

М. НАРЗИЕВ, канд. физ.-мат. наук, Ш.Ш. ШОЁКУБОВ, канд. физ.-мат. наук

ОБЩНОСТЬ В ФОРМЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БЛЕСКА И ИОНИЗАЦИИ ВДОЛЬ СЛЕДА МЕТЕОРОВ РАЗНЫХ ДИАПАЗОНОВ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ

Введение

Метеороиды, вторгающиеся в Земную атмосферу из межпланетного пространства, сталкиваются с молекулами воздуха и, в результате, нагреваются до 2000 К, раскаляются и испытывают различные формы абляции, такие как испарение, шелушение, дробление и т.д. Конечная фаза абляции фрагментов является испарением. Испарившиеся атомы и молекулы с поверхности тела и образовавшиеся фрагменты при дальнейшем столкновении с атомами и молекулами атмосферы взаимно возбуждаются, ионизируются и в результате оставляют за собой светящийся и ионизационный след, который регистрируется оптическими и радиолокационными средствами наблюдений. Фотометрируя след метеора на фотопластинке или на площадке ПЗС матрицы и редуцируя данные об амплитуде, дальности, длительности радиоэхо и фазе отраженных радиоволн, мы получаем кривую свечения и ионизации метеора. Следовательно, кривые свечения и ионизации метеороидов являются основными носителями информации как о физических процессах, сопровождающих полет метеороидов в Земной атмосфере, так и о физико-кинематических и динамических характеристиках самих метеороидов. Поэтому, они представляются важнейшими компонентами для исследования как физико-кинематических, так и динамических свойств метеороидов. Ранее по результатам оптических и радиолокационных наблюдений были изучены некоторые статистические характеристики кривых свечения и ионизации метеоров, охватывающих узкий диапазон звездных величин [1 – 4]. Следовательно, немаловажное значение имеет исследование распределения свечения и ионизации вдоль следа метеоров в широком диапазоне звездных величин.

Цель и задачи исследования

На основе результатов базисных наземных оптических наблюдений метеоров камерами болидной сети, камерами НАФА, светосильной камерой Супер-Шмидта, телевизионными и видеокамерами, комплексом радиолокационной аппаратуры различной чувствительности, а также по результатам комплексных наблюдений болидов, завершившихся падением метеоритов, накоплено определённое количество кривых блеска и ионизации, охватывающих широкий диапазон звездных величин (- 20^m ÷ + 12^m) метеоров. Редукция данных базисных оптических и радиолокационных наблюдений болидов и типичных метеоров по указанным источникам позволила наряду с кривыми блеска и ионизации получить данные атмосферной траектории и определить их физико-кинематические характеристики и т.д.

Анализ кривых свечения и ионизации метеороидов [1 – 4] указывает на разнообразные формы распределения свечения и ионизации вдоль следа метеоров. На наш взгляд, кривые свечения и ионизации метеоров в целом можно разделить на две группы: а) кривые с гладкими формами распределения свечения и ионизации вдоль следа; б) аномальные (вспышечные) кривые блеска и ионизации метеоров. В свою очередь, гладкие кривые также имеют самые разнообразные формы. Такие кривые можно квалифицировать по трем группам: 1) с относительно медленным возрастанием блеска и относительно резким спадом; 2) с симметричной формой распределения блеска и ионизации вдоль следа; 3) с относительно резким возрастанием блеска и медленным спадом. Имеются и теоретические предпосылки к разъяснению различия в формах сглаженных кривых блеска метеоров. Теоретическая форма кри-

вой свечения метеоров для различных диапазонов масс, в предположении того, что основным механизмом абляции метеоров является квазинепрерывная фрагментация, рассматривалась в работе Лебединца [5]. Согласно [5], все три вида гладких кривых блеска и ионизации метеоров хорошо описываются в рамках теории квазинепрерывной фрагментации. Результаты моделирования кривых свечения метеоров с различными значениями массы в диапазоне от 10-2 до 0,6 г, со средней скоростью $V = 30$ км/с, $\cos z = 0,6$ и с различными массами осколков (при использовании зависимости коэффициента свечения от скорости по Эпику) [5] удовлетворительно описывают все три типа гладких кривых блеска метеоров.

