
Издаётся Международной общественной организацией “Астрономическое общество”
и Государственным астрономическим институтом имени П.К. Штернберга МГУ

№ 1654, 2023 Feb 21

Горячая пыль кометы C/2017 K2 (PanSTARRS)

М.С. Крючков¹, И.А. Маслов², И.В. Николенко¹, В.И. Шенаврин³

¹ *Институт астрономии РАН*

² *Институт космических исследований РАН*

³ *Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга МГУ*
E-mail: imaslov@iki.rssi.ru

Поступила в редакцию 7 января, с исправлениями 20 февраля 2023 г.

Резюме. Приводятся результаты измерений альbedo комы кометы C/2017 K2 (PanSTARRS) в апреле-июле 2022 г. в спектральных полосах BVRIJHKLM. Комета при этом находилась на расстоянии 3.4–2.6 а.е. от Солнца. Зарегистрировано значительное излучение комы в полосах 3.5 и 4.8 мкм, что означает наличие мелкой пыли, которая может нагреваться солнечным излучением до высокой температуры. 13 мая 2022 г. для спектральных полос JHKLM наблюдалось различное несимметричное распределение яркости комы по прямому восхождению, что возможно было вызвано выбросом в одну сторону от кометы холодного вещества, а с другой стороны – светили горячие пылинки.

Наблюдения в спектральных полосах BVRI проводились в п. Симеиз (Крым) на телескопе Цейсс-1000 [1] Института астрономии РАН при помощи камеры FLI PL16803 (4096x4096 – 9 мкм пикселей) в режиме бинирования 4×4. Наблюдения в полосах JHKLM проводились на 1.25-м телескопе Крымской астрономической станции ГАИШ (КАС МГУ) при помощи модуляционного фотометра [2] с охлаждаемым жидким азотом одноэлементным InSb-фотодиодом.

Для фотометрической калибровки снимков и расчета альbedo, использовались спектральные потоки звезд [3] (из того же поля, в котором снималась комета) и Солнца [4], которые интегрировались с учетом пропускания светофильтров [5] и спектральной чувствительности камеры (Таблица 1). Сравнение калибровок по разным звездам поля показывает возможность погрешности определения абсолютной величины альbedo ≈20%, что влияет на получаемые спектральные параметры, но не влияет на определение пространственных характеристик. Для калибровки измерений в полосах JHKLM (Таблица 2) использовались звезды BS 4845,6498,7235.

Модуляционный фотометр измеряет разность потоков от двух соседних участков неба диаметром 12", разнесенных на 20". При этом, из-за больших и быстро меняющихся градиентов яркости земной атмосферы, имеет смысл лишь измерение изменения регистрируемого сигнала при перенаведении телескопа на небольшой угол. Использовалось два варианта такого перенаведения: на 20" и на 200". Первый вариант дает более точные результаты, но с точки зрения наблюдения кометы теряется информация о градиенте яркости в коме – измеряется только яркость выбранного участка по сравнению со средней яркостью участков находящихся на расстоянии ±20" по прямому

восхождению. Во втором случае, учитывая значительное падение яркости комы к периферии, измеряется и градиент яркости. В обоих случаях информация о величине самой яркости теряется. Последовательный сдвиг измеряемых областей с шагом $20''$ позволяет несколько расширить область исследования [8]. Далее мы приводим результаты наших измерений в виде коэффициентов спектральной яркости [9]: A_λ – для рассеяния солнечного излучения, и Q_λ – для собственного излучения пыли, добавляя для разностных измерений символ Δ : ΔA_λ и ΔQ_λ . Погрешности параметров определялись, как их среднее квадратичное отклонение при модельном варьировании данных измерений на основе оценок погрешностей исходных данных. В таблицах: r – расстояние кометы от Солнца, Δ – расстояние кометы от Земли, ϕ – фазовый угол (со знаком минус, если Солнце находится к западу от кометы).

Мы аппроксимировали наши наблюдательные данные выражением:

$$\Delta B_\lambda = \frac{E_{\lambda_\odot}}{\pi} \Delta A_1 \left(\frac{1}{\lambda} \right)^\alpha + P_\lambda(\lambda, T_\#) \Delta Q_5 \left(\frac{5}{\lambda} \right)^\beta, \quad (1)$$

где B_λ – наблюдаемая спектральная яркость, E_{λ_\odot} – спектральный поток от Солнца в районе кометы, $-4 \leq \alpha \leq +4$, $0 \leq \beta \leq +4$, $\Delta Q_5 \leq \Delta A_1$, λ – длина волны в микрометрах, $P_\lambda(\lambda, T)$ – функция Планка для излучения черного тела, $T_\#$ – равновесная температура, до которой нагреваются пылевые частицы излучением Солнца при степенной зависимости их эффективного сечения от длины волны [10] :

$$4T_\#^{4+\beta} R_\#^2 = T_\odot^{4+\beta} R_\odot^2, \quad (2)$$

где $T_\odot = 5770 K$ – эффективная температура Солнца, R_\odot – радиус солнечной фотосферы, $R_\#$ – расстояние от кометы до Солнца.

