

$n_{ог}$. Действительно, при малых C ($C \sim 10^{-5} \div 10^{-14}$) $\tau \ll 1$ и выражение (12) можно записать в виде

$$\bar{\tau} = \ln \frac{1}{1 - \beta n_{ог}} \cong \ln(1 + \beta n_{ог}) \cong \beta n_{ог}. \quad (19)$$

При принятых нами данных $\beta = 6.10 \cdot 10^{-18}$.

Поскольку порядок величин R_0 и R у всех комет примерно одинаков, то при известном $A_{эф}$ по соотношению (19) можно определить $n_{ог}$ для комет с чисто газовыми оболочками. В случае «запыленных» кометных атмосфер, зная $A_{эф}$ и порядок $\bar{\tau}$, по соотношениям (17) и (18) можно оценить величину a , входящую в выражение (7).

ЛИТЕРАТУРА

1. Добровольский О. В. Нестационарные процессы в кометах и солнечная активность Изд-во АН Тадж. ССР, Душанбе, 1961.
2. Маркович М. З. и Туленкова М. И. — Кометы и метеоры. «Дониш», Душанбе, 1969, 17.
3. Маркович М. З. — Кометы и метеоры. «Дониш», Душанбе, 1968, 16.
4. Маркович М. З. — В кн.: Активные процессы в кометах. «Наукова думка», К., 1967, 81.
5. Мартынов Д. Я. Курс общей астрофизики. «Наука», М., 1965.
6. Ошеров Р. С. — В кн.: Физика комет и метеоров. «Наукова думка», К., 1966, 67.
7. Ошеров Р. С. — Кометы и метеоры. «Дониш», Душанбе, 1967, 15, 26.

THE ROLE OF EFFECTIVE ALBEDO IN COMET PHOTOMETRY

O. V. DOBROVOLSKY, M. Z. MARKOVICH, R. S. OSHEROV

Summary

Connection is established between the effective albedo and mean optical depth of a comet head. The numerical values are given of the optical depth for gaseous and dust atmosphere of a comet.

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМЕТЫ ЭНКЕ

М. З. Маркович, Л. Н. Туленкова

(Калининский политехнический институт)

Замечательная комета Энке, открытая в 1786 г., отличается очень коротким периодом обращения вокруг Солнца (3.3 года) и его изменчивостью. С момента открытия было 55 возвращений кометы к Солнцу, из них наблюдалось 47. Наблюдения показывают систематическое, с отдельными всплесками, падение блеска этой кометы [2—4, 23]. Абсолютный блеск кометы хорошо коррелирует с солнечной активностью [10, 11]. Комета Энке обладает также некоторыми специфическими особенностями, отличающими ее от других комет и вызванными, по-видимому, особым строением ее ядра. Так, зависимость блеска кометы, редуцированного к $\Delta = 1$ а. е. (Δ — геоцентрическое расстояние кометы), от гелиоцентрического расстояния r резко отличается от аналогичных зависимостей для других комет [11]. Газовая производительность кометы Q (число молекул, вылетающих в единичном телесном угле в данном направлении в единицу времени) примерно на порядок меньше, чем у других комет, имеющих, как и комета Энке, газовые оболочки без существенных признаков пыли [14].

Визуальные оценки блеска кометы m и диаметра головы $2R$ использованы для получения некоторых количественных характеристик ядра (масса, радиус, средняя плотность) и выяснения его структуры.

Указанные наблюдательные данные позволяют вычислить эффективное альbedo $A_{эф}$, общее число молекул C_2 в голове N , число молекул в 1 см^3 вблизи поверхности ядра n_0 , газовую производительность кометы Q и эффективный радиус ядра R_0 . При этом ядро рассматривается как шар, хотя в действительности форма его, по-видимому, неправильная.

Эффективное альbedo, введенное Ошеровым [18], определяется выражением:

$$A_{эф} = 2.02 \cdot 10^{15} \frac{\Delta^2 r^{2.512-m}}{R^2}, \quad (1)$$

где Δ и r выражены в *a. e.*, m — наблюдаемая яркость кометы в звездных величинах, R — радиус головы в *см.*

Согласно [5],

$$N = 3.6 \cdot 10^{33} \Delta^2 r^{10-0.4m}. \quad (2)$$

Как показано в [7],

$$A_{эф} = a \bar{\tau} \quad (a \text{ — постоянная}),$$

где $\bar{\tau}$ — средняя оптическая толщина атмосферы кометы, причем в случае чисто газовой оболочки $a \cong 1$ и

$$A_{эф} = \bar{\tau} = \alpha n_0. \quad (3)$$

Коэффициент $\alpha \sim \sigma \frac{R_0^2}{R}$, где σ — эффективное сечение молекулы C_2 для резонансного переизлучения солнечного света ($\sigma = 1.15 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$ [14]).

Отношение $\frac{R_0^2}{R}$ нам неизвестно. Однако многочисленные измерения R для разных комет и косвенные данные о R_0 показывают, что величины R_0^2 и R примерно одинаковы ($R_0 \sim 10^5 \text{ см}$, $R \sim 10^{10} \text{ см}$). Поэтому примем:

$$\frac{R_0^2}{R} = 1. \quad (4)$$

При принятых предположениях n_0 , вычисленное по соотношению (3), имеет ошибку Δn_0 , в которую входят ошибки наблюдений и погрешность, связанная с допущением (4), где $\alpha = 3.67 \cdot 10^{-18}$ [7].