Анализ распределения блеска или ионизации вдоль следа охватывал отдельные узкие диапазоны звездной величины. Однако вопрос исследования специфических особенностей распределения блеска вдоль следа метеоров в широком диапазоне звездной величины не изучался. Таким образом, вопрос о том, что имеется ли общность в форме распределения блеска и ионизации вдоль следа метеоров, регистрируемых разными аппаратами, или нет, остаётся открытым.

Цель работы – исследование распределения блеска и ионизации вдоль следа метеоров, зарегистрированных оптической и радиолокационной аппаратурой в широком диапазоне скоростей, яркостей; изучение зависимости формы кривых свечения и ионизации метеоров от их скорости и массы метеороидов.

Результаты обработки и анализа данных наблюдений

Для решения задач использованы:

- данные атмосферной траектории болидов Прерийной и Европейской сети [6, 7];
- результаты атмосферной траектории 413 метеоров, полученных на светосильной камере Супер-Шмидта [1];
- результаты базисных телевизионных наблюдений 454 слабых метеоров Сарма и Джонса [8] со звездной величиной $+1 \div +8,5m$ в Спрингхилле;
- результаты фотографических наблюдений метеоров в Таджикистане [9];
- данные атмосферных траекторий болидов, завершившихся падением метеоритов [10];
- кривые ионизации 670 радиометеоров ярче $+ 5m$, полученные в [2] и в [3] – по результатам базисных радионаблюдений метеоров с четырех-пяти станций в ГисАО.

Данные атмосферных траекторий метеоров, в частности наличие высоты начала, максимума и конца следа метеора, дают приблизительную форму кривой свечения или ионизации. Далее, с учетом данных о высотах начала H_b , максимума H_m и конца следа H_e каждого метеора заданного массива, по формуле

$$P = H_b - \frac{H_m}{H_b} - H_e$$

был вычислен параметр P . Результаты вычисления параметра P для кривых ионизации радиометеоров, полученных в ГисАО [2, 3], болидов Прерийной и Европейской сети [6, 7], ТВ метеоров Сарма и Джонса [8], фотографических метеоров, зарегистрированных в Душанбе [9] в виде распределения, приведены на рис. 1.

Согласно рисунку, максимум в гистограмме распределения по параметру P для болидов Прерийной сети и радиолокационных метеоров, полученных в ГисАО, расположен в области 0,5 – 0,6. У фотографических метеоров, полученных в Таджикистане, максимум в гистограмме распределения находится в интервале 0,6 – 0,7. У слабых телевизионных метеоров в гистограмме распределения по параметру P наблюдаются два максимума, которые располо-

жены в первой половине гистограммы. Причем первый максимум находится в диапазоне и 0,1 – 0,2, а второй максимум – в интервале 0,4 – 0,5.

Независимо от того, что Супер-Шмидтские метеоры относятся к относительно слабым фотографическим метеорам, форма распределения по параметру P у этих метеоров близка к распределению по параметру P болидов Прерийной сети.