В Таблице 3 представлены, полученные по измерениям в полосах BVRI, коэффициенты яркости для прямоугольных зон разного размера вокруг центра комы кометы C/2017 K2. Кроме того, в ней приведены вычисленные коэффициенты аппроксимации по спектру $A_\lambda = A_1 \cdot \left(\frac{1}{\lambda}\right)^\alpha$ и по расстоянию от центра: $A_\# = A_{100} \cdot \left(\frac{100}{L_\#}\right)^\chi$, где $L_\#$ – расстояние, в тыс. км, от центра до краев выделяемой прямоугольной области, по которой производится усреднение альбедо комы. Полученное различие (апрель – июль) зависимости изменения альбедо комы от расстояния до ядра кометы, как мы полагаем, возникает из-за того, что при большем нагреве от Солнца комета теряет вещество в виде более крупных фрагментов, которые медленнее разлагаются на пыль и газ.

В Таблице 4 представлены, полученные по измерениям в полосах JHKLM, дифференциальные коэффициенты яркости комы кометы C/2017 K2.

Таблица 5 содержит рисунки распределения яркости комы по прямому восхождению. В данных 13-16 июля, как среднее значение, так и средний наклон (исходя из метода измерений) равны нулю.

Обращает внимание результат измерений 13-14 мая. Со стороны освещаемой Солнцем в полосе J наблюдается повышенная, примерно в пять раз по сравнению с апрельскими данными, яркость комы. В то же время, в полосе L кома ярче с другой стороны от ядра. Это можно объяснить выбросом холодного вещества с одной стороны от ядра и наличием с другой стороны от него мелкой (микронного размера) пыли, освобожденной после сублимации фрагментов и нагретой солнечным излучением.

Заклучение

Наши наблюдения показывают, что вокруг кометы присутствует пыль, нагретая до температуры существенно превышающую ожидаемую, для расстояний порядка 3 а.е. А также, что разделение вещества кометы на пыль и газ происходит на значительном расстоянии от её ядра.

Результаты работы основаны на наблюдательных данных, полученных на 1-м телескопе ЦКП ИНАСАН и 1.25-м телескопе КАС МГУ.

Список литературы

- [1] Крючков С.В., Маслов И.А., Николенко И.В., Угольников О.С. Комплекс управления телескопом ZEISS-1000 с возможностью проведения наблюдений в режиме удаленного доступа. // Некоторые аспекты современных проблем механики и информатики: сб. науч. ст. М.: ИКИ РАН, с. 188, (2018).
- [2] Наджип А.Э., Шенаврин В.И., Тихонов В.Г., Тр. Гос. Астрон. Инст., МГУ, **58**, 119 (1986).
- [3] <http://vizier.unistra.fr/vizier/sed/>
- [4] <http://kurucz.harvard.edu/sun.html>
- [5] http://ulisse.pd.astro.it/Astro/ADPS/Systems/Sys_136/index_136.html
- [6] Страйжис, В.Л. Многоцветная фотометрия звезд. Фотометр. системы и методы – Вильнюс: Мокслас, 1977. – 311 С.
- [7] Макарова Е.А., Харитонов А.В. Распределение энергии в спектре Солнца и солнечная постоянная (М.: Наука, 1972).
- [8] Маслов И.А., Наджип А.Э., Шенаврин В.И. Наблюдения кометы С/2004 Q2 (Ма-чхольца) в ближней инфракрасной области спектра. // ПАЖ, **34**, №5, с. 387-391, (2008).
- [9] Мороз В.И. Физика планет (М.: Наука, 1067) с. 73.
- [10] Бочкарев Н.Г. Основы физики межзвездной среды (М.: Изд-во МГУ, 1992) с. 302.

The Hot Dust of Comet C/2017 K2 (PanSTARRS)

M.S. Kryuchkov¹, I.A. Maslov², I.V. Nikolenko¹, V.I. Shenavrin³

¹*Institute of Astronomy of the Russian Academy of Sciences*

²*Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences*

³*Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University*

E-mail: imaslov@iki.rssi.ru

Received January 7, after correction — February 20, 2022

Abstract. The results of measurements of the albedo of the coma of comet C/2017 K2 (PanSTARRS) in April-July 2022 in the spectral bands BVRIJHKLM are presented. The comet was at a distance of 3.4–2.6 AU from the Sun. Significant coma radiation was registered in the bands 3.5 and 4.8 microns, which means the presence of fine dust, which can be heated by solar radiation to a high temperature. On May 13, 2022, for the spectral bands of JHKLM, a different asymmetric distribution of the coma brightness was observed along the right ascension, which may have been caused by the ejection of cold matter in one direction from the comet, and by emission of hot dust particles on the other side of the comet.