Согласно данным работы [14],

$$Q = \frac{v_0 N}{2\pi^2 R} = 5.07 \cdot 10^{-2} \frac{N v_0}{R}, \quad (5)$$

где v_0 — начальная скорость молекул. При $v_0 = 3 \cdot 10^5 \text{ см/сек}$ [17]

$$Q = 1.52 \cdot 10^4 \frac{N}{R}. \quad (5')$$

Полагая

$$Q = n_0 v_0 R_0^3 \quad (6)$$

и сравнивая (6) и (5), получим выражение для определения эффективного радиуса ядра кометы:

$$R_0 = 1.233 \sqrt{\frac{N}{n_0 v_0 R}}, \quad (7)$$

или

$$R_0 = 0.225 \sqrt{\frac{N}{n_0 R}} \quad (v_0 = 3 \cdot 10^5 \text{ см/сек}). \quad (7')$$

Относительная ошибка при вычислении R_0 по (7')

$$\delta R_0 = 0.5(\delta N + \delta n_0 + \delta R), \quad (8)$$

где δN , δn_0 и δR — относительные ошибки величин N , n_0 и R . При этом δN и $\delta A_{\text{эф}}$ в основном определяются ошибкой экспоненциального множителя ((1) и (2)). Как известно, ошибка Δt при визуальных оценках блеска комет составляет 0.2—0.3 звездной величины [2]. Отсюда δN и $\delta A_{\text{эф}}$ не превысят 20—30% [14]. Из соотношения (3) следует:

$$\delta n_0 = \delta a + \delta A_{\text{эф}}, \quad (8')$$

где δa — ошибка, вызванная допущением (4), заранее нам неизвестная. Положим $\delta a \approx \delta A_{\text{эф}}$. Тогда, согласно (8), для каждого вычисленного значения R_0 предельная относительная ошибка — порядка 30—45%.

Выражения (1—3), (5') и (7') применялись для интерпретации данных наблюдений кометы Энке, собранных в каталогах С. К. Всеявского [2—4]. Были использованы 86 оценок блеска и диаметра головы кометы в 34 ее появлениях. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Обознач. кометы	Дата наблюдения		r , а.е.	Δ , а.е.	Радиус головы $R \cdot 10^{-9}$, см	N	$A_{\text{эф}}$	$n_0 \cdot 10^{-10}$, см $^{-3}$	Радиус ядра $R_0 \cdot 10^{-4}$, см	$Q \cdot 10^{-24}$, см 1/стеррад \times \times сек
1795	11 нояб.	1795 г.	0.96	0.27	2.97	$1.53 \cdot 10^{30}$	$0.97 \cdot 10^{-7}$	2.65	3.14	7.83
1805	22 окт.	1805 г.	0.80	0.46	4.54	4.90	1.33	3.62	3.91	15.80
1829	30 нояб.	1829 г.	0.99	0.48	9.50	8.14	0.51	1.38	5.63	13.20
1838	29 сент.	1838 г.	1.57	0.72	2.38	$2.88 \cdot 10^{29}$	0.29	0.78	2.82	1.84
	24 окт.		1.21	0.36	6.34	6.84	0.96	2.60	1.46	1.58
	12 нояб.		0.86	0.27	5.35	1.94	0.38	1.04	1.33	0.55
1842	I 9 апр.	1842 г.	0.37	0.90	1.98	$2.52 \cdot 10^{30}$	3.62	9.86	2.58	1.93
1848	II 24 сент.	1848 г.	1.32	0.62	10.90	$2.41 \cdot 10^{31}$	1.14	3.10	6.04	33.60
1852	I 11 янв.	1852 г.	1.33	1.51	4.98	$3.64 \cdot 10^{29}$	$8.22 \cdot 10^{-9}$	0.24	3.93	1.11
	8 февр.		0.90	0.44	1.93	$0.89 \cdot 10^{28}$	1.34	0.04	2.51	0.0686
1855	III 13 июля	1855 г.	0.48	0.94	3.10	$1.84 \cdot 10^{30}$	$1.08 \cdot 10^{-7}$	2.94	3.21	9.03
1858	VIII 10 сент.	1858 г.	0.94	0.95	4.08	1.81	0.61	1.67	1.17	0.676
1862	I 22 нояб.	1861 г.	1.45	0.94	7.24	1.06	0.11	0.31	4.93	2.22
	21 дек.		1.06	0.89	8.80	2.02	0.15	0.40	5.43	3.50
1862	I 7 март.	1862 г.	0.78	1.28	6.55	$0.90 \cdot 10^{30}$	$0.12 \cdot 10^{-7}$	0.32	4.68	2.08
1868	III 29 авг.	1868 г.	0.55	1.24	4.38	1.67	0.49	1.33	3.82	5.80
1871	V 6 окт.	1871 г.	1.61	0.68	10.50	0.68	$0.35 \cdot 10^{-8}$	0.10	5.90	0.985
	29 нояб.		0.80	0.35	8.46	1.12	0.86	0.24	5.34	2.01
	2 дек.		0.74	0.36	7.44	2.57	0.26	0.71	5.00	5.25
1875	II 9 апр.	1875 г.	0.35	0.93	5.10	1.30	0.28	0.77	4.11	3.88
1878	II 3 авг.	1878 г.	0.40	1.17	5.15	2.88	6.18	1.68	4.14	8.50
1881	VII 25 авг.	1881 г.	1.60	1.28	11.30	0.60	0.26	0.07	6.15	0.81
	6 нояб.		0.44	0.87	0.96	1.33	$8.17 \cdot 10^{-7}$	22.20	1.79	21.10
1888	II 25 июля	1888 г.	0.73	0.73	3.22	0.41	$2.20 \cdot 10^{-8}$	0.60	3.28	1.92
	3 авг.		0.89	0.72	3.17	0.23	1.31	0.36	3.26	1.12
1891	III 1 авг.	1891 г.	1.53	1.60	2.64	0.004	3.48	0.95	0.29	0.0248
	7 сент.		0.98	1.00	4.40	1.38	3.98	1.08	3.84	4.74
1895	I 2 дек.	1894 г.	1.31	0.90	9.90	0.32	$1.80 \cdot 10^{-7}$	4.91	0.58	0.486
	28 дек.		0.94	0.85	5.62	1.45	$2.58 \cdot 10^{-8}$	0.70	4.34	3.92
	15 янв.	1895 г.	0.62	0.72	3.17	1.63	9.15	2.49	3.26	7.80
1898	III 26 июня	1898 г.	0.79	0.35	1.93	0.18	2.68	0.73	2.53	1.40
	10 июля		1.03	0.28	3.39	0.047	2.30	0.63	1.07	0.211
1901	II 19 авг.	1901 г.	0.74	1.29	4.27	$2.07 \cdot 10^{30}$	$6.36 \cdot 10^{-8}$	1.73	3.78	7.37
	22 авг.		0.68	1.27	7.00	2.68	3.07	0.84	4.84	5.82