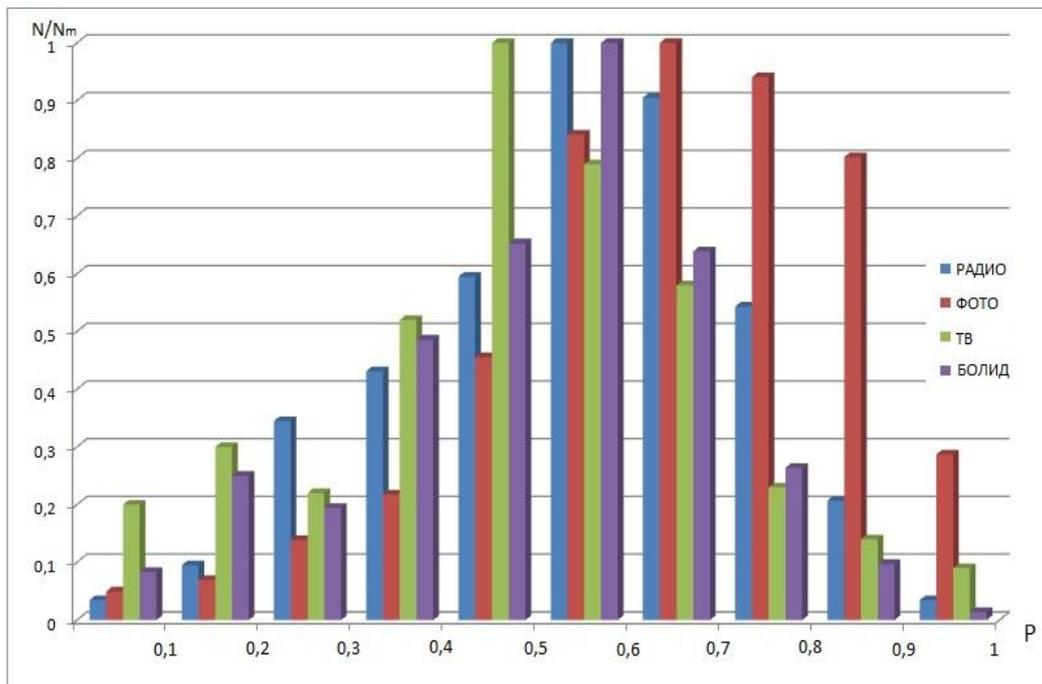


Рис. 1. Распределение метеоров по параметру P

Общий анализ распределения по параметру P в широком диапазоне звездной величины указывает на то, что по мере перехода к слабым метеорам наблюдается смещение высоты максимума блеска к середине или к начальной части траектории метеоров. Данные параметра P , представленные на рис. 1, показывают, что у всех рассматриваемых наблюдательных массивов форма распределения свечения и ионизации вдоль следа различаются. Причем установлено, что формы распределения метеороидов по параметру P как у оптических, так и радиолокационных метеоров имеют несимметричный вид.

Анализ гистограммы распределения метеоров по параметру P в широком диапазоне звездной величины указывает на наличие общей тенденции в ходе распределения интенсивности свечения и линейной электронной плотности вдоль следа метеоров. В частности, выявлена общая тенденция, то есть увеличение числа метеоров в первой половине всех гистограмм происходит примерно экспоненциально, а уменьшение числа метеоров во второй половине гистограмм происходит относительно медленно. Таким образом, наличие похожих элементов в форме распределения как на первой половине (восходящий участок), так и на нисходящей части гистограммы распределения по параметру P говорит об общности происхождения метеоров различной массы и звездной величины.

В таблице приведены оценки параметра P для болидов, завершающихся падением метеоритов. Согласно таблице P для таких болидов находится в интервале 0,2 – 0,9. За исключением метеорита Ванбурра Рокчолле, где $P = 0,24$, у остальных болидов, порождающих метеориты, численные значения P находятся в интервале 0,6 – 0,9. Среднее значение $P = 0,74$.

Данные атмосферных характеристик болидов, завершившихся падением метеоритов

Название	Масса кг	δ г/см ³	Тип метеорита	Восстановленная масса	V_{∞} , км/с	h_B	h_m	h_e	P	I_{max}
Пиршбрам	1300	3,57	H5	5,8	20,89	98	44	13,3	0,64	-19
Лост Сити	160	3,4	H5	17,0	14,2	86	41	19,5	0,68	-12
Инисфри	40	3,35	L5	4,58	14,54	>62	55,6	19,9	-	-12
Пикскилл	5000	3,34	H6	12,4	14,72	60	38,6	34,0	0,80	-16
Тагиш Лаке	65000	1,64	C2	~10	15,8	-	37,0	29,0	-	-22
Моравка	1500	3,59	H5	0,63	22,5	80	32,5	21,0	0,81	-20
Неусчванстейн	300	3,49	EL6	6,19	20,95	85	20,8	16,0	0,93	-17,2
Парк Форест	10000	3,35	L5	18	15,5	82	29	18,0	0,83	-21,7
Вилалвето де ла Пена	600	3,42	L6	3,5	16,9	-	28	22,0	-	-18
Банбурра рокчале	22	2,86	Euc	0,32	13,4	62,8	54,8	29,6	0,24	-9,3
Алмахате Ситта	70000	2,3	Ure-Anom	3,95	12,42	65,0	44	32,0	0,60	-19,7
Буззард Коулле		-	H4	>50	18,0	-	-	-	-	-
Джесенесе	170	-	L6	3,6	15,8	88	46	18,0	0,60	-15
Гринсби	30	3,37	H4-6	3,37	20,91	100	39,4	19,6	0,75	-14,8
Челябинский	13000	3,5	LL5	~ 4÷6 т	16,6	95,0	26,5	13,0	0,84	-27,5

