

УДК 523.64

Новый статистический подход к изучению падения блеска комет

А. С. Гулиев, А. Ш. Байрамов

Исследована зависимость абсолютного блеска 36 периодических комет семейства Юпитера от условий видимости I рода. У 23 комет наблюдается заметная зависимость H_{10} от этого фактора. Исследован вопрос о падении блеска комет с учетом изменения условий видимости от появления к появлению. Установлено, что в семействе Юпитера существуют две группы короткопериодических комет: в первой — скорость падения блеска возрастает по мере увеличения q , во второй — уменьшается.

NEW STATISTICAL APPROACH TO THE PROBLEM OF COMETARY BRIGHTNESS FADING, by Guliev A. S., Bajramov A. Sh.—The dependence of absolute brightness of 36 periodic comets of Jupiter family on the visibility conditions is investigated. 23 comets are observed to have a noticeable dependence of H_{10} on these conditions. The problem of brightness fading is studied with allowance for changing visibility conditions from apparition to apparition. Two groups of comets in Jupiter family have been found: the first group is characterized by an increase of brightness fading with q ; the second one shows the inverse run.

В 1920-х годах С. К. Всехсвятский, изучая фотометрические данные о комете Энке за большой промежуток времени, собранные Голечком, обратил внимание на то, что абсолютный блеск этого объекта от появления к появлению имеет тенденцию к уменьшению [1]. Отсюда он сделал вывод о постепенном истощении комет, что приводит к предположению о космогонической молодости этих небесных тел. Предположение о вековом уменьшении блеска комет было признано не сразу. История дискуссии по этому вопросу подробно описана в [2]. В настоящее время этот факт признается практически всеми специалистами по физике комет. Дискутируются лишь масштабы этого явления.

Статистические аспекты проблемы падения блеска комет широко рассматривались в работах [4, 6, 8, 9]. В них получены средние значения падения блеска ΔH_{10}^p для отдельных короткопериодических комет, которые в дальнейшем сопоставлялись с разными физическими и динамическими параметрами. В частности, в [4] установлено, что ΔH_{10}^p заметно зависит от перигелийного расстояния q , периода обращения кометы P и ее абсолютного блеска в начальный период H_{10}^0 . Падение абсолютного блеска описывается обычно линейным уравнением регрессии

$$H_{10}(t) = H_{10}^0 + \alpha t, \quad (1)$$

где t — время в годах. Определив α , можно рассчитать искомую величину $\Delta H_{10}^p = \alpha P$. В работе [8] в правую часть этого уравнения введен еще один член, характеризующий изменение ΔH_{10}^p . Однако иллюстрации, приведенные в [9], убеждают, что линейное уравнение в первом приближении неплохо описывает изменение H_{10} .

В работе [5] на примере кометы Копфа показано, что изменение H_{10} помимо временного фактора сильно зависит от условий видимости кометы. В зависимости от изменения последних абсолютный блеск этой кометы изменяется в широком диапазоне. Цель настоящей работы — изучение влияния условий видимости * на H_{10} и на характер векового падения блеска короткопериодических комет.

Как показатель условий видимости использован угол Ψ , аналогичный функции Голечека. В случае $q > 1$ а. е. имеем $\Psi = L_{\odot} - \lambda_{\pi}$, где L_{\odot} — эллиптическая долгота Солнца в момент прохождения кометы через перигелий; λ_{π} — долгота перигелия кометы.

* Имеются в виду так называемые условия видимости I рода, связанные с элементами орбиты кометы и временем прохождения ею перигелия.

В случае $q < 1$ а. е. угол Ψ находится следующим образом:

$$\Psi = \arcsin \frac{q \sin (L_{\odot} - \lambda_{\pi})}{\sqrt{1 + q^2 - 2q \cos (180^{\circ} - L_{\odot} + \lambda_{\pi})}}$$

