

УДК 523.64

Н. Л. Шабас, К. И. Чурюмов, И. В. Лукьяник, Ф. И. Кравцов

Астрономическая обсерватория Киевского университета имени Тараса Шевченко
04053, Киев-53, ул. Обсерваторная 3

**Вариации физических параметров
в плазменном хвосте кометы Абе (С/1970 N1)
и их связь с солнечной активностью**

Для 24 моментов наблюдений приведены уточненные оценки физических параметров в плазменном хвосте кометы Абе С/1970 N1. Использована диффузионная модель. Изучается связь между изменениями магнитного поля в плазменном хвосте кометы в период с 30 сентября по 8 октября 1970 г. и солнечными вспышками.

ВАРІАЦІЇ ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ У ПЛАЗМОВОМУ ХВОСТІ КОМЕТИ АБЕ (С/1970 N1) ТА ЇХНІЙ ЗВ'ЯЗОК ІЗ СОНЯЧНОЮ АКТИВНІСТЮ, Шабас Н. Л., Чурюмов К. І., Лук'яник І. В., Кравцов Ф. І. — Для 24 моментів спостережень приведені уточнені оцінки фізичних параметрів у плазмовому хвості комети Абе С/1970 N1. Використано дифузійну модель. Вивчається зв'язок між змінами магнітного поля у плазмовому хвості комети у період з 30 вересня по 8 жовтня 1970 р. та сонячними спалахами.

VARIATIONS OF PHYSICAL PARAMETERS IN THE PLASMA TAIL OF COMET ABE (C/1970 N1) AND THEIR CONNECTION WITH SOLAR ACTIVITY, by Shabas N. L, Churyumov K. I., Luk'yanyk I. V., Kravtsov F. I. — More exact estimates of physical parameters in the plasma tail of comet Abe (C/1970 N1) are presented for 24 dates. The diffusion model was used. The connection between the changes of the magnetic field in the plasma tail of the comet in the period from 1970 September 30 to October 8 and in solar flares is investigated.

ВВЕДЕНИЕ

При сравнении изменений магнитного поля плазменного хвоста долгопериодической кометы Остин С/1982 M1 (данные работы [16]) с хромосферными вспышками была обнаружена существенная связь между этими событиями. Ниже представлены аналогичные исследования для плазменного хвоста кометы Абе (С/1970 N1). В отличие от предыдущих работ [12, 14] о связи физических условий плазменного хвоста кометы Абе (С/1970 N1) с солнечной активностью, были получены и использованы уточненные расчеты параметров применяемой теоретической модели, а не табличные данные [3].

НАБЛЮДЕНИЯ, ФОТОМЕТРИЯ И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Исследовались 24 снимка кометы Абе (C/1970 N1) для периода с 30 сентября по 8 октября 1970 г. Негативы были получены К. И. Чурюмовым с помощью камеры Шмидта (19/17 см) на корональной станции Астрофизического института им. В. Г. Фесенкова Академии наук Казахстана [10]. Плазменный хвост кометы фотометрировался на микрофотометре МФ-4 вдоль его оси и в некоторых местах перпендикулярно к оси хвоста. На каждом снимке комета находилась практически в центре поля негатива, длина фотометрируемой части хвоста не превышала 5 мм на негативе. Это дает максимальную поправку за ошибку поля 0.05^m , что меньше ошибок фотометрии. Комета Абе (C/1970 N1) наблюдалась на зенитных расстояниях менее 23° , что дает максимальную поправку за изменение зенитного расстояния вдоль оси хвоста 0.007^m . Поэтому в результаты фотометрии поправки за ошибку поля и зенитное расстояние не вводились.

Оценки физических параметров плазменного хвоста кометы Абе (C/1970 N1) проводились с помощью диффузионной модели Г. К. Назарчук и Л. М. Шульмана [5]. Для этого путем сравнения продольных и поперечных разрезов плазменного хвоста кометы Абе (C/1970 N1) с соответствующими теоретическими профилями определялись параметры модели. В диффузионной модели движение иона кометы рассматривается в качестве суперпозиции диффузии и сноса в хвост.