Обознач. кометы	Дата наблюдения	$r, \text{ а. е.}$	$\Delta, \text{ а. е.}$	Радиус головы $R \cdot 10^{-9}, \text{ см}$	N	$A_{\text{эф}}$	$n_0 \cdot 10^{-10},$ см^{-3}	Радиус ядра $R_0 \cdot 10^{-4}, \text{ см}$	$Q \cdot 10^{-25},$ $1/\text{степад} \cdot \text{Xсек}$	
1905	I 8 нояб. 1904 г.	1.33	0.54	3.56	0.074	0.33	0.09	3.56	0.316	
		1.04	0.49	5.40	0.41	0.78	0.21	4.25	1.15	
		1.03	0.49	7.55	0.44	0.43	0.12	5.02	0.883	
		0.94	0.48	5.32	0.99	1.96	0.53	4.20	2.83	
		0.84	0.48	5.28	2.32	4.67	1.27	4.20	6.69	
1908	I 8 июня 1908 г.	0.73	0.49	5.40	1.53	2.93	0.80	4.27	4.31	
		0.93	0.34	2.24	0.09	1.01	0.28	2.74	0.612	
1911	III 31 июля 1911 г.	0.59	0.45	0.50	$0.25 \cdot 10^{29}$	5.78	1.57	1.29	0.658	
		0.91	1.34	1.47	3.38	8.79	2.39	2.22	3.50	
1914	VI 20 сент. 1914 г.	1.49	0.78	0.86	0.12	0.93	0.25	1.71	0.219	
		0.98	0.31	4.91	3.32	0.77	0.21	4.05	1.02	
		0.95	0.30	5.62	0.46	0.08	0.02	4.34	0.125	
1918	I 12 март. 1918 г.	0.47	1.00	3.30	6.62	3.42	0.93	3.32	3.03	
1924	III 24 авг. 1924 г.	1.39	1.22	0.74	0.10	1.06	0.29	1.58	0.214	
		1.34	1.15	3.28	0.14	0.07	0.02	3.32	0.0625	
1924	III 5 сент. 1924 г.	1.22	1.04	4.57	$0.58 \cdot 10^{29}$	$0.16 \cdot 10^{-8}$	0.04	3.94	0.193	
		0.66	0.83	2.75	7.10	12.70	3.47	3.03	9.45	
1928	II 13 нояб. 1927 г.	1.78	1.09	0.96	0.05	0.33	0.09	1.79	0.0855	
		0.82	0.99	4.38	$9.43 \cdot 10^{30}$	27.40	7.47	3.84	32.80	
1934	III 15 июля 1934 г.	0.52	0.80	3.52	2.48	11.20	3.06	3.44	10.70	
		1.31	1.76	1.55	$0.19 \cdot 10^{29}$	0.45	0.12	2.28	0.189	
		1.26	1.61	1.06	0.23	1.17	0.32	1.88	0.336	
		0.66	1.32	0.87	10.90	80.10	21.80	1.71	19.00	
1937	VI 7 окт. 1937 г.	0.62	1.30	0.86	9.29	71.00	19.10	1.78	16.40	
		1.58	0.62	0.41	0.03	1.15	0.31	1.18	0.128	
		1.28	0.49	5.40	2.24	0.43	0.12	4.36	0.630	
1941	V 25 янв. 1941 г.	0.78	0.34	4.49	8.39	2.32	0.63	3.89	2.84	
		1.58	1.99	1.53	0.09	0.21	0.06	2.26	0.0886	
		1.25	1.90	1.67	0.20	0.41	0.11	2.35	0.186	
		1.23	1.88	2.91	0.30	0.20	0.05	3.12	0.158	
1947	XI 15 окт. 1947 г.	1.22	1.87	4.66	0.47	0.06	0.02	5.56	0.154	
		1.00	0.46	4.05	0.30	0.10	0.03	3.66	0.114	
1951	III 1 нояб. 1950 г.	2.16	1.49	1.64	$0.04 \cdot 10^{29}$	$0.008 \cdot 10^{-8}$	0.002	7.36	0.0346	
		2.12	1.48	1.63	0.04	0.75	0.20	0.74	0.0330	
		1951 г.	1.37	1.49	11.50	0.006	0.0003	0.00007	6.21	0.00079
			1.11	1.42	11.00	3.55	0.16	0.045	6.06	0.490
		0.92	1.32	11.90	4.39	0.17	0.047	6.54	0.560	
		0.84	1.27	5.60	1.62	0.29	0.079	4.34	0.440	
		0.66	1.12	14.80	6.48	0.17	0.045	7.03	0.664	
		0.64	1.11	12.20	5.98	$2.24 \cdot 10^{-9}$	0.061	6.42	0.745	
		0.59	1.07	13.00	7.49	2.48	0.068	6.60	0.876	
		0.55	1.04	15.10	8.14	2.00	0.054	7.10	0.819	
		0.54	1.02	14.80	8.32	2.14	0.058	7.00	0.854	
		0.54	1.02	3.37	6.30	31.10	0.848	3.34	2.84	
		0.49	0.95	12.50	8.57	3.10	0.084	6.40	1.04	
		0.48	0.93	12.50	8.60	3.10	0.084	6.40	1.04	
		0.48	0.93	14.30	2.37	0.65	0.018	6.92	0.252	
0.47	0.91	12.00	8.71	3.39	0.092	6.33	1.10			
0.45	0.89	9.80	9.11	5.33	0.145	5.71	1.41			
1957	VIII 24 авг. 1957 г.	1.23	1.21	6.00	$1.25 \cdot 10^{29}$	$1.10 \cdot 10^{-9}$	0.030	5.15	0.237	
1961	I 5 янв. 1961 г.	0.82	0.79	8.56	1.51	1.16	0.032	5.34	0.268	
		0.63	0.72	12.70	4.25	1.48	0.040	6.51	0.507	

