвоста кометы Галлея в декабре 1985 г.

Номер пластинки	$a, \text{ см} \cdot \text{с}^{-2}$	$\tau, 10^4$ с	$D_{\parallel}, 10^{16} \text{ см}^2 \text{с}^{-1}$	$D_{\perp}, 10^{15} \text{ см}^2 \text{с}^{-1}$	$v^{\min}, \text{ нТл}$	$v^{\max}, \text{ нТл}$
ДША-135	31.7	6.06	0.41	0.20	8.4	33.6
ЗТА-10	31.7	3.23	0.75	0.22	5.0	19.8
ЗТА-12	31.7	2.70	0.48	0.19	1.4	5.8
RCC-8503	33.9	1.41	0.60	0.42	9.1	36.3
RCC-8506	37.3	2.33	1.02	0.15	4.1	16.2
RCC-8511	38.3	21.38	0.41	0.07	1.7	6.8

Анализ табл. 2 показывает, что стандартное отклонение большинства полученных оценок достаточно малы и не превышают 10—15 % от средних по потокам величин. Этот факт позволяет предположить однородность модельных параметров для всего плазменного хвоста, поскольку такие небольшие отклонения могли быть вызваны погрешностями фотографической фотометрии. В то же время большие разбросы множителя L_{\parallel} (> 50 %) для снимков ДША-135 и RCC-8506 свидетельствуют о реальном отличии этого модельного параметра для отдельных потоков хвоста. Такое различие распределения яркости в потоках могло быть вызвано перестройкой структуры хвоста кометы. При определении физических параметров плазменного хвоста мы использовали один набор параметров модели распределения яркости для всего хвоста.

Анализ данных табл. 3 позволяет заметить следующие особенности.

1. Время жизни светящихся частиц в плазменном хвосте кометы постепенно уменьшается до 13 декабря, а затем резко увеличивается 17 декабря.

2. Коэффициенты диффузии, характеризующие расплывание пакетов частиц, испущенных из ядра, увеличиваются до 16 декабря, а затем резко уменьшаются 17 декабря.

3. Величина индукции магнитного поля хвоста кометы резко увеличивается 13 декабря.

Ниже мы рассмотрим возможную связь изменения магнитного поля хвоста с «космической погодой» в декабре 1985 г.

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И ПАРАМЕТРЫ ПЛАЗМЕННОГО ХВОСТА КОМЕТЫ ГАЛЛЕЯ

Как показали наблюдения *in situ* [12], плазменный хвост кометы представляет собой поток ионов, движущихся с ускорением вдоль нейтрального слоя магнитного поля кометы. Поэтому любое внешнее воздействие, которое приведет к изменению напряженности или конфигурации магнитного поля

кометы, скажется на плазменном хвосте. Впервые предположение о связи проявлений солнечной активности и поведения потоков кометной плазмы было сделано в работе [9]. Моделирование воздействия потока солнечного ветра на плазму кометного хвоста [16] позволило установить соответствие между неоднородностями потока солнечного ветра и различными явлениями в плазменном хвосте кометы. Многие исследователи связывают явление отрыва хвоста с пересечением кометой границы секторной структуры межпланетного магнитного поля [17].

Обработанные нами снимки кометы были получены в периоды до (9.61—12.67 декабря) и после (16.62—17.63 декабря) прохождения кометы через секторную границу межпланетного магнитного поля, отмеченного 13.54 декабря [14]. Согласно результатам нашей работы непосредственно перед прохождением секторной границы величина индукции магнитного поля увеличилась, а не уменьшилась, как следовало ожидать исходя из представлений о секторной структуре межпланетного магнитного поля. Такое несоответствие данных приводит к выводу о том, что 12—13 декабря с плазменным хвостом кометы могла встретиться какая-то неоднородность межпланетного магнитного поля (ММП), не связанная с крупномасштабной структурой ММП.

В связи с этим интересно проследить связь между индексами-характеристиками состояния межпланетной среды, к которым относят квадрат напряженности межпланетного магнитного поля (IMF), поток протонов с энергией свыше 2 Мэв (PR2), концентрацию (ION) и скорость (FSE) частиц солнечного ветра [2], и характеристиками плазменного хвоста кометы Галлея. Поскольку измерений характеристик состояния межпланетной среды в окрестностях кометы Галлея в декабре 1985 г. не было, мы воспользовались данными, полученными спутниками в околоземном пространстве. Согласно архивным данным на сайте OMNI 2 (<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/omniweb>) 10.90 декабря в околоземном пространстве было зафиксировано увеличение скорости солнечного ветра до 688 км/с с соответствующим уменьшением концентрации частиц потока, а 10.12 декабря отмечено резкое увеличение значения квадрата напряженности межпланетного магнитного поля. Значение индекса геомагнитной активности A_p достигло локального максимума 10.37 декабря. Эти данные говорят о том, что в первой половине суток 10 декабря Земля встретилась с неоднородностью межпланетного магнитного поля, возможно связанной с высокоскоростным потоком солнечного ветра. Учет разности долгот и гелиоцентрических расстояний Земли и кометы дает время начала взаимодействия потока с магнитосферой кометы 12.16 декабря. Наши наблюдения состоялись примерно через 0.5 сут после вероятного увеличения напряженности ММП в окрестностях кометы. Вполне вероятно, что изменение физических параметров плазменного хвоста было вызвано той же неоднородностью ММП, действие которой наблюдалось в окрестностях Земли 10 декабря.