В предыдущих работах по исследованию плазменного хвоста кометы Абе (C/1970 N1) [12, 14] для построения теоретических кривых диффузионной модели использовались табличные данные [3]. Однако оказалось, что эти данные недостаточно точны. Ниже мы используем теоретические значения яркости, полученные на основе более точного, до 10^{-5} , вычисления несобственного интеграла в выражениях.

Для определения необходимых для заданной точности пределов интегрирования в программе для указанных параметров X , Y , Γ находится значение θ_{\max} , при котором подынтегральная функция имеет максимальное значение. В первом приближении значение параметра θ'_{\max} оценивается для случая, при котором имеет максимум упрощенная функция $\exp\left(-\frac{(X - \Gamma\theta^2)^2 + Y^2}{\theta}\right)$. Параметр θ'_{\max} , при котором эта функция максимальна, определяется из уравнения

$$3\Gamma^2(\theta'_{\max})^4 - 2X\Gamma(\theta'_{\max})^2 - X^2 - Y^2 = 0. \quad (1)$$

Тогда

$$\theta'_{\max} = \left(\frac{X + \sqrt{4X^2 + 3Y^2}}{3\Gamma}\right)^{1/2}. \quad (2)$$

Затем находится уточненное значение θ_{\max} . Это осуществляется путем решения методом касательных уравнения, полученного при дифференцировании всей подынтегральной функции

$$3\Gamma^2(\theta_{\max})^4 - (1 - 2X\Gamma)(\theta_{\max})^2 + \theta_{\max} - X^2 - Y^2 = 0. \quad (3)$$

При этом первоначально используется значение θ'_{\max} .

Окончательно интеграл вычисления поверхностной яркости в программе определяется как сумма интегралов, вычисленных в пределах от 0 до θ_{\max} , от θ_{\max} до $2\theta_{\max}$ и т. д., пока значение интеграла в заданных пределах больше заданной точности. При интегрировании в каждом пределе используется метод Симпсона.

Рис. 1. Продольные фотометрические разрезы плазменного хвоста кометы Абе (C/1970 N1) сентябрь, октябрь 1970 г. и соответствующие теоретические профили: 1 — 30.667 UT; 2 — 1.673 UT; 3 — 2.617 UT; 4 — 3.625 UT; 5 — 5.617 UT; 6 — 7.636 UT

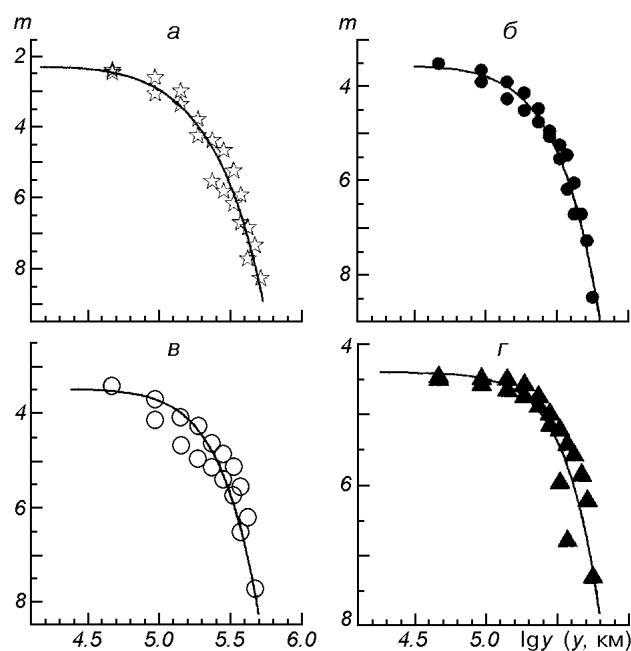
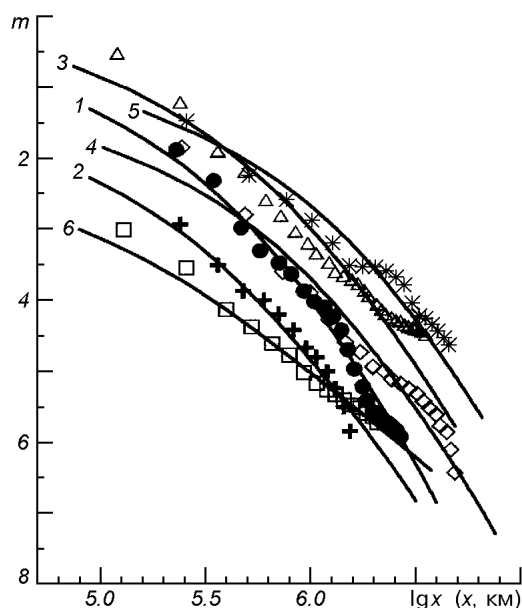