Данные о вычисленных значениях P для каждого метеора заданного массива и результаты их атмосферной траектории позволяют исследовать зависимость параметра P от скорости и массы для разных массивов данных метеоров. При этом нами для каждого массива по отдельности объединены метеоры в семи группах по скоростям и для каждой группы вычислены средние значения P и скорости. Результаты вычислений приведены на рис. 2.

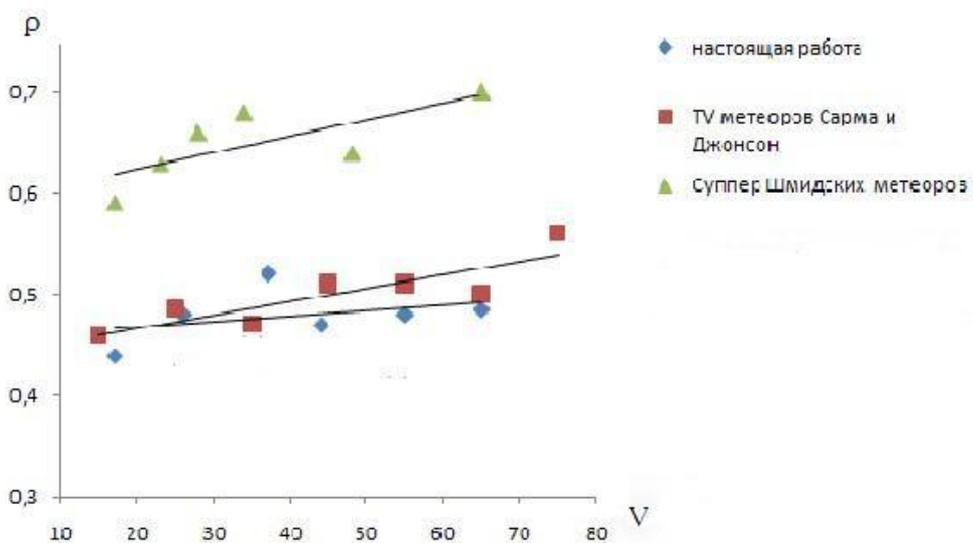


Рис. 2. Зависимость параметра P от скорости метеоров

Теперь исследуем зависимость параметра P от массы метеороидов. Для этого по указанным массивам данных наблюдений проведены исследования зависимости параметра P от массы (рис. 3).

Из рисунка следует, что в интервале масс 10-3-100 г параметр P уменьшается незначительно. Далее с увеличением масс частиц P резко увеличивается. Такое поведение P в широком диапазоне масс, по-видимому, связано с происхождением частиц разных масс. То есть, массы частиц в диапазоне 10-3-100 г имеют кометное происхождение, а в интервале масс 1 г и более имеют астероидное происхождение.

