

П РА Ц І
ОДЕСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ

імені І. І. МЕЧНИКОВА

РІК ХСVIII

ТОМ 152

ВІСТІ
АСТРОНОМІЧНОЇ ОБСЕРВАТОРІЇ

ТОМ 5

ВИПУСК 2

МАТЕРІАЛИ МГР ПО МЕТЕОРАХ

ВИДАВНИЦТВО КИЇВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

1963

Т Р У Д Ы
ОДЕССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

имени И. И. МЕЧНИКОВА

ГОД ХСVIII

ТОМ 152

ИЗВЕСТИЯ
АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

ТОМ 5

ВИПУСК 2

МАТЕРИАЛЫ МГР ПО МЕТЕОРАМ

ИЗДАТЕЛЬСТВО КИЕВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

1963

Выпуск содержит результаты обработки фотографических, фотометрических и спектральных исследований метеоров во время МГГ.

Приведены элементы орбит 90 метеоров и параметры атмосферы в метеорной зоне.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

проф. В. П. ЦЕСЕВИЧ (ответственный редактор),

доц. А. М. ШУЛЬБЕРГ, научный сотрудник Р. Л. ДРЕЗИН

Печатается по постановлению
редакционно-издательского совета
Одесского государственного университета
имени И. И. Мечникова

Е. Н. КРАМЕР, В. А. ВОРОБЬЕВА, О. А. РУДЕНКО

**ОПЫТ РАБОТЫ НА МЕТЕОРНОМ ПАТРУЛЕ
ОДЕССКОЙ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ
ВО ВРЕМЯ МЕЖДУНАРОДНОГО ГЕОФИЗИЧЕСКОГО
ГОДА**

С июля 1957 года по декабрь 1958 года на станциях Одесской астрономической обсерватории велись фотографические наблюдения метеоров по программе МГГ. Ниже излагаются некоторые результаты обработки наблюдений. Первая глава посвящена вычислению гелиоцентрических орбит. Здесь исследуются их распределение в пространстве, связь метеорных потоков с кометами и с наблюдавшимися ранее потоками. Из 90 орбит 10 гиперболические. Авторы пытаются объяснить наличие гиперболических метеоров происходящими вблизи Земли процессами, в результате которых порождаются метеорные частицы, движущиеся либо по короткопериодическим, либо по гиперболическим орбитам.

Вторая глава посвящена вычислению параметров атмосферы в метеорной зоне. Существенным здесь является предположение о низкой плотности метеорных частиц. Получено хорошее внутреннее согласие результатов. На высоте 85—95 км плотность атмосферы, вычисленная по метеорным данным, совпадает с измеренной прямыми методами.

В третьей главе содержится описание метода определения времени полета метеора с помощью обтюратора переменного сечения; оценивается точность метода.

Первая глава написана Е. Н. Крамером и В. А. Воробьевой, вторая — Е. Н. Крамером, третья — В. А. Воробьевой и О. А. Руденко.

Глава I

ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКИЕ ОРБИТЫ 90 МЕТЕОРОВ

С июля 1957 года на станциях Одесской астрономической обсерватории ведется систематическое фотографирование метеоров. Патрулирование метеоров производится из трех пунктов. Основной фотографический агрегат с обтюратором переменного сечения [1] установлен на окраине села Маяки (А), два других — в селе Крыжановка (В) и на территории бота-

нического сада Одесского государственного университета в Одессе (С). Расстояния между пунктами наблюдения соответственно равны $AB=45$ км, $AC=39$ км и $BC=14$ км. Каждый из агрегатов состоит из четырех фотографических камер НАФА ЗС/25 ($F=250$ мм, $D=100$ мм), программирующего устройства и приборов контроля. Обтюратор состоит из синхронного трехфазного двигателя (1440 об/мин), двух редукторов и двух дисков с вырезами. На нижнем диске имеются два выреза, на верхнем — один. Следовательно, нижний диск в течение одного оборота двигателя дважды, а верхний — один раз перекрывают все объективы. Оба диска кинематически связаны редуктором. Коэффициент редукции $i=93024:93025$. Верхний диск в течение экспозиции непрерывно смещается относительно нижнего и делает относительно него один полный оборот в среднем за 1 час и 4 минуты. При некотором фиксированном положении дисков замыкается контакт нуля, соответствующий сигнал поступает в механизм перемотки пленки и одновременно регистрируется на ленте хронографа. Для контроля числа оборотов применяется контактный датчик, связанный с валом мотора вторым редуктором. Через каждые 250 оборотов основного вала производится отпечаток на ленте хронографа.