Рис. 2. Поперечные фотометрические разрезы плазменного хвоста кометы Абе (C/1970 N1) 30.682 UT сентября, 1970 г. и соответствующие теоретические профили для следующих расстояний от ядра кометы: а — $x_1 = 1.74 \cdot 10^5$ км, б — $x_2 = 3.80 \cdot 10^5$ км, в — $x_3 = 5.87 \cdot 10^5$ км, г — $x_4 = 7.93 \cdot 10^5$ км

Исследование плазменных хвостов комет Галлея [11, 15], Чурюмова — Герасименко [13], Остин (C/1982 M1) [16] также были проведены с использованием указанной выше программы. Некоторые из полученных фотометрических профилей плазменного хвоста кометы Абе (C/1970 N1) и соответствующие теоретические кривые приведены на рис. 1, 2. В табл. 1 приведены параметры диффузионной модели, найденные при сравнении фотометрических и теоретических профилей, для всех 24 моментов наблюдений кометы Абе (C/1970 N1). Точность определения указанных параметров: $\Delta \Gamma \approx \pm 0.05$, $\Delta L_{\parallel} \approx \pm 0.02 \cdot 10^{10}$ см, $\Delta L_{\perp} \approx \pm 0.02 \cdot 10^{10}$ см.

Таблица 1. Параметры диффузионной модели для плазменного хвоста кометы Абе (C/1970 N1)

Дата, UT	Γ	$L_{\parallel}, 10^5$ км	$L_{\perp}, 10^5$ км
Сентябрь, 30.658	0.6	13.18	2.6
30.667	0.6	8.32	2.29
30.674	0.6	3.31	1.97
30.682	0.6	5.37	2.58
Октябрь, 1.609	1	6.46	2.65
1.627	1	9.55	2.97
1.634	1	52.48	5.16
1.656	0.8	5.62	2.47
1.673	1	8.13	2.88
2.603	0.8	8.71	2.44
2.610	0.8	15.14	3.48
2.617	0.8	13.18	3.60
2.625	0.8	8.13	3.16
2.634	0.8	15.14	4.70
2.655	0.8	26.92	5.69
3.625	0.7	19.05	3.12
3.634	0.7	11.75	2.92
3.640	0.7	15.85	3
5.590	0.6	6.92	2.63
5.598	0.6	8.32	2.72
5.606	0.6	14.13	2.56
5.617	0.6	27.54	3.37
7.629	22	60.26	10.05
7.636	10	15.85	7.66

ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ПЛАЗМЕННОМ ХВОСТЕ КОМЕТЫ АБЕ (C/1970 N1)