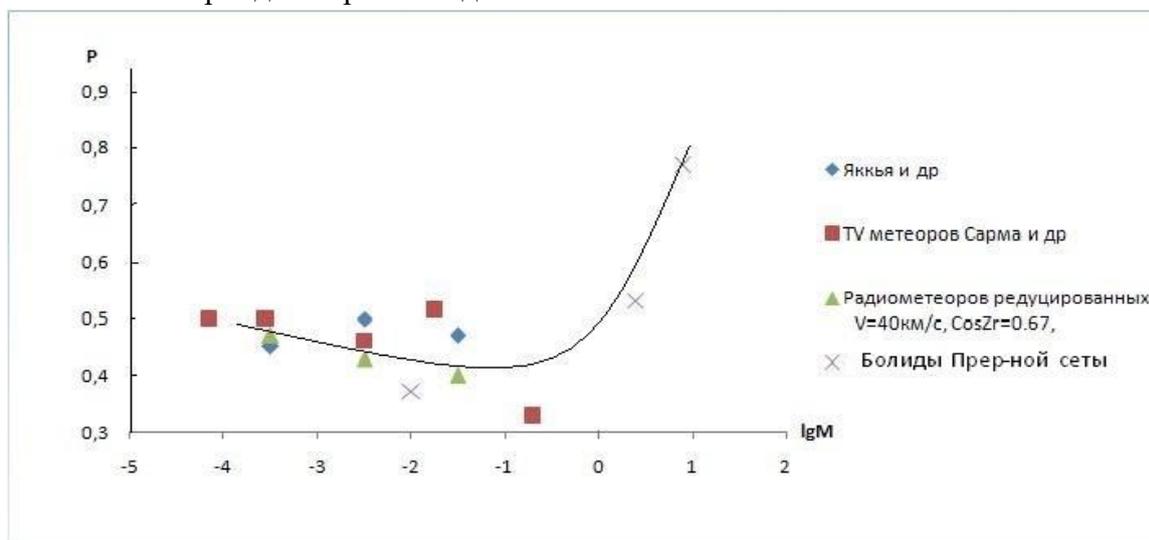


Рис. 3. Зависимость параметра P от массы метеороидов

Выводы

Для метеоров, зарегистрированных камерой Супер-Шмидта, телевизионных метеоров со звездной величиной $+1 \div +8.5 m$, зарегистрированных в Спрингхилле, кривые ионизации радиометеоров ярче $+ 5m$. Для полученных по результатам базисных радионаблюдений метеоров в ГисАО и фотографических метеоров, зарегистрированных в Душанбе, вычислены параметры P . Распределения P , построенные по разным источникам, имеют несимметричные формы.

По мере перехода от ярких к более слабым метеорам наблюдается смещение положения максимума блеска к начальной части траектории следа метеоров.

В кривых свечения болидов, завершившихся падением метеоритов, максимум распределения параметра P находится на второй половине траектории и составляет 0,74.

Выявлено, что увеличение числа метеоров на первой половине всех гистограмм распределения параметра P происходит примерно экспоненциально, а число метеоров на второй половине гистограмм уменьшается относительно медленно.

Работа выполнена при поддержке Международного научно-технического центра T-2113.

Список литературы:

1. Jacchia L.G., Verniani F., Briggs R.E. An analysis of the atmospheric trajectories of 413 precisely reduced photographic meteors // *Smithson. Contribs Astrophys.* 1967. 10, N 1. P. 1–139.
2. Гартман Н.А., Чеботарев Р.П. Кривые ионизации, массы и плотности 276 метеорных тел по радиолокационным наблюдениям с 5 пунктов // *Кометы и метеоры.* 1982. № 32. С. 23–36.
3. Narziev M. The form of ionization curves producing bright meteors. 45th Lunar and Planetary Science Conference (2014), PDF 1681.
4. Симоненко А.Н. Влияние дробления метеорных тел на фотометрическую кривую метеора // *Астрономический вестник.* 1979. № 13. С. 34.

5. Лебединец В.Н. Пыль в верхней атмосфере и космическом пространстве. Метеоры. Ленинград : Гидрометеониздат, 1980. 246 с.
6. Мак-Кроски Р.Е., Шао Ц.-И., Позен А. Болиды Прерийной сети. Общие сведения и орбиты // Метеоритика. 1978. Вып. 37. С. 44–57.
7. Церлеха Зд. Болиды Европейской сети // Метеоритика. 1978. Вып. 37. С.60–68.
8. Sarma T., Jones J. Double-Station observations of 454 TV meteors. I. Trajectories // Bull. Astron. Inst. Czechosl. 1985. 36, N 1. P. 9–24.
9. Сводный каталог элементов орбит и кривых блеска метеоров, сфотографированных в Институте астрофизики АН Таджикистана (Душанбе) ; отв. ред. П.Б. Бабаджанов. Душанбе : Дониш, 2006. 208 с.
10. Popova O., Borovicka J., Hartman W.K., Gnos E., Nemichinov, Trigo-Rodriguez J.M. Very low strength of interplanetary meteoroids and small asteroids // Meteorit, Planet. Sci. 46, p. 1525–1550 (2011).

*Институт астрофизики
АН Республики Таджикистан*

Поступила в редколлегию 05.04.2020