Как и в работе [4], наше внимание было обращено прежде всего к кометному семейству Юпитера. Статистика охватывает 36 комет этого семейства, наблюдавшихся не менее четырех раз. Сопоставление параметров Ψ и H_{10} позволило выявить следующую картину: у 13 комет между этими величинами наблюдается заметная корреляционная зависимость. Следовательно, у этих объектов истинное значение параметра ΔH_{10}^p будет несколько иным, чем то, которое дает уравнение (1). Наиболее характерные зависимости $H_{10}(\Psi)$ показаны на рис. 1. Установлено также, что у десяти комет в изменении Ψ от появления к появлению наблюдается определенная закономерность. У этих комет падение блеска либо маскируется улучшением условий видимости, либо падение H_{10} сопровождается еще и ухудшением условий наблюдения кометы, в результате чего наблюдается катастрофическое падение абсолютного блеска. Значения коэффициентов корреляции $r(\Psi, H_{10})$ и $r(\Psi, t)$ даны в таблице. Там же приведены значения $r(H_{10}, t)$, которые будут использованы в дальнейших расчетах, и результаты.

Таким образом, у 23 комет наблюдаемые H_{10} искажены эффектами селекции, и их зависимость от условий видимости I рода можно легко объяснить. Действительно, кометы наблюдаются в основном вблизи перигелия орбиты. Поэтому если величина Ψ приближается к 180° , то комета наблюдается в оппозиции от Солнца, и влияние фона неба на оценку ее блеска при прочих равных условиях будет наименьшим. Если же Ψ имеет небольшое значение, то комета наблюдается только

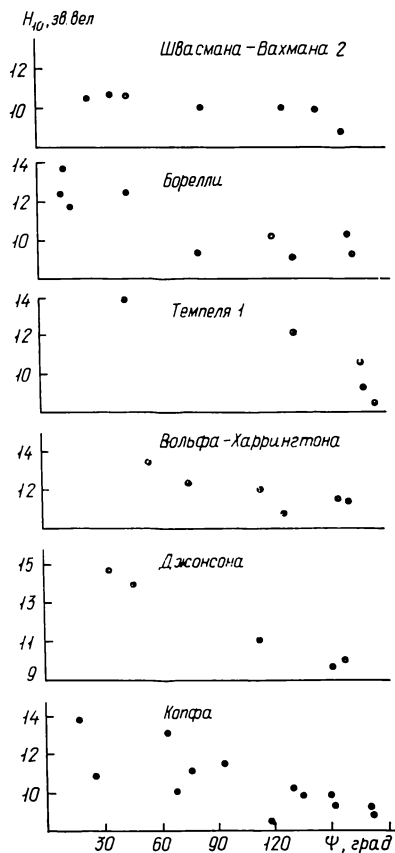


Рис. 1. Зависимость H_{10} от Ψ для некоторых комет семейства Юпитера

на вечернем или утреннем небе. В этот период значение $\sec z$ (z — зенитное расстояние), от которого зависит визуальный блеск кометы, оказывается минимальным, что приводит к заниженной оценке видимого блеска. Это связано с тем, что интенсивность коротковолновой части спектра кометы явно уменьшается, когда она находится низко над горизонтом, а также с усиленным фоном неба, скрадывающим внешнюю область кометы.

Итак, возникает необходимость исследования падения абсолютного блеска кометы с учетом влияния изменчивости условий ее видимости. В дальнейшем, используя механизм множественной корреляции, вместо (1) будем пользоваться следующим уравнением:

$$H_{10}(t, \Psi) = H + At + B\Psi. \tag{2}$$

Коэффициенты этого уравнения определены методом наименьших квадратов. Полученные значения параметров $\Delta H_{10}^p(t) = \alpha P$ и $\Delta H_{10}^p(t, \Psi) = AP$ приведены в таблице. Как и следовало ожидать, в ряде случаев они сильно расходятся. Чтобы количественно сравнить эти величины, использован следующий способ. Для систем уравнений (1) и (2) вычислены суммы квадратов невязок между наблюдаемыми и теоретическими зна-

Результаты статистического анализа параметра H_{10} короткопериодических комет семейства Юпитера