Определение параметров диффузионной модели дало возможность оценить (согласно формулам, приведенным в работах [3, 5, 13, 15, 16]): a — ускорение ионов плазменного хвоста кометы, τ — время жизни флуоресцирующих частиц, D_{\parallel} и D_{\perp} — продольный и поперечный коэффициенты диффузии, B — магнитное поле плазменного хвоста кометы Абе (C/1970 N1). Определение возможных средних значений магнитного поля плазменного хвоста кометы зависит от температуры T флуоресцирующих ионов. Как и для кометы Остин (C/1982 M1) [16], для кометы Абе (C/1970 N1) принималось, что температура ионов хвоста кометы должна изменяться обратно пропорционально квадрату гелиоцентрического расстояния r^2 кометы. Однако на гелиоцентрическом расстоянии $r = 1$ а. е. использовались такие пределы температур, как при исследовании кометы Галлея [11]: $5 \cdot 10^5$ К (на порядок больше, чем для кометы Остин (C/1982 M1) [16], так как масштаб хвоста этой кометы был на порядок меньше, а следовательно, температура ионов ниже [17]) и $2 \cdot 10^6$ К.

Результаты оценок возможных физических условий в плазменном хвосте кометы Абе (C/1970 N1) для всех 24 моментов наблюдений приведены в табл. 2. Точность определения ускорения a зависит от точности гелиоцентрического расстояния кометы и равна $\Delta a \approx 10^{-8}$ см/с². Средние ошибки вычисления физических параметров хвоста приведены в последней строке. Приблизительно для половины моментов наблюдений время жизни τ светящихся частиц менее 10^5 с, однако все же близко к 10^5 с. В то же время при исследовании кометы Остин (C/1982 M1) [16] получены еще меньшие значения τ . Очень близкие значения средних для периодов наблюдений магнитных полей в плазменных хвостах комет Абе (C/1970 N1) ($B \approx 8.97$ нТл для нижнего предела температур) и Остин ($B \approx$

Таблица 2. Возможные физические условия в плазменном хвосте кометы Абе (C/1970 N1)

Дата, 1970 UT	a , $\text{см}^2/\text{с}$	τ , 10^4 с	D_{\parallel} , $10^{16} \text{ см}^2/\text{с}$	D_{\perp} , $10^{15} \text{ см}^2/\text{с}$	B , нТл
Сентябрь, 30.658	4.43	9.45	4.59	1.79	8.02...32.1
30.667	4.43	7.51	2.30	1.75	11.25...44.99
30.674	4.43	4.74	0.58	2.04	17.38...69.52
30.682	4.43	6.03	1.20	1.59	15.86...63.42
Октябрь, 1.609	4.46	8.51	1.22	2.07	13.56...54.26
1.627	4.46	10.35	2.20	2.13	10.38...41.53
1.634	4.46	24.26	28.38	2.74	2.67...10.67
1.656	4.46	7.10	1.11	2.15	13.73...54.91
1.673	4.46	9.55	1.73	2.17	11.42...45.67
2.603	4.49	8.81	2.15	1.69	12...48
2.610	4.49	11.61	4.93	2.61	6.46...25.84
2.617	4.49	10.83	4.01	2.98	6.63...26.51
2.625	4.49	8.51	1.94	2.94	9.19...36.76
2.634	4.49	11.61	4.94	4.75	4.68...18.71
2.655	4.49	15.48	11.70	5.22	2.98...11.92
3.625	4.52	12.14	7.47	2	6.12...24.48
3.634	4.52	9.53	3.61	2.23	8.18...32.73
3.640	4.52	11.07	5.67	2.03	6.95...27.79
5.590	4.58	6.73	1.78	2.58	10.50...41.98
5.598	4.58	7.38	2.34	2.50	9.48...37.91
5.606	4.58	9.62	5.19	1.71	8.03...32.10
5.617	4.58	13.43	14.12	2.11	4.42...17.67
7.629	4.64	119.59	7.59	1.52	6.06...24.23
7.636	4.64	41.35	1.52	3.55	9.27...37.08
		Средние ошибки			
		± 0.46	± 0.08	± 0.06	$\pm (0.28...1.1)$