До 1 января 1959 года получено больше ста базисных фотографий метеоров. Для 90 метеоров вычислены гелиоцентрические орбиты. В наблюдениях принимали участие: Воробьева В. А., Израецкая Н. Н., Крамер Е. Н., Ланге Г. А., Руденко О. А. и Теплицкая Р. Б. Измерение снимков и предварительные вычисления производили под руководством Крамера Е. Н. следующие сотрудники обсерватории: Воробьева В. А., Израецкая Н. Н., Маркина А. К., Руденко О. А., Силаев А. Б., Теплицкая Р. Б. и Ширяева Е. П., а также вычислители-операторы: Кордюкова А. И., Власенко Ж. А. и Межеричкая Р. Б.

Вычисление гелиоцентрических элементов. Сферические координаты видимого радианта t и δ исправлялись за зенитное притяжение и аберрацию при помощи дифференциальных поправок, определяемых по обычным формулам [2, 3]:

за зенитное притяжение

$$\begin{aligned} \Delta t_1 \cos \delta &= \Delta z \sin P, \\ \Delta \delta_1 &= -\Delta z \cos P, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\Delta z = z_{\text{испр.}} - z_{\text{набл.}}$, P — паралактический угол; z — зенитное расстояние радианта;

за аберрацию

$$\begin{aligned} \Delta t_2 &= 1594' \cdot 2 \cdot \frac{\cos \varphi \cos t}{v \cos \delta}, \\ \Delta \delta_2 &= -1594' \cdot 2 \cdot \frac{\cos \varphi \sin t \sin \delta}{v}. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь φ — широта места наблюдения, v — скорость метеора (при вычислении поправок снималась с графика).

Время полета метеора вычислялось по чередованию штрихов различной длины на снимках, полученных на установке с обтюратором переменного сечения. Это позволило для каждого сфотографированного метеора вычислить прямое восхождение радианта. Во время наблюдения Геминид 1958 года на ленте хронографа не печатался нульпункт шкалы времени. Пришлось решать обратную задачу — по среднему радианту Геминид вычислить нульпункт и затем время полета каждого метеора (в частности, яркого метеора № 100).

Видимая относительная скорость v_0 исправлялась за сопротивление воздуха, зенитное притяжение и аберрацию. Для вычисления внеатмосферной скорости метеора можно воспользоваться уравнением движения метеорной частицы в сопротивляющейся среде [4]:

$$m \frac{dv}{dt} = -\Gamma \rho_a s v^2, \quad (3)$$

где m — масса метеорной частицы, Γ — коэффициент сопротивления, ρ_a — плотность атмосферы и s — площадь миделевого сечения. Для сферической частицы

$$\frac{s}{m} = A m^{-1/3}, \quad (4)$$

коэффициент A зависит от плотности метеорной частицы ρ_m . В среднем $\rho_m = 0.1$ г/см³ [5]. Масса метеорной частицы вычисляется из уравнения свечения [6]:

$$I = \beta \frac{dm}{dt} \frac{v^2}{2}, \quad \lg I = -0.4 M + 9.72, \quad (5)$$

где M — блеск метеора, β — некоторый коэффициент, который зависит от структуры и массы метеорной частицы. Таким образом, точную величину внеатмосферной скорости метеоров можно получить после интегрирования уравнения движения (3) и уравнения свечения (5) по формуле [4]:

$$v_{\infty} = v_0 e^{-\Gamma A \frac{m^{-1/3}}{\cos \varphi} \int_{H_0}^{\infty} \rho_a dh}. \quad (6)$$

При этих вычислениях можно воспользоваться величиной плотности атмосферы ρ_a , полученной из прямых измерений. Однако, вычисление массы метеора несколько затруднено из-за неуверенности в выборе величины β , что несколько усложняет применение формулы (6).

Если представить измеренные значения скорости v_i интерполяционной формулой [7]:

$$v = A + B e^{ct}, \quad (7)$$

то скорость метеорной частицы вне атмосферы равна $v_\infty = A$. При этом, однако, экстраполируется зависимость скорости от времени на участки, лежащие далеко за пределами измеренной части траектории.