Комета	$r(H_{10}, \Psi)$	$r(H_{10}, t)$	$r(t, \Psi)$	A	B	α	$\Delta H_{10}^2(t)$	$\Delta H_{10}^2(t, \Psi)$	e_1	e_2	n	N
Энке	0.23	0.82	-0.00	0.018	0.017	0.021	0.07	0.06	30.2	25.7	52	1
Бизэлы	-0.10	0.74	-0.27	0.009	0.009	0.009	0.06	0.06	0.2	0.2	6	1
Понса — Винке	-0.48	0.87	-0.49	0.045	0.003	0.046	0.26	0.25	23.7	22.8	18	1
Брозена	-0.67	0.97	-0.52	0.063	-0.071	0.071	0.39	0.35	2.0	0.1	5	2
Темпеля — Свифта	-0.19	0.66	-0.79	0.082	0.061	0.040	0.22	0.45	1.7	0.8	4	2
Д'Арре	0.19	0.60	0.24	0.016	0.002	0.017	0.11	0.11	11.1	11.5	13	1
Темпеля 2	-0.70	0.80	-0.40	0.025	-0.012	0.033	0.17	0.13	10.3	11.6	16	1
Копфа	-0.77	0.75	-0.30	0.044	-0.020	0.056	0.36	0.28	12.0	3.4	11	1
Швасмана — Вахмана 2	-0.68	1.00	-0.31	0.037	-0.009	0.046	0.30	0.29	2.0	1.3	8	1
Григга — Шеллерупа	-0.50	0.83	-0.53	0.078	0.004	0.058	0.29	0.39	11.2	8.4	13	2
Даниэля	-0.66	0.48	-0.90	0.021	0.016	-0.016	-0.11	0.14	12.8	29.8	6	2
Джакобини — Циннера	-0.50	0.91	-0.39	0.006	-0.007	0.018	0.12	0.11	6.2	5.8	10	1
Брукса 2	-0.58	0.92	-0.31	0.061	-0.022	0.070	0.49	0.43	9.5	4.0	12	1
Фая	-0.19	0.92	-0.12	0.048	-0.044	0.049	0.36	0.36	16.7	13.5	17	1
Борелли	-0.83	0.85	-0.91	0.038	-0.009	0.058	0.40	0.26	9.7	6.5	9	2
Уинпла	-0.50	0.84	-0.19	0.069	-0.009	0.066	0.49	0.51	3.7	2.4	7	1
Шомасса	-0.26	0.37	0.62	0.041	-0.017	0.017	0.14	0.33	3.7	2.1	7	1
Комас-Солла	0.32	0.30	-0.15	0.023	0.018	0.012	0.10	0.20	4.3	3.7	6	2
Вольфа	-0.44	0.95	-0.33	0.085	-0.008	0.090	0.68	0.65	8.1	6.9	12	1
Хонда — Мркоса — Пайдушаковой	-0.56	0.50	0.23	0.073	-0.064	0.069	0.36	0.28	10.4	3.9	6	2
Темпеля 1	-0.91	0.95	-0.87	0.027	-0.014	0.041	0.24	0.16	2.2	1.5	5	2
Туттля — Джакобини — Кресака	-0.43	0.86	-0.41	0.019	-0.003	0.020	0.11	0.10	1.9	1.6	6	1
Виртанена	0.08	0.55	-0.46	-0.001	-0.002	-0.037	-0.25	-0.01	1.1	0.1	4	2
Форбса	0.53	0.66	-0.30	0.042	-0.018	0.042	0.27	0.27	7.3	4.8	6	1
Вольфа — Харрингтона	-0.70	0.17	-0.34	-0.001	-0.034	0.000	0.00	0.00	4.7	1.2	6	2
Перрайна — Мркоса	-0.24	0.48	-0.53	0.045	0.020	0.038	0.25	0.29	29.6	29.4	5	2
Рейнмуга 2	-0.28	0.04	-0.21	0.000	-0.006	0.001	0.01	0.00	6.7	6.2	5	2
Джонсона	-0.99	0.96	-0.94	0.055	-0.031	0.082	1.24	0.38	2.0	0.4	5	2
Аренда — Риго	-0.57	-0.02	-0.16	0.000	-0.006	0.000	0.00	0.00	1.5	0.6	5	2
Финлея	-0.17	0.88	-0.26	0.052	0.004	0.049	0.33	0.34	4.7	5.5	9	2
Холмса	-0.22	0.91	-0.09	0.065	-0.009	0.061	0.44	0.47	8.1	6.5	6	1
Ашбрука — Джексона	-0.92	0.27	-0.08	0.025	-0.017	0.027	0.20	0.19*	7.5	1.1	5	2
Харрингтона — Эйбелла	0.21	0.30	-0.81	0.000	0.025	0.023	0.16	0.00	1.2	0.4	4	2
Рейнмуга 1	-0.51	0.82	-0.31	0.052	-0.006	0.058	0.44	0.39	3.7	5.2	7	1
Аренда	0.18	-0.24	-0.58	0.000	-0.027	0.156	0.00	0.00	4.4	4.5	4	2
Швасмана — Вахмана 1	-0.56	0.84	-0.18	0.064	-0.011	0.074	1.21	1.05	2.4	0.6	4	1