Рассмотрим другие возможные причины возмущения магнитного поля кометы Галлея 12 декабря. В работе [1] было обнаружено, что потоки высокоскоростных протонов вызвали значительное увеличение интенсивности излучения в полосах эмиссии C_2 спектра кометы Галлея 13 ноября 1985 г. Хотя возможный механизм влияния потока быстрых протонов на магнитное поле кометы нам не известен, исключить такое влияние нельзя. Данные измерения потоков быстрых протонов на КА IMP-8 (сайт OMNI 2) свидетельствуют об отсутствии сколько-нибудь заметных потоков быстрых протонов 9—17 декабря.

В коме кометы Галлея с 12.38 по 12.52 декабря наблюдалась вспышка блеска в белом свете и в эмиссии C_2 [15], связанная с появлением джета в

околоядерной области кометы. Выделение дополнительного количества газа СО при дезинтеграции пылинок джета могло бы внести локальные изменения в распределение яркости плазменного хвоста кометы и исказить результаты моделирования. Действительно, на снимках плазменного хвоста кометы Галлея с 13.8 по 15.2 декабря [10] видно облако в хвосте кометы. Однако снимок RCC-8503, по которому получено увеличение индукции магнитного поля, был сделан 12.67 декабря, т. е. до появления облака в хвосте кометы.

Следует отметить, что уменьшение индукции магнитного поля кометы сопровождается усложнением лучевой структуры хвоста кометы как на протяжении 9 декабря, так и 16-17 декабря, что не противоречит модели магнитного поля хвоста кометы, полученной в результате наблюдений *in situ* [12].

Автор благодарит К. И. Чурюмова, Л.Г. Ахвердяна и С. И. Герасименко, предоставивших для исследования снимки кометы Галлея. Работа была выполнена при поддержке гранта ГФФИ Украины.

1. Борисенко С. А., Шульман Л. М. Сонячна активність в листопаді—грудні 1985 р. та її вплив на швидкі варіації інтенсивності в спектральних лініях комети Галлея // Кинематика и физика небес. тел.—2001.—17, № 5.—С. 389—402.
2. Милецкий Е. В., Иванов В. Г. О выборе системы солнечных характеристик, определяющих состояние космической погоды // Солнце в эпоху смены знака магнитного поля: Сб. тр. — Санкт-Петербург: Изд-во ГАО РАН, 2001.—С. 275—280.
3. Назарчук Г. К. Анализ распределения поверхностной яркости в хвосте кометы 1956 h // Астрометрия и астрофизика.—1969.—Вып. 4.—С. 77—99.
4. Назарчук Г. К., Шульман Л. М. Диффузионная модель кометного хвоста // Проблемы космической физики.—1968.—Вып. 3.—С. 3—18.
5. Орлов С. В. О природе комет. — М.: Изд-во АН СССР, 1960.—190 с.
6. Сизоненко Ю. В. Поверхностная фотометрия кометы Галлея 1986 III // Кинематика и физика небес. тел.—1994.—10, № 6.—С. 74—79.
7. Чурюмов К. И. Крупномасштабные явления в хвосте кометы Галлея // Земля и Вселенная.—1986.—№ 2.—С. 3—13.
8. Чурюмов К. И., Шабас Н. Л. Физические условия в хвосте плазменном хвосте кометы Галлея 1986 во время его отрыва // Астрон. вестник.—1998.—32, № 3.—С. 43—50.
9. Biermann L. Kometschwefel und Solar Korpuscularstrahlung // Z. Astrophys.—1951.—29.—P. 279—286.
10. Brandt J. C., Niedner M. B. Jr., Rahe J. The International Halley Watch Atlas of Large-Scale Phenomena. — Boulder: Johnson Printing Co., Univ. Colorado, 1988.—456 p.
11. Celnik W. E., Schmidt-Keller Th. Structure and dynamics of plasma-tail condensations of comet P/Halley 1986 and inferences on the structure and activity of cometary nucleus // Astron. and Astrophys.—1987.—187.—P. 233—248.
12. Slavin J. A., Smith E. J., Tsurutani B. T., et al. Giacobini-Zinner magnetotail — ICE magnetic field observations // GeoRL.—1986.—13.—P. 283—286.
13. Spinrad H., Brown M. E., Johns C. M. Kinematics of the ion tail of comet P/Swift-Tuttle // Astron. J.—1994.—108, N 4.—P. 1420—1462.
14. Voelzke M. R., Matsuura O. T. The onsets of disconnection events of comet P/Halley on 1985 December 13-14 and 1986 February 22 // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.—2000.—146, N 1.
15. Watanabe J., Kawakami H., Tomita K., et al. The outburst of comet P/Halley on December 12, 1985 // Astron. and Astrophys.—1987.—187, N 1-2.—P. 229—232.
16. Wegmann R. The effect of some solar wind disturbances on the plasma tail of a comet: models and observations // Astron. and Astrophys.—2000.—358.—P. 759—775.
17. Yi Y., Caputo F. M., Brandt J. C. Disconnection events (DEs) and sector boundaries: The evidence from comet Halley 1985—1986 // Planet. and Space Sci.—1994.—42, N 9.—P. 705—720.

Поступила в редакцию 11.04.05