Таблица 1: Потоки излучения ($\text{Вт}/\text{м}^2$), для рабочих спектральных полос, от Солнца и калибровочных звезд (J2000).

	B	V	R	I
Солнце на расстоянии 1 а.е	79	96	122	52
18:55:10.86 +11:45:59.7	$2.48 \cdot 10^{-14}$	$3.76 \cdot 10^{-14}$	$4.62 \cdot 10^{-14}$	$2.37 \cdot 10^{-14}$
17:09:28.75 -01:00:19.2	$3.18 \cdot 10^{-15}$	$3.93 \cdot 10^{-15}$	$7.11 \cdot 10^{-15}$	$4.78 \cdot 10^{-15}$

Таблица 2: Калибровочные параметры для полос JHKLM.

	J	H	K	L	M
Длина волны, мкм	1.25	1.62	2.2	3.5	4.8
Спектральный поток для нулевой звездной величины [6], $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{мкм})$	$3.1 \cdot 10^{-9}$	$1.2 \cdot 10^{-9}$	$3.9 \cdot 10^{-10}$	$7.1 \cdot 10^{-11}$	$2.1 \cdot 10^{-11}$
Спектральный поток от Солнца на расстоянии 1 а.е. [7], $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{мкм})$	441	236	78.5	14.3	4.38

Таблица 3: Средние коэффициенты яркости (геометрическое альbedo, в единицах 10^{-9}) для прямоугольных зон (тыс.км. от центра) вокруг кометы C/2017 K2.

06-07 апреля 2022 г.		JD= 2459677, $\Delta= 3.37$ а.е., $r= 3.53$ а.е., $\phi= +16^\circ$					
$\square \rightarrow$	± 10	± 20	± 40	± 80	± 160	A_{100}	χ
B	1086 ± 19	742 ± 5	384 ± 1	186 ± 1	80 ± 1	159 ± 31	0.85 ± 0.01
V	1422 ± 23	955 ± 6	484 ± 1	230 ± 1	94 ± 1	194 ± 40	0.88 ± 0.01
R	1426 ± 27	940 ± 6	476 ± 1	227 ± 1	97 ± 1	192 ± 38	0.88 ± 0.01
I	1683 ± 24	1079 ± 7	536 ± 2	249 ± 1	103 ± 1	208 ± 42	0.92 ± 0.01
α	-0.66 ± 0.04	-0.55 ± 0.01	-0.49 ± 0.01	-0.43 ± 0.01	-0.39 ± 0.03		
A_1	1958 ± 35	1222 ± 12	602 ± 12	277 ± 5	113 ± 2		
08-09 июля 2022 г.		JD= 2459768, $\Delta= 1.82$ а.е., $r= 2.71$ а.е., $\phi= -13^\circ$					
$\square \rightarrow$	± 10	± 20	± 40	± 80	± 160	A_{100}	χ
B	1763 ± 44	935 ± 17	500 ± 11	250 ± 6	115 ± 4	231 ± 51	0.73 ± 0.03
V	1703 ± 10	867 ± 8	468 ± 5	243 ± 3	118 ± 2	192 ± 4	0.95 ± 0.01
R	2222 ± 5	1122 ± 9	601 ± 6	308 ± 4	146 ± 3	240 ± 7	0.96 ± 0.01
I	3063 ± 17	1554 ± 14	838 ± 9	433 ± 7	209 ± 7	339 ± 14	0.96 ± 0.01
α	-1.09 ± 0.04	-1.04 ± 0.03	-1.04 ± 0.04	-1.08 ± 0.06	-1.17 ± 0.07		
A_1	3777 ± 107	1870 ± 73	1001 ± 39	526 ± 17	264 ± 10		

Таблица 4: Дифференциальные коэффициенты яркости комы кометы C/2017 K2 для спектральных полос JHKLM.