Примечание. После точки значение $\Delta H_{10}^2(t, \Psi)$ кометы Ашбрука — Джексона найдено в [3]. Оно составляет 0.1^м. Величина N равна 1 и 2, что соответствует первой (рис. 2, верхняя часть) и второй (рис. 2, нижняя) группам комет.

чениями H_{10} :

$$\varepsilon_1 = \sum [H_{10} - H_{10}(t)]^2, \quad \varepsilon_2 = \sum [H_{10} - H_{10}(t, \Psi)]^2.$$

Если $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$, то использование уравнения (2) можно считать оправданным. В подавляющем большинстве случаев (см. таблицу) это условие выполняется.

Следует отметить также одну практическую сторону нашей работы. Поскольку падение блеска комет происходит с большими амплитудами, то возникает определенная трудность при прогнозировании значений H_{10} для очередных возвращений комет. В этом случае при $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$ обязательно нужно учесть условия их видимости. Данные из таблицы могут быть основой для такого прогнозирования. Именно эта мысль лежит и в основе работы [5].

Таким образом, возникает необходимость повторения статистики величин H_{10} и исследования падения блеска короткопериодических комет уже на базе параметра

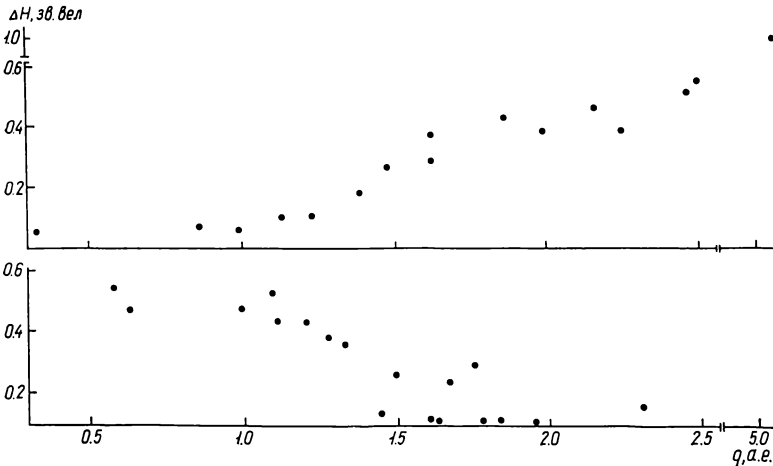


Рис. 2. Распределение $\Delta H_{10}^p(t, \Psi)$ по q для двух групп комет

$\Delta H_{10}^p(t, \Psi)$, чтобы проверить справедливость предположений и выводов, сделанных в работах [4, 6, 7]. Наибольший интерес представляет предположение о существовании двух кометных групп [6, 7]. Эта идея (если она подтвердится новыми данными) представляет интерес не только для проблем физики и эволюции комет, но и для проблемы происхождения периодических комет. Сопоставление параметров $\Delta H_{10}^p(t, \Psi)$ и q (перигелийное расстояние кометы) подтвердило основополагающую идею работы [6]. Однако следует отметить, что и характер обнаруженных нами кривых, и состав соответствующих групп (номер группы N указан в последней графе таблицы) отличаются от полученных в [6]. На рис. 2 представлена зависимость ΔH_{10}^p от q для обеих групп. При построении этого графика использованы средние статистические величины $q = \sum_{i=1}^n q_i$, где n — число наблюдавшихся появлений кометы. Первое распределение (сверху) характерно тем, что по мере увеличения q увеличивается и ΔH_{10}^p . Эта зависимость интерпретируется в [6]. Краткий смысл ее: процесс падения блеска у этих комет обусловлен «деактивацией» их ядер в результате постепенного покрытия поверхности ядра минеральной коркой. Данная группа состоит из 16 комет. Большой интерес вызывает и вторая группа из 18 комет, где зависимость ΔH_{10}^p от q имеет совершенно противоположный характер. Здесь увеличение q приводит к убыванию скорости падения блеска, что, по-видимому, соответствует ледяным кометным ядрам. Можно полагать, что в ядрах этих комет содержится незначительное количество пыли и минеральных примесей, способных влиять на эволюцию ядра. Следовательно, можно считать, что существование чисто ледяных ядер вовсе не исключается, и в семействе Юпитера их должно быть значительное количество. Процесс потери блеска у этих комет обусловлен потерей массы в результате воздействия фотонного и корпускулярного излучения Солнца и уменьшением размеров их ядер. Причины существования в одном семействе двух групп, их