≈ 10.3 нТл) [16], несмотря на выбор более высоких температур ионов для кометы Абе, частично объясняется большей солнечной активностью в период наблюдений кометы Остин (среднее число Вольфа $W = 156$ против $W = 74$ в случае кометы Абе). А также возможной большей «активностью» кометы после прохождения перигелия (комета Остин (C/1982 M1)), чем до этого события (комета Абе (C/1970 N1)). Комета Остин (C/1982 M1) находилась на более близких гелиоцентрических расстояниях, чем комета Абе (C/1970 N1); для периодов наблюдений, согласно указанным выше предположениям, температура ионов хвоста кометы Абе (C/1970 N1) изменялась от $3.7 \cdot 10^5$ К до $3.9 \cdot 10^5$ К, а кометы Остин (C/1982 M1) от $1.1 \cdot 10^5$ К до $5.7 \cdot 10^5$ К. Если при определении магнитного поля в плазменном хвосте кометы Остин (C/1982 M1) использовать значения температуры ионов согласно спутниковым данным (как и при исследовании кометы Абе (C/1970 N1), среднее значение магнитного поля в плазменном хвосте кометы Остин (C/1982 M1) в период наблюдений с 29 августа по 26 сентября 1982 г. будет составлять 46.82 нТл. Различия магнитных полей плазменных хвостов комет должны также объясняться индивидуальными физическими свойствами каждой кометы. В данном случае, это может быть связано с долгопериодичностью кометы Остин (C/1982 M1), а следовательно, возможным наличием в ней большего количества еще не сублимировавших льдов, осуществляющих этот процесс в период исследования, ионизацией молекул и увеличением концентрации флуоресцирующих ионов.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ХВОСТА И СОЛНЕЧНЫЕ ВСПЫШКИ

Исследовать влияние на магнитное поле в плазменном хвосте кометы абсолютно всех проявлений солнечной активности очень сложно и пока

невозможно из-за недостаточно полного изучения последних. Однако можно исследовать наличие связи изменения указанного параметра хвоста кометы с одним из наиболее изученных проявлений солнечной активности: потоком излучения в линии H_{α} во время хромосферных вспышек [7, 8]. В настоящей работе возможное влияние хромосферных вспышек на хвост кометы Абе (C/1970 N1) учитывается так же, как при аналогичном исследовании кометы Остин (C/1982 M1). Предположим, что в каждый момент наблюдений на физические свойства плазменного хвоста кометы должны воздействовать все солнечные вспышки в период, начиная с наиболее давних (относительно момента наблюдений), влияние которых могло бы осуществляться через вспышечную ударную волну с минимальной скоростью распространения (100 км/с [4]), и до влияния вспышки через электромагнитное излучение. Таким образом, учитываются и все другие проявления солнечной вспышки, скорости распространения которых находятся в указанных пределах (ударные волны вспышки с большими скоростями, высокоскоростные потоки солнечного ветра и другие). Считается также, что влияние i -й солнечной вспышки обратно пропорционально промежутку времени от ее максимума до момента наблюдения кометы. Для учета приведенных предположений предлагается описывать влияние солнечных вспышек на физические условия в плазменном хвосте кометы следующим выражением:

$$SSW = \sum_{i=1}^j \frac{E_i}{\Delta t_i}, \quad (4)$$

где j — количество вспышек, $E_i = S_i \cdot t_i \cdot I_i$ — полная энергия i -й хромосферной вспышки в линии H_{α} , S_i — площадь вспышки, t_i — продолжительность, I_i — интенсивность в центре линии H_{α} .

Для каждого момента наблюдений определялись гелиографические координаты проекции кометы на Солнце и учитывались солнечные вспышки [7, 8], которые произошли на видимой с кометы части диска Солнца (т. е. в точках, соответствующих гелиографическим координатам кометы $\pm 90^\circ$). По баллам вспышек, приведенным в работах [7, 8], и средним данным [1] определялись значения S_i и I_i . По данным табл. 2 можно выделить шесть групп (периодов) наблюдений.