В табл. 2 даны средние для каждого появления значения n_0 и Q . Рис. 1 и 2 показывают явное падение (с отдельными всплесками) газовой производительности кометы со временем (по оси абсцисс отложены номера рассмотренных появлений кометы). Значения \bar{n}_0 и \bar{Q} сопоставлены со среднемесячными и в ряде случаев, когда наблюдения охватывали период примерно 3 месяца, среднеквартальными числами Вольфа, а также со среднегодовыми значениями площади факелов S

и средней дневной для данного года суммарной площадью профиля протуберанцев P . Числа W взяты в [23] и [1], S и P — в [23]. Вычислены коэффициенты корреляции ρ_1 между \bar{n}_0 и W , ρ_2 — между \bar{n}_0 и S , ρ_3 — между \bar{n}_0 и P . Получены следующие результаты: $\rho_1=0.49$ (число пар коррелируемых величин $\nu=34$, доверительный интервал $0.22 < \rho_1 < 0.76$ с вероятностью 0.95 [20]); $\rho_2=0.63$ ($\nu=11$, доверительный интервал $0.34 < \rho_2 < 0.81$ с той же вероятностью определен по способу Р. Фишера

Таблица 2

Комета	\bar{n}_0	\bar{Q}	W	$10^{-6} \frac{S}{S_{\odot}}$	P
1795	$2.65 \cdot 10^{10}$	$7.83 \cdot 10^{24}$	25.0		
1805	3.62	15.80	29.4		
1829	1.38	13.20	67.6		
1838	1.47	1.32	82.7*		
1842 I	9.86	1.93	26.9		
1848 II	3.10	33.60	100.3		
1852 I	0.138	0.59	65.7*		
1855 III	2.94	9.03	0.40		
1858 VIII	1.67	0.676	80.1		
1862 I	0.342	2.60	62.1*		
1868 III	1.33	5.80	43.8		
1871 V	0.315	2.75	97.8		
1875 II	0.766	3.88	29.1		
1878 II	1.68	8.50	0.0		
1881 VII	11.14	10.96	56.4		
1888 II	0.478	1.52	2.9		
1891 III	1.015	2.50	44.5		
1895 I	2.70	4.08	70.6		
1898 III	0.678	0.80	15.6		
1901 II	1.283	6.59	1.0	29	
1905 I	0.504	2.70	80.5*	2612	
1908 I	0.275	0.612	39.5	2098	
1911 III	1.98	2.08	3.7	459	182
1914 VI	0.162	0.455	10.4	454	346
1918 I	0.931	3.03	72.2	1882	927
1924 III	$0.955 \cdot 10^{10}$	$2.38 \cdot 10^{24}$	23.3	575	511
1928 II	3.54	14.50	74.7	2589	836
1934 III	10.30	8.98	8.8	354	454
1937 VI	0.354	1.20	99.6	3505	1108
1941 V	0.0604	0.146	45.0	1282	645
1947 XI	$2.84 \cdot 10^8$	0.088**	163.6		2035
1951 III	11.40	0.776	55.2*		
1957 VIII	3.00	0.237	158.0		
1961 I	3.60	0.388	57.9		

* Среднеквартальные числа Вольфа.

** Среднее значение по данным наблюдений Бейера.

[9]); $\rho_3=0.16$ ($\nu=9$, доверительный интервал — $0.48 < \rho_3 < 0.69$). Таким образом, наиболее уверенно отмечается корреляция между \bar{n}_0 и S . Аналогичный результат — активность комет наиболее тесно связана с факельными полями — получен О. В. Добровольским [5].

Известный интерес представляет сопоставление по времени характеристик Q , $A_{\text{эф}}$ и R , определенных для одинаковых или близких гелиоцентрических расстояний. На рис. 3—6 даны вычисленные в разных появлениях при близких r величины $\lg Q$, $\lg A_{\text{эф}}$ и $\lg R$, а также соответствующие среднемесячные числа Вольфа. Очень хорошо заметно падение со временем величин Q и $A_{\text{эф}}$, а следовательно, и \bar{n}_0 . При $r < 1$ а. е. корреляция Q и $A_{\text{эф}}$ с W нет. Однако при $r=1.31—1.34$ а. е. ход величин полностью совпадает. По-видимому, по мере удаления от Солнца воздействие корпускулярной радиации на ядро кометы Энке становится более существенным, чем воздействие тепловой радиации.

Величина R_0 , вычисленная по (7'), оказалась весьма устойчивой: она не обнаруживает никакого определенного хода со временем, порядок ее — 10^4 см постоянен, лишь в трех случаях из 86— 10^3 см. На

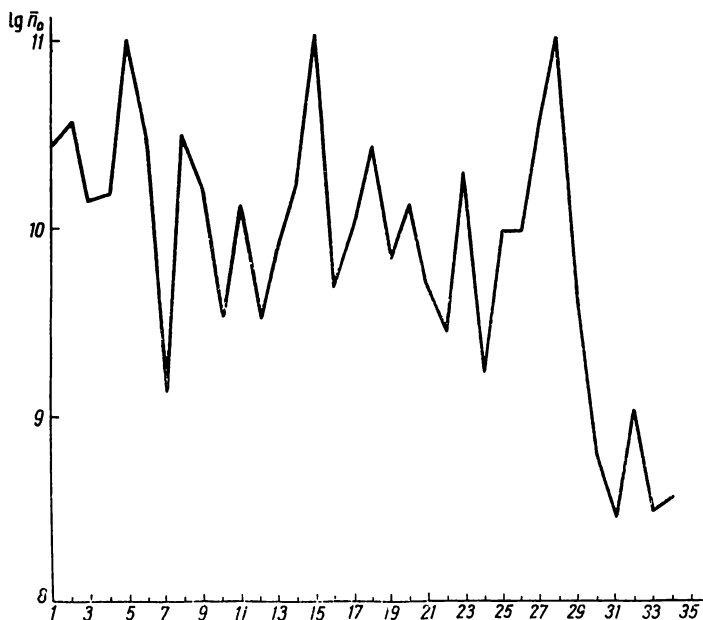


Рис. 1. Вековое изменение средней концентрации молекул вблизи поверхности ядра.