Так как мы вычисляли скорость и торможение методами графического сглаживания, то в первом приближении при вычислении внеатмосферной скорости можно было ограничиться предположением, что плотность атмосферы над метеорной зоной изменяется по закону:

$$\rho_a = \rho_0 e^{-\frac{h}{H_0^*}}, \quad (8)$$

где ρ_0 — плотность атмосферы в некоторой фиксированной точке (в этой точке измерялись скорость v_0 и торможение j_0 метеора); H_0^* — высота однородной атмосферы. В таком случае (3) может быть записано в следующем виде:

$$\frac{dv}{v} = \Gamma \frac{s}{m} \frac{\rho_0}{\cos z} e^{-\frac{h}{H_0^*}} dh. \quad (9)$$

Откуда

$$v_\infty = v_0 e^{-\frac{j_0 H_0^*}{\cos z v_0^2}}. \quad (10)$$

Разложив это решение уравнения (9) в ряд и пренебрегая величинами высшего порядка, получим рабочую формулу для вычисления внеатмосферной скорости [7]:

$$v_\infty = v_0 \left[1 - \frac{j_0 H_0^*}{\cos z v_0^2} \right], \quad (11)$$

где z — зенитное расстояние радианта, $H_0^* = 7.5$ км.

Геоцентрическая скорость вычислялась с учетом зенитного притяжения и суточной абберации по известным формулам [3, 8]:

$$\begin{aligned} (\bar{v}_g)^2 &= v_\infty^2 + u^2 - 2v_\infty u \cos \psi, \\ \cos \psi &= \cos \delta \cos [\alpha - (S + 90^\circ)], \end{aligned} \quad (12)$$

$$v_g = \sqrt{\bar{v}_g^2 - 2g\rho}, \quad (13)$$

где α , δ — координаты радианта, S — звездное время, u и ρ — линейная скорость вращения и радиус Земли, g — ускорение свободного падения.

Элементы орбиты вычислялись по формулам [9]:

$$\sqrt{p} \cos i = R_t v_g \sin (\lambda_R - \lambda_\odot) \cos \beta_R + \sqrt{p_t}, \quad (14)$$

$$\sqrt{p} \sin i = R_t v_g |\sin \beta_R|, \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \Omega &= \lambda_\odot && \text{при } \beta_R > 0, \\ \Omega &= \lambda_\odot + 180^\circ && \text{при } \beta_R < 0. \end{aligned} \quad (16)$$

$$e \sin \theta = \sqrt{p} [v_g \cos \beta_R \cos (\lambda_R - \Omega) - \frac{e_t}{\sqrt{p_t}} \sin (\Omega - \pi_t)], \quad (17)$$

$$e \cdot \cos \theta = \frac{p}{R_t} - 1, \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \omega &= 180^\circ - \theta && \text{при } \beta_R > 0, \\ \omega &= \theta && \text{при } \beta_R < 0, \end{aligned} \quad (19)$$

$$\frac{1}{a} = \frac{2}{R_t} - v_h^2. \quad (20)$$

Контроль:

$$\frac{1}{a} = \frac{1 - e^2}{p}. \quad (21)$$

Здесь, кроме обычных обозначений элементов орбиты метеора и Земли (последние со значком t), λ_R и β_R — эклиптические координаты видимого радианта; v_g , v_h — геоцентрическая и гелиоцентрическая скорости метеора (в единицах средней орбитальной скорости Земли); R_t — гелиоцентрическое расстояние Земли в момент наблюдения и λ_\odot — долгота Солнца.

Применение этих формул освобождает от необходимости вычислять координаты истинного радианта.

Элементы орбиты. В таблице 1 приведены элементы орбиты и другие данные для 90 метеоров, наблюдавшихся с июля 1957 года по декабрь 1958 года.

В 1-й строке таблицы дается номер метеора, год (после 1900) и номер месяца наблюдения;

во 2-й и 3-й — дата всемирного времени и звездное время в момент полета метеора;

в 4-й — долгота Солнца;

в 5-й и 6-й — координаты видимого радианта (часовой угол и склонение);

в 7-й и 8-й — координаты исправленного радианта (прямое восхождение и склонение, эпоха 1950.0);

в 9-й — скорость v_0 км/сек в некоторой средней точке пути метеора;

в 10-й — скорость (v_∞), исправленная за сопротивление воздуха;

в 11-й — геоцентрическая скорость v_g км/сек;
 в 12-й — гелиоцентрическая скорость v_h км/сек;
 в 13-й — ускорение в точке, где измерялась скорость v_0 ;
 в 14-й—16-й — высоты первого и последнего штрихов и продолжительность метеора;
 в 17-й — косинус зенитного расстояния видимого радианта;
 в 18-й — ϵ_d — элонгация исправленного радианта от апекса Земли;
 в 19-й—24-й — элементы орбиты;
 в 25-й — q' — расстояние в афелии (астр. ед.);
 в 26-й — n — число перерывов, которое, в частности, зависит от положения лопастей обтуратора.