В табл. 3 для каждой из шести близких по моментам наблюдений групп приведены средние значения B магнитного поля плазменного хвоста кометы Абе (C/1970 N1), полученные при использовании нижних границ температур, и значение SSW возможного влияния хромосферных вспышек на физические условия в плазменном хвосте кометы. При вычислениях площади вспышек S_i брались в единицах 10^{18} см², а интенсивности I_i для центра линии H_{α} — в единицах соседнего с H_{α} локального континуума. Как видно

Таблица 3. Средние (для каждой из шести близких по моментам наблюдений группы) значения магнитного поля B плазменного хвоста кометы Абе (C/1970 N1) (для нижних границ температур) и возможное влияние хромосферных вспышек на физические условия в плазменном хвосте кометы SSW

Дата, UT	B , нТл	SSW
Сентябрь, 30.67	13.13	720.4
Октябрь, 1.64	10.35	392.6
2.62	6.99	318.1
3.63	7.08	977.9
5.6	8.1	514
7.63	7.67	509.4

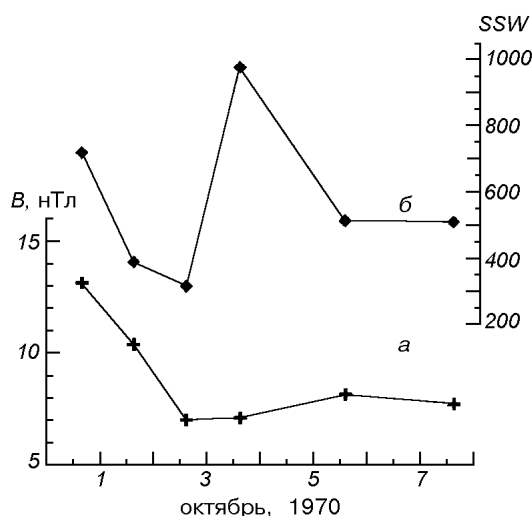


Рис. 3. Изменения среднего значения магнитного поля B , нТл (а) в плазменном хвосте кометы Абе (C/1970 N1) и возможного влияния солнечных вспышек SSW (б) для периода с 30 сентября по 8 октября 1970 г.

из рис. 3, наблюдается некоторая связь между изменениями магнитного поля в плазменном хвосте кометы Абе (C/1970 N1) и предложенным параметром SSW возможного влияния хромосферных вспышек. Однако не проявилась реакция магнитного поля хвоста кометы на солнечные вспышки для четвертой группы моментов наблюдений. Возможно, это связано с нахождением кометы близ секторной границы межпланетного магнитного поля, а следовательно, с малым внешним магнитным полем. Подтверждением этого предположения служат данные работы [6]: в указанный промежуток времени угол отклонения оси хвоста кометы Абе (C/1970 N1) от продолженного радиуса-вектора имел максимальное по модулю отрицательное значение (произошло смещение плазменного хвоста за радиус-вектор в сторону движения кометы по орбите), что, согласно результатам исследований В. П. Таращук [6], может быть связано с пересечением кометой границы секторов межпланетного магнитного поля. Если исключить четвертую группу наблюдений из рассмотрения, то коэффициент корреляции [2] между солнечными явлениями и магнитным полем хвоста кометы составит $k = 0.73$, что говорит о возможном воздействии солнечных вспышек на состояние плазменного хвоста кометы.

Среднее значение величины возможного влияния солнечных вспышек в период наблюдения кометы Абе (C/1970 N1) $W \approx 531.75$ меньше, чем аналогичный параметр в указанный период исследований кометы Остин (C/1982 M1) $W \approx 688.59$, что также может служить для объяснения более слабого магнитного поля в плазменном хвосте кометы Абе (C/1970 N1).