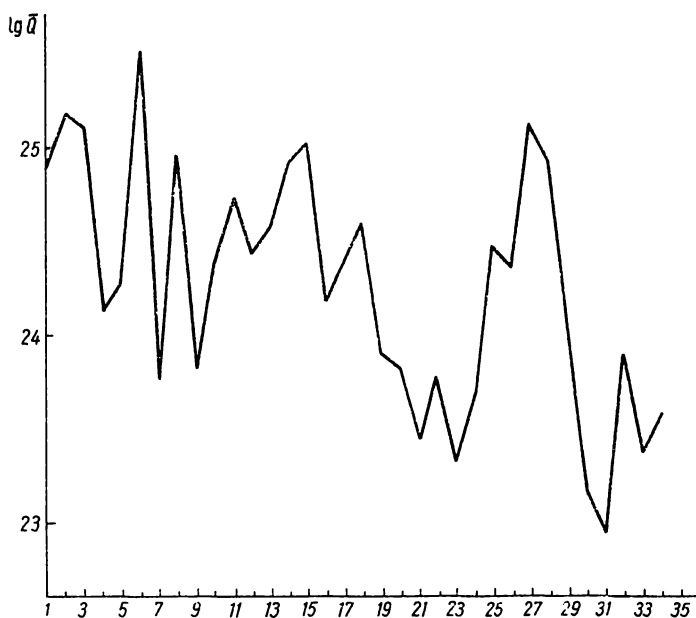


Рис. 2. Вековое изменение средней газовой производительности кометы \bar{Q} (по оси абсцисс обозначены появления кометы, см. табл. 2).

рис. 7 представлена гистограмма распределения величины R_0 , из которой видно, что полученное распределение близко к нормальному. Более подробный анализ подтверждает это предположение. Как известно,

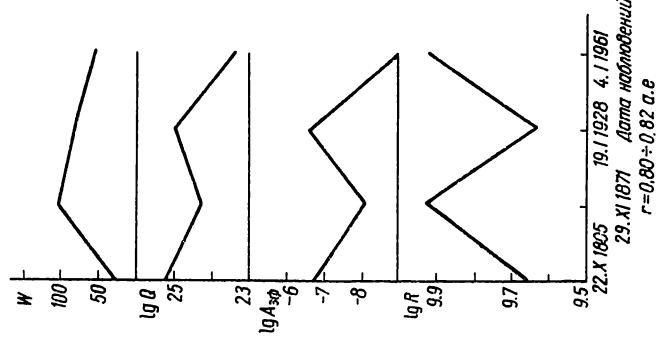


Рис. 3. Величины $\lg R$, $\lg A_{эф}$, $\lg Q$, W для $r = 0.80 \pm 0.82$ а. е. и разных дат наблюдений.

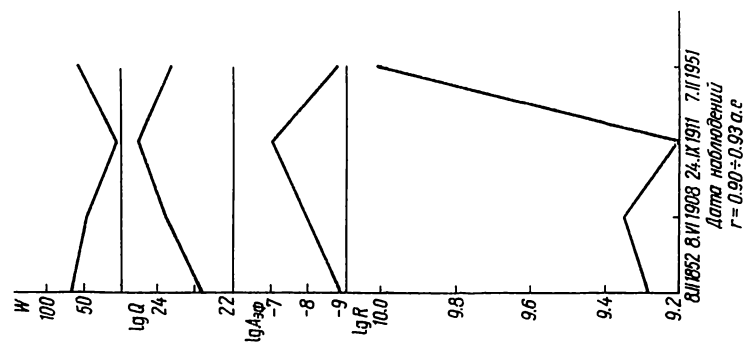


Рис. 4. Величины $\lg R$, $\lg A_{эф}$, $\lg Q$, W для $r = 0.90 \pm 0.93$ а. е. и разных дат наблюдений.

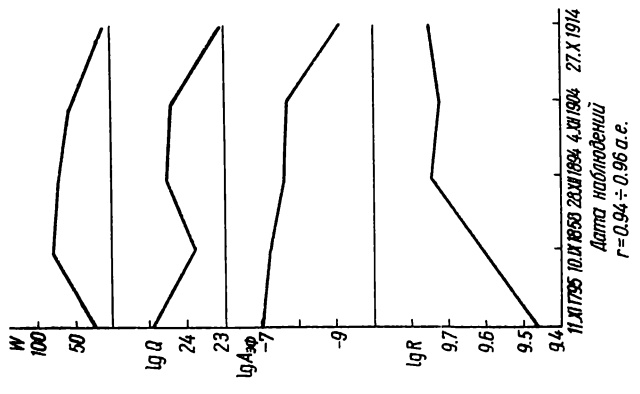


Рис. 5. Величины $\lg R$, $\lg A_{эф}$, $\lg Q$, W для $r = 0.94 \pm 0.96$ а. е. и разных дат наблюдений.

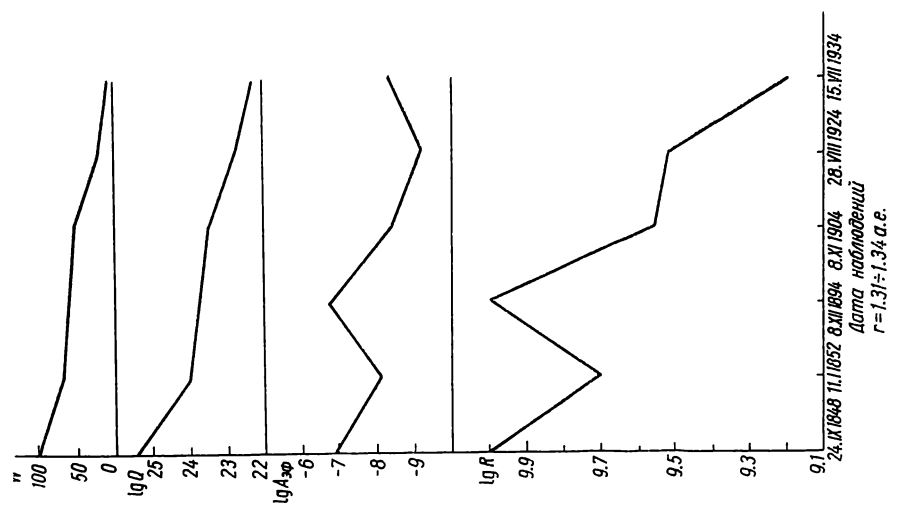


Рис. 6. Величины $\lg R$, $\lg A_{эф}$, $\lg Q$, W для $r = 1.31 \pm 1.34$ а. е. и разных дат наблюдений.