23-29 апреля 2022 г.		JD= 2459696, $\Delta= 2.93$ а.е., $r= 3.36$ а.е., $\phi= +17^\circ$		
тыс.км* \rightarrow	40 – 0 – 40	80 – 0 – 80	40 – 40	80 – 80
J	$(12 \pm 3) \cdot 10^{-7}$		$(0 \pm 5) \cdot 10^{-7}$	
H	$(12 \pm 3) \cdot 10^{-7}$		$(-1 \pm 4) \cdot 10^{-7}$	
K	$(6 \pm 4) \cdot 10^{-7}$		$(3 \pm 6) \cdot 10^{-7}$	
L	$(-2 \pm 8) \cdot 10^{-6}$		$(17 \pm 11) \cdot 10^{-6}$	
M	$(2 \pm 2) \cdot 10^{-5}$		$(1 \pm 4) \cdot 10^{-5}$	
A ₁	$(12 \pm 7) \cdot 10^{-7}$		$(-2 \pm 8) \cdot 10^{-7}$	
Q ₅	$(4 \pm 9) \cdot 10^{-7}$		$(-1 \pm 4) \cdot 10^{-7}$	
α	-0.5 ± 2.1		-0.8 ± 3.9	
β	2.1 ± 0.9		2.6 ± 0.8	
T _#	591 ± 191		642 ± 172	
13-14 мая 2022 г.		JD= 2459714, $\Delta= 2.53$ а.е., $r= 3.19$ а.е., $\phi= +15^\circ$		
тыс.км* \rightarrow	40 – 0 – 40	80 – 0 – 80	40 – 40	80 – 80
J	$(20 \pm 6) \cdot 10^{-7}$	$(15 \pm 8) \cdot 10^{-7}$	$(-34 \pm 7) \cdot 10^{-7}$	$(-40 \pm 15) \cdot 10^{-7}$
H	$(19 \pm 9) \cdot 10^{-7}$	$(24 \pm 12) \cdot 10^{-7}$	$(-5 \pm 11) \cdot 10^{-7}$	$(-12 \pm 20) \cdot 10^{-7}$
K	$(5 \pm 5) \cdot 10^{-7}$	$(-6 \pm 8) \cdot 10^{-7}$	$(10 \pm 6) \cdot 10^{-7}$	$(16 \pm 15) \cdot 10^{-7}$
L	$(-16 \pm 16) \cdot 10^{-6}$	$(-11 \pm 23) \cdot 10^{-6}$	$(44 \pm 19) \cdot 10^{-6}$	$(47 \pm 41) \cdot 10^{-6}$
M	$(-5 \pm 30) \cdot 10^{-6}$	$(-52 \pm 47) \cdot 10^{-6}$	$(-15 \pm 36) \cdot 10^{-6}$	$(50 \pm 79) \cdot 10^{-6}$
A ₁	$(21 \pm 13) \cdot 10^{-7}$	$(12 \pm 12) \cdot 10^{-7}$	$(-79 \pm 30) \cdot 10^{-6}$	$(-60 \pm 48) \cdot 10^{-7}$
Q ₅	$(1 \pm 14) \cdot 10^{-7}$	$(-6 \pm 8) \cdot 10^{-7}$	$(12 \pm 33) \cdot 10^{-6}$	$(14 \pm 25) \cdot 10^{-7}$
α	-0.1 ± 2.2	-1.4 ± 2.1	3.3 ± 2.3	1.3 ± 3.0
β	2.2 ± 0.8	2.2 ± 1.0	2.7 ± 0.9	2.0 ± 0.7
T _#	571 ± 162	571 ± 186	665 ± 192	524 ± 140
13-16 июля 2022 г.		JD= 2459777, $\Delta= 1.81$ а.е., $r= 2.64$ а.е., $\phi= -16^\circ$		
тыс.км* \rightarrow	40 – 0 – 40	80 – 0 – 80	40 – 40	80 – 80
J	$(13 \pm 3) \cdot 10^{-7}$			
H	$(9 \pm 3) \cdot 10^{-7}$			
K	$(4 \pm 4) \cdot 10^{-7}$			
L	$(-16 \pm 8) \cdot 10^{-6}$			
M	$(0 \pm 3) \cdot 10^{-5}$			
A ₁	$(19 \pm 6) \cdot 10^{-7}$			
Q ₅	$(-7 \pm 10) \cdot 10^{-7}$			
α	0.3 ± 1.1			
β	1.9 ± 1.0			
T _#	324 ± 82			

* Примечание:

40 – 0 – 40, 80 – 0 – 80 – разность яркости центра комы и средней яркости областей отнесенных на расстояние 40 и 80 тыс.км. в две стороны по прямому восхождению.

40 – 40, 80 – 80 – разность между яркостями областей комы отнесенных от ее центра на расстояние 40 и 80 тыс.км. в две стороны по прямому восхождению.

Таблица 5: Распределение яркости по прямому восхождению в коме кометы C/2017 K2. По горизонтали — расстояние от центра комы в тыс.км (Солнце светит слева). По вертикали — коэффициент яркости (геометрическое альbedo), в единицах 10^{-6} .