Метеоры измерялись дважды. Вычисления производились для каждого измерения в отдельности. Были получены две системы элементов. Если обозначить геоцентрические скорости первого и второго вариантов соответственно через $(v_0)_I$ и $(v_0)_{II}$, то величина

$$\frac{\Delta}{2} = \frac{(v_0)_{II} - (v_0)_I}{2} \quad (22)$$

дает возможность перейти от приведенных в таблице 1 значений v_0 к их средним из двух измерений значениям.

В 27-й строке приведены поправки $\frac{\Delta}{2}$, так что всегда можно оценить скорость

$$(v_0)_{cp.} = v_0 + \frac{\Delta}{2}. \quad (23)$$

В 28-й строке приведен синус угла сближения — угла между дугами больших кругов, проведенных через фотометеоры на базисных снимках. В случае, когда метеор сфотографирован из трех пунктов, дается большее значение $\sin Q$ — вычисления тогда производились для соответственных снимков.

В 29-й строке приведены значения величины K , характеризующей связь метеоров с кометами или астероидами. По Уипплу [10], при $K < 0$ возможно происхождение метеора из астероидов, при $K > 0$ предпочтительнее связь метеора с кометами.

В 30-й строке даны сведения о принадлежности метеора к потоку или о его связи с кометой; отсутствие данных для конкретного метеора позволяет отнести его к спорадическим.

По этой классификации все метеоры распределяются следующим образом: Персеиды — 28 метеоров, Гемниды — 8, δ -Аквариды — 2, Ориониды — 2, Таврид — 1, спорадических — 49. Из 49 спорадических метеоров 15 связаны с менее известными потоками. В таблице 2 приведены радианты этих метеоров; для сравнения здесь же даны даты максимумов и координаты радианта соответствующего потока.

Таблица 1

1	№ год. месяц	1:57:7	2:57:7	3:57:7	4:57:7	6:57:7	7:57:7	13:57:8	14:57:8
2	Дата UT	29:097	29:098	29:899	30:921	30:972	30:973	20:802	20:897
3	Зв. время S	22 25:4	20 17:9	20 06	22 39:4	21 54:3	21 54:6	19 11	21 27:7
4	λ_0	126°27'	126°23'	126°22'	127°20'	127°23'	127°25'	147°22'	147°28'
5	Вид. радиант	21 25:4	21 41:4	18 10:4	20 30:8	23 52:7	19 44:8	2 06:2	0 26:2
6	δ	35°26'	15°33'	54°05'	20°12'	15°30'	54°16'	65°05'	6°12'
7	Испр. радиант	14°54'	339°20'	29°36'	2°17'	329°55'	32°51'	251°11'	314°14'
8	δ_R	35°25'	—	16°52'	20°00'	17°30'	54°23'	65°30'	3°27'
9	v_0 км/сек.	64.9	42.5	60.5	61.3	36.6	58.5	24.3	23.0
10	v_{50} км/сек	61.9	43.9	60.7	61.4	37.3	58.6	25.5	24.6
11	v_g км/сек	63.8	42.3	59.4	60.2	35.6	57.3	23.0	23.1
12	v_h км/сек	40.3	38.7	41.7	38.6	38.5	39.7	38.5	40.4
13	f	-0.30	-2.70	-1.0	-0.70	-1.60	-0.60	-3.64	-3.62
14	H_k км	103.1	95.5	108.8	98.5	92.2	108.3	97.8	93.3
15	H_n км	92.3	89.5	94.5	76.0	84.3	87.5	94.9	89.5
16	Δt сек	0.17	0.39	0.605	0.57	0.47	0.47	0.14	0.23
17	$\cos z_R$	0.859	0.352	0.605	0.646	0.466	0.766	0.903	0.759
18	ϵ_d	27°54'	62°27'	40°29'	32°08'	71°57'	40°19'	93°58'	99°46'
19	e	0.860	0.980	0.987	0.855	0.940	0.818	0.699	0.902
20	q	0.968	0.075	0.957	0.500	0.201	0.934	1.007	0.702
21	w	151°56'	152°10'	152°49'	275°49'	130°58'	145°23'	171°48'	249°16'
22	ω	136°27'	306°23'	126°22'	127°20'	307°25'	127°25'	147°22'	147°28'
23	i	133°27'	30°19'	112°54'	140°28'	9°35'	111°48'	36°16'	137°20'
24	a	6.90	3.57	7.9	3.45	3.33	5.24	3.35	7.20
25	q'	12.83	7.07	143.6	6.40	6.46	9.55	5.70	13.69
26	n	18	40	56	56	69	68	20	23
27	i_a км/сек	+1.50	+0.04	+0.07	-0.10	-0.10	+0.19	0.00	-0.10
28	$\sin Q$	0.143	0.355	0.375	0.308	0.959	0.038	0.364	0.392
29	K	0.96	1.55	2.06	0.65	1.03	0.71	0.26	1.15
30	Класс		δ Аквар.	Персеид	δ Аквар.	Персеид	Персеид	ξ Драк.	