в случае нормального распределения отклонение $R_0 - \bar{R}_0$ (\bar{R}_0 — среднее значение R_0) не должно по абсолютной величине превышать 3σ [21]. В нашем случае ($\bar{R}_0 = 3.9 \cdot 10^4$, $\sigma = 1.82 \cdot 10^4$) это условие полностью соблюдается. Для нормального распределения также должны выполняться соотношения:

$$\frac{\mu_1}{\sigma} = \frac{\mu_3}{\sigma^3} = \frac{\mu_5}{\sigma^5} = \dots = 0; \quad \frac{\mu_4}{\sigma^4} = 3,$$

где μ_i — центральные моменты распределения [21]. Для рассматриваемого распределения

$$\frac{\mu_1}{\sigma} = 0.0031; \quad \frac{\mu_3}{\sigma^3} = 0.0058; \quad \frac{\mu_4}{\sigma^4} = 2.03.$$

Отсюда можно заключить, что эффективный радиус ядра кометы Энке R_0 практически не меняется со временем, а разброс полученных значений R_0 объясняется случайными ошибками наблюдений. Таким образом, для R_0 получаем:

$$R_0 = (3.9 \pm 0.2) \cdot 10^4 \text{ см.}$$

Это не подтверждает предположения Уиппла о линейном убывании диаметра ядра кометы Энке со временем [27].

Из неизменности размеров ядра кометы Энке можно сделать определенные выводы о его возможном строении.

Одним из вариантов является известная модель Уиппла [25, 26]. На поверхности ядра — конгломерата льдов и тугоплавких частиц — в результате испарения льдов постепенно возникает мелкодисперсный поверхностный слой, затрудняющий испарение льдов ядра. Толщина этого слоя в случае круговой орбиты увеличивается по закону:

$$l = l_0 \sqrt{1 + \beta t}, \quad (9)$$

где l_0 и β — постоянные [12]. Формулу (9) можно применять и для эллиптической орбиты, если считать, что в единицу времени единица площади поверхности ядра получает среднее во времени количество солнечного тепла для данной орбиты. Интенсивность испарения газов (а следовательно, и газовая производительность кометы)

$$Q \sim t^{-1} \sim (1 + \beta t)^{-\frac{1}{2}}, \quad (10)$$

где t — возраст кометы [12, 19]. Положим

$$Q = \frac{Q_0}{\sqrt{1 + \beta t}}, \quad (10')$$

где Q_0 — газовая производительность в некоторый начальный момент $t=0$.

Другая возможность состоит в следующем: ядро представляет собой пористую тугоплавкую матрицу, поры которой заполнены льдом.

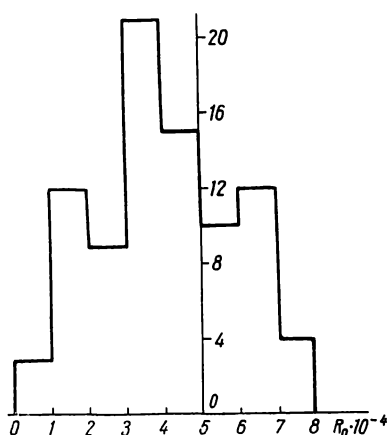


Рис. 7. Гистограмма распределения величины R_0 по данным табл. 1.

Поры достаточно крупные, так что по мере испарения льдов поверхностный дисперсный слой не образуется. Форма пор неправильная, размеры — разные. Этим объясняются отдельные всплески газопроизводительной деятельности кометы (см. рис. 2). В процессе испарения льдов ядра вскрываются более или менее крупные поры, частично или полностью заполненные льдом, что приводит к значительным колебаниям величины площади испаряющейся ледяной поверхности.

Фиксируемая при визуальных наблюдениях потеря массы ядра за время dt

$$dM = -4\pi Q m_{c_2} dt \quad (m_{c_2} = 3.99 \cdot 10^{-23} \text{ г}). \quad (11)$$

Рассмотрим отношение dM/M , где M — масса ядра кометы в данный момент времени:

$$M = \frac{4}{3} \pi R_0^3 \delta_{\text{я}},$$

$\delta_{\text{я}}$ — средняя плотность ядра.

Учитывая соотношение (6), получим:

$$\frac{dM}{M} = - \frac{3n_0 v_0 m_{c_2}}{R_0 \delta_{\text{я}}}.$$

Естественно предположить, что средняя интенсивность выделения газовой массы из ядра пропорциональна $\delta_{\text{я}}$, т. е.

$$n_0 v_0 m_{c_2} = \gamma \delta_{\text{я}}, \quad (12)$$

где γ — постоянная. Тогда

$$\frac{dM}{M} = -\lambda dt, \quad (13)$$

$$\lambda = \frac{3\gamma}{R_0}, \quad (14)$$

$$M = M_0 e^{-\lambda t}. \quad (15)$$

Уравнение (13) аналогично дифференциальному уравнению радиоактивного распада.