ВЫВОДЫ

Согласно нижним оценкам ускорения ионов плазменного хвоста кометы Абе (C/1970 N1) в период с 30 сентября по 8 октября 1970 г., этот физический параметр возрос от 4.43 до 4.64 см/с², что связано с приближением кометы к Солнцу. При использовании диффузионной модели найдена верхняя оценка среднего времени жизни светящихся частиц (τ изменяется в пределах $4.74 \cdot 10^4$ — $11.96 \cdot 10^5$ с), нижние оценки коэффициентов диффузии: продольный — $D_{\parallel} = 5.79 \cdot 10^{15} \dots 2.84 \cdot 10^{17}$ см²/с и поперечный — $D_{\perp} = 1.59 \cdot 10^{15} \dots 5.22 \cdot 10^{15}$ см²/с. Магнитное поле B плазменного хвоста кометы Абе (C/1970 N1) колебалось в пределах от 2.68—10.72 нТл до 17.38—69.52 нТл, что должно быть связано с изменениями солнечной активности

(солнечными вспышками и др.) и условиями в обтекающей комету солнечном ветре (межпланетным магнитным полем и др.).

1. Алтынцев А. Т., Банин В. Г., Куклин В. Г. и др. Солнечные вспышки. — М.: Наука, 1982.—248 с.
2. Бабак В. П., Хандецкий В. С., Шрюфер Е. Обробка сигналів. — Київ: Либідь, 1996.—390 с.
3. Коноплева В. П., Назарчук Г. К., Шульман Л. М. Поверхностная фотометрия комет. — Киев: Наук. думка, 1977.—265 с.
4. Мирошниченко Л. И. Солнечно-земные связи // Физика космоса. Маленькая энциклопедия. — М.: Сов. энциклопедия., 1986.—С. 629—632.
5. Назарчук Г. К., Шульман Л. М. Диффузионная модель хвоста кометы // Проблемы космич. физики.—1968.—Вып. 3.—С. 11—24.
6. Таращук В. П. О связи кометной активности со структурой солнечного ветра // Проблемы космич. физики.—1978.—Вып. 13.—С. 99—107.
7. Хромосферные вспышки // Солнеч. данные.—1970.—№ 9.—С. 53—54.
8. Хромосферные вспышки // Солнеч. данные.—1970.—№ 10.—С. 61.
9. Чурюмов К. И. О колебаниях плазменных хвостов комет Абе (1970 XV), Когоутека XII и Веста (VD) // Определение координат небесных тел. — Рига, 1981.—С.70—75.
10. Чурюмов К. И., Кравцов Ф. И. Абсолютная фотометрия и поляриметрия головы кометы Абе // Проблемы космич. физики.—1974.—Вып. 9.—С. 129—134.
11. 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.
12. Шабас Н. Л. Исследование плазменного хвоста кометы Абе(1970 XV) с помощью диффузионной модели // Тр. Міжнар. семінару пам'яті професорів КУ С. К. Всехсвятського та А. Ф. Богородського (1994 р.) та Третіх міжнародних Всехсвятських читань (1995 р.). Статті та тези доповідей / Під ред. К. І. Чурюмова. — Київ, 1998.—С. 37—38.
13. Шабас Н. Л. Фізичні параметри плазмового хвоста комети 67 P Чурюмова—Герасименко // Вісник. Київ. ун-ту. Астрономія.—1999.—Вип. 35.—С. 80—83.
14. Шабас Н. Л. Плазмові хвости комет // Тр. Першої міжнародної конференції КАММАК99 / Під ред. К. І. Чурюмова. — Вінниця, 2000.—С. 191—197.
15. Шабас Н. Л. Зміна умов у сонячному вітрі та фізичні параметри плазмового хвоста комети 1P/Галлея // Вісн. Київ. ун-ту. Астрономія.—2001.—Вип. 37.—С.73—76.
16. Шабас Н. Л., Дьяконова В. Д., Кравцов Ф. И., Чурюмов К. И. Изменения физических условий в плазменном хвосте кометы Остин // Кинематика и физика небес. тел.—2001.—17, № 5.—С. 403—408.
17. Wegman R., Schmidt H. U., Huebner W. F., et al. Cometary MHD and chemistry // Astron. and Astrophys.—1987.—187.—P. 339—350.

Поступила в редакцию 07.05.02