отличительные особенности и возможность перехода комет из одной группы в другую будут рассмотрены в отдельной работе. Из 36 рассмотренных комет лишь две (Понса — Виннеке и Швасмана — Вахмана 2) занимают промежуточное положение. Однако включение их в ту или другую группу не может исказить характер зависимости $\Delta H_{10}^p(q)$. Существование таких «промежуточных» комет связано, вероятно, с особенностями эволюции их ядер. В прошлом эти кометы находились, по-видимому, во второй группе (рис. 2, нижняя кривая).

Таким же путем исследовано падение блеска еще пяти комет других семейств: Вайсяля 2 ($\Delta H_{10}^p(t, \Psi) = 0.06^m$), Тутля ($\Delta H_{10}^p(t, \Psi) = 0.17^m$), Неуймина 1 ($\Delta H_{10}^p(t, \Psi) = 0.09^m$), Кроммелина ($\Delta H_{10}^p(t, \Psi) = 0.19^m$) и Галлея ($\Delta H_{10}^p(t, \Psi) = 0.29^m$). Включение этих комет не искажает общую картину, хотя, по нашему убеждению, они могут не подчиняться закономерностям, присущим семейству Юпитера.

В заключение отметим, что настоящая работа — лишь первая попытка комплексного исследования влияния условий видимости на падение блеска комет. Она показала правильность постановки задачи. Однако необходим более широкий подход к рассматриваемой проблеме. В дальнейшем имеет смысл искать более сложную зависимость $H_{10}(\Psi)$, $H_{10}(t)$, $\Psi(t)$, чем линейная. Например, в случае кометы Ашбрука — Джексона [3] это было полностью обосновано. Кроме того, нужно учитывать, что кометы не всегда наблюдаются в интервале времени, центр которого совпадает с моментом прохождения через перигелий. Нами это обстоятельство учтено лишь в некоторых случаях.

1. *Всехсвятский С. К.* Яркость кометы Энке // *Астрон. журн.*— 1927.— 4, вып. 4.— С. 298—301.
2. *Всехсвятский С. К.* Физические характеристики комет.— М.: Физматгиз, 1958.— 575 с.
3. *Гулиев А. С., Байрамов А. Ш.* Об изменении абсолютной яркости кометы Ашбрука — Джексона в период 1948—1978 гг. // *Комет. циркуляр.*— 1986.— № 351.— С. 3—4.
4. *Гулиев А. С., Деменко А. А., Деменко И. М.* Особенности падения блеска комет семейства Юпитера // *Пробл. космич. физики.*— 1983.— Вып. 18.— С. 85—87.
5. *Добровольский О. В.* Прогноз абсолютного блеска комет Копфа (1982к) и Галлея (1982i) // *Комет. циркуляр.*— 1983.— № 303.— С. 2—3.
6. *Добровольский О. В., Ибадинов Х. И., Герасименко С. И.* Вековое падение блеска и строение ядер периодических комет // *Докл. АН ТаджССР.*— 1984.— 27, № 4.— С. 198—200.
7. *Шульман Л. М.* Динамика кометных атмосфер. Нейтральный газ.— Киев: Наук. думка, 1972.— 243 с.
8. *Sekanina Z.* Secular variations in the absolute brightness of short-period comets // *Bull. Astron. Inst. Czech.*— 1964.— 15, N 1.— P. 1—7.
9. *Svoren J.* Secular variation in the absolute brightness of short-period comets // *Contrib. Astron. Observ. Skalnaté Pleso.*— 1979.— N 8.— P. 105—140.

Шемахин. астрофиз. обсерватория
АН АзССР

Поступила в редакцию 22.12.86,
после доработки 30.04.87