Из (11) и (15) получаем для производительности молекул C_2 :

$$Q = Q_0 e^{-\lambda t}, \quad (16)$$

$$Q_0 = \frac{\lambda}{4\pi m_{c_2}} M_0. \quad (16')$$

Предположение о том, что в областях, близких к афелию, происходит пополнение массы ядра в результате налипания на него молекул газа и пыли, явно противоречит наблюдаемому вековому падению газовой производительности кометы и потому не может быть принято. Вблизи афелия ($r \sim 4.1 \text{ а.е.}$) нет молекул и пыли, которые могут взаимодействовать с ядром кометы.

По данным табл. 1 получены способом наименьших квадратов коэффициенты выражения:

$$\lg Q = \lg Q_0 - bt,$$

$\lg Q_0 = 25.0 \pm 0.2$, $b = 0.008 \pm 0.002$, или $Q_0 = 10^{25}$, $\lambda = 0.018$, t — в годах. Затем по этим данным вычислены коэффициенты из (16'): $Q_0 = 10^{25}$, $\beta = 0.79$. По данным табл. 2 определены средние квадратные невязки

условных уравнений. Для (16') и (10') эти невязки соответственно равны $6.6 \cdot 10^{24}$ и $7.4 \cdot 10^{24}$. Таким образом, выражение (16) лучше удовлетворяет наблюдаемым значениям Q , в связи с чем модель ядра кометы Энке в виде тугоплавкой крупнопористой матрицы с частично заполненными льдом порами следует считать более вероятной. Выражения (16), (16') и (10') при полученных значениях коэффициентов определяют среднюю наблюдаемую газовую производительность кометы.

Кресак [23], изучавший изменение абсолютного блеска кометы Энке с учетом влияния инструментальных ошибок, указывает, что уменьшение блеска составляет $0^m.033$ — $0^m.037$ за одно обращение и $1^m.0$ — $1^m.1$ — за 100 лет. Однако результаты Кресака подверглись критике со стороны Секанины, показавшего необоснованность метода, которым они были получены [28]. Согласно Секанине, падение блеска кометы составляет 2 — 4^m в столетие.

Сопоставляя выражения (2), (5) и (16'), получим при неизменных r и Δ :

$$\lg \frac{N_1}{N_2} = 0,4\Delta m_0, \quad \lg \frac{Q_1}{Q_2} = b\Delta t, \quad \frac{N_1}{N_2} = \frac{Q_1 R_1 v_{02}}{Q_2 R_2 v_{01}},$$

где индексы 1 и 2 относятся к двум моментам наблюдения, разделенным промежутком времени Δt ; Δm_0 — изменение абсолютной величины кометы за этот промежуток. Радиус головы можно приближенно оценить из известного соотношения

$$R = \frac{v_0^2}{2g},$$

где g — ускорение молекул, зависящее от их сорта и r . Для молекул C_2 и данного $r=1$ а. е. можно считать $R \sim v_0^2$, откуда

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{Q_1 v_{01}}{Q_2 v_{02}}.$$

При неизменной начальной скорости v_0

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{Q_1}{Q_2},$$

а

$$\Delta m_0 = 2.5b\Delta t;$$

для $\Delta t=3.3$ года, $\Delta m_0=0^m.066$, для $\Delta t=100$, $\Delta m=2^m.5$. Полученные величины полностью сходятся с данными Всехсвятского (за один оборот $\Delta m_0=0^m.07$) [3].

По вычисленному из данных наблюдений $\lambda=0.018 \text{ год}^{-1}=5.72 \times 10^{-9} \text{ сек}^{-1}$, $Q_0=10^{25} \text{ мол} \cdot \text{сек}^{-1}$ можно из (17) оценить начальную массу ядра M_0 и среднюю плотность $\delta_{я_0}$ (на 11. XI 1795 г., см. табл. 1) и из (14) — величину γ : $M_0=1.97 \cdot 10^{13} \text{ г}$, $\delta_{я_0}=0.0079 \text{ г/см}^3$, $\gamma=7.44 \cdot 10^{-5}$. Столь малая средняя плотность ядра подтверждает наше предположение о наличии в ядре крупных пор, лишь частично заполненных льдом.

Выражение (15) позволяет оценить относительную потерю массы кометой за время t :

$$\frac{\Delta M}{M} = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (17)$$

Из (17) вычисляются $(\Delta M/M)_1$ — потеря массы кометой за один оборот вокруг Солнца и $(\Delta M/M)_T$ — потеря массы за весь период с момента

открытия (1786 г.). Комета (эксцентриситет орбиты — 0.848, большая полуось — 2.22 *a. e.*) обычно наблюдается при $0.338 \leq r \leq 2$ *a. e.*, что составляет $\tau = 0.661$ года. Наблюдения и теория [12, 14] показывают, что испарение льдов H_2O и типа H_2O под действием солнечного тепла происходит лишь при $r < 2$ *a. e.* При $t = \tau$ $(\Delta M/M)_1 = 0.01$; при $t = T = 55\tau$ — $(\Delta M/M)_T = 0.48$. Таким образом, за один оборот комета Энке теряет примерно 1% наличной массы; с момента открытия за 55 оборотов около Солнца комета потеряла 48% своей первоначальной массы.

Уиппл [25, 26] и Дубяго [8] оценивали $\Delta M/M$ по вековому ускорению кометы, вызванному реактивной силой, возникающей при выделении газов из ядра. По Уипплу, относительная потеря массы составляет 0.48% (до 1865 г.) и 0.2% (после 1865 г.), по Дубяго, — 0.3—1% за оборот. Эти значения, видимо, несколько занижены, так как указанные авторы рассматривали односторонний выход газов на «дневной» части ядра. Так, разность максимальной «дневной» и минимальной «ночной» температур для ядра из льдов H_2O при периоде вращения 6 ч составляет всего около 20° [12]. Реактивная сила вызывается разностью интенсивностей испарения на «дневной» и «ночной» сторонах ядра. Эта разность и рассматривается в расчетах Уиппла и Дубяго.

Выражения (2), (5') и (16') позволяют определить время t_m , когда комета будет иметь определенную абсолютную яркость. Наиболее мощный современный телескоп с отверстием $D = 5$ м позволяет визуально наблюдать объекты 20—21 звездной величины [16]. Пусть $m = 21^m$ ($r = \Delta = 1$ *a. e.*), тогда $N = 1.43 \cdot 10^{25}$. Диаметр головы можно оценить из эмпирического соотношения, выведенного О. В. Добровольским и Р. С. Ошеровым [6]:

$$m = 14.8 - 7.8 \lg d'$$

Отсюда $d = 0'.16$, $R = 3.52 \cdot 10^8$ см, $Q = 6.2 \cdot 10^{20}$ моль \cdot сек $^{-1}$, $t_m = 526$ лет. Абсолютную величину $m = 21^m$ комета будет иметь в 2221 г. или, если учесть ошибки коэффициентов в (16'), между 2196 и 2520 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Витинский Ю. И. Прогнозы солнечной активности. Изд-во АН СССР, М., 1963.
2. Всехсвятский С. К. Физические характеристики комет. ГИТТЛ, М., 1958.
3. Всехсвятский С. К. Физические характеристики комет, наблюдававшихся в 1954—1960 гг. «Наука», 1966.
4. Всехсвятский С. К. Кометы 1961—1965 гг. «Наука», 1967.
5. Добровольский О. В. Кометы. «Наука», 1966.
6. Добровольский О. В., Ошеров Р. С. — ДАН Тадж. ССР, 1967, 10, 2, 12.
7. Добровольский О. В., Маркович М. З., Ошеров Р. С. — См. наст. сб.
8. Дубяго А. Д. — Астр. журн., 1948, 25, 361.
9. Дунин-Барковский И. В., Смирнов Н. В. Теория вероятностей и математическая статистика в технике (общая часть), М., 1955.
10. Коноплева В. П. — Труды Сталинабад. астр. обсерв. Изд-во АН Тадж. ССР, 1954, 20, 33.
11. Маркович М. З. — Изв. отд. геол.-хим. и техн. наук АН Тадж. ССР, 1961, вып. 1, 15.
12. Маркович М. З. Температура кометных ядер. Канд. дисс., 1962.
13. Маркович М. З. — Бюлл. Ин-та астроф. АН Тадж. ССР, 1962, 31.
14. Маркович М. З., Туленкова Л. Н. — В кн.: Кометы и метеоры. «Дониш», Душанбе, 1969, 17.
15. Маркович М. З., Туленкова Л. Н. — В кн.: Проблемы космической физики. Изд-во КГУ, К., 1968, 3.
16. Мартынов Д. Я. Курс практической астрофизики. «Наука», М., 1967.
17. Мохнач Д. О. — В кн.: Активные процессы в кометах. «Наукова думка», К., 1967, 12.
18. Ошеров Р. С. — В кн.: Физика комет и метеоров. «Наукова думка», К., 1966, 67.
19. Рийвес В. Г. Фотометрические исследования комет. Автореферат докт. дисс. Тарту, 1968.

20. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики. «Наука», М., 1965.
21. Шиголев Б. М. Математическая обработка наблюдений. Физматгиз, М., 1962.
22. Landolt-Börnstein. Zahlenwert und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik, Bd. III, Springer-Verlag, 1952.
23. Kresak L. — Bull. Astr. Instit. Czechoslovakia, 1965, 16, 6, 348—355.
24. Vanýsek V. — Bull. Astron. Instit. Czechoslovakia, 1965, 16, 6, 348—355.
25. Whipple F. L. — Astrophys. J., 1950, 111, 375.
26. Whipple F. L. — Astrophys. J., 1951, 113, 464.
27. Whipple F. L., Douglas-Hamilton D. H. — Spec. Rept. Smithsonian Inst. Astrophys. Obs., 1965, 181.
28. Секанина З. — В кн.: Астрометрия и астрофизика, 4, Физика комет. «Наукова думка», К., 1969, 54.

PHYSICAL CHARACTERISTICS OF THE COMET ENCKE

M. Z. MARKOVICH, L. N. TULENKOVA

Summary

On the basis of the analyses of visual observations of the brightness and head diameter of the comet, which has appeared 34 times, a conclusion is drawn on the structure of its nucleus.

The nucleus is a porous formation from refractory material and ice. The radius of the nucleus is $(3.9 \pm 0.2) \cdot 10^4$ cm, average density is 0.0079 g/cm^3 in 1795 when it was discovered. From that time the comet lost 48% of its initial mass.

ПРЯМЫЕ СНИМКИ КОМЕТ С ШИРОКОПОЛОСНЫМИ И УЗКОПОЛОСНЫМИ ФИЛЬТРАМИ

В. П. Коноплева, Г. А. Гарздо-Лесных

(ГАО АН УССР, г. Киев)

Для уточнения современных представлений о процессах, происходящих в кометах под действием солнечной радиации и космических лучей, необходимы систематические спектральные и фотометрические наблюдения как ярких, так и слабых комет. Наиболее полную информацию о химическом составе и концентрации различных компонентов в головах комет могут дать спектроскопические и спектроэлектрофотометрические наблюдения с крупными телескопами [17]. К сожалению, последние до недавнего времени использовались только для наблюдений некоторых ярких комет. Поэтому наблюдения комет с телескопами средних размеров (зеркало с $D \leq 1$ м) все еще весьма актуальны, особенно при использовании электронных усилителей яркости и телевизионной техники. Весьма ценны спектры, полученные с объективной призмой, электрофотометрические и электрополяриметрические измерения с узко- и широкополосными фильтрами, а также поверхностная фотометрия прямых монохроматических снимков комет. Методика абсолютной спектрофотометрии комет детально описана Е. Б. Костяковой [10—12], а проблемы фотоэлектрических измерений с фильтрами — В. Ваньсеком [5]. Далее рассмотрим задачи и методику монохроматической поверхностной фотометрии комет.

Прямые монохроматические снимки кометных голов можно получить с длиннофокусными астрографами и рефлекторами, выделяя излучение соответствующих радикалов и узких участков непрерывного спектра цветными или интерференционными фильтрами.

На прямом монохроматическом снимке получается изображение всей головы кометы. Поэтому можно найти распределение поверхно-