Продолжение таблицы 1

1	№ _г , г., м.	16:57,8	17:57,8	18:57,8	19:57,8	20:57,10	21:57,10	22:57,10
2	UT	25,825	28,813	19,890	28,843	17,822	19,857	22:57,10
3	S	20 04,5	19 57,9	21 14	20 41,3	23 29,3	20 27,1	19 848
4	λ(°)	152°13'	155°06'	146°29'	155°07'	204°04'	206°05'	206°04'
5	t	2 48,9	0 12,6	5 16,9	20 05,1	0 16,6	21 43,5	23 34,9
6	α _R	64°41'	63°13'	55°51'	62°03'	63°09'	12°59'	23°01'
7	α _R	254°02'	293°43'	280°56'	9°36'	346°44'	41°15'	9°06'
8	δ _R	64°45'	53°21'	55°48'	62°17'	63°37'	11°48'	21°00'
9	υ ₀	24,8	28,7	24,9	50,9	32,1	31,3	20,0
10	υ _∞	25,3	29,2	25,3	52,1	32,1	32,7	20,0
11	υ _g	22,9	27,1	22,9	50,6	30,1	30,6	18,1
12	υ _h	38,5	38,8	38,8	41,6	41,3	38,0	37,5
13	J	-1,20	-3,64	-0,95	-6,3	—	-4,15	-2,90
14	H _h	95,0	93,8	92,5	109,9	95,9	87,4	87,2
15	H _κ	74,0	89,1	84,9	99,3	82,5	78,6	80,9
16	Δ	0,69	0,32	0,26	0,42	0,42	0,40	0,36
17	cos z _R	0,873	0,640	0,957	0,808	0,957	0,719	0,914
18	ε _A	93°54'	96°34'	86°30'	54°59'	86°48'	74°35'	99°50'
19	e	0,692	0,728	0,721	0,958	0,922	0,863	0,683
20	ω	1,008	0,986	0,990	0,995	0,847	0,275	0,722
21	ω	173°23'	199°40'	197°21'	215°43'	226°30'	124°13'	250°49'
22	ι	152°13'	151°27'	155°06'	155°07'	204°04'	268°05'	206°04'
23	ι	36°12'	33°51'	43°48'	85°37'	49°51'	5°40'	8°28'
24	a	3,27	3,62	3,55	21,7	10,8	2,02	2,35
25	a'	5,54	6,25	6,11	42,9	20,7	3,77	3,98
26	n	96	32	26	62	62	42	36
27	1/2Δ	-0,16	+0,03	-0,08	-0,05	-0,00	-0,44	-0,06
28	sin Q	0,457	0,905	0,346	0,362	0,463	0,252	0,682
29	K	0,24	0,22	0,34	0,34	1,45	0,43	0,11
30	Класс	ξ Драк.	κ Лебедя	κ Лебедя	κ Лебедя	λ Кита	λ Кита	λ Кита

№_г, г., м.

23:57,10

UT

20,027

S

4 32,6

λ(°)

208°15'

t

17 28,2

δ

37°42'

α_R

166°41'

δ_R

37°29'

υ₀

64,3

υ_∞

64,3

υ_g

63,0

υ_h

46,4

H_h

109,0

H_κ

102,7

Δ

0,28

cos z_R

0,367

ε_A

44°10'

e

1,242

ω

0,574

ω

1028°39'

ι

208°15'

ι

115°52'

a

-2,37

a'

—

n

28

1/2Δ

-0,18

sin Q

0,333

K

0,34

Класс

ξ Драк.

Продолжение таблицы 1

1	№ _г , г., м.	23:57,10	24:57,10	25:57,10	26:57,10	27:57,10	28:57,10	29:57,10	30:57,10
2	UT	20,027	27,812	28,103	29,098	28,114	29,098	28,114	31:57,11
3	S	4 32,6	23 52,9	6 57	6 50,1	7 13,7	7 13,7	7 13,7	22,808
4	λ(°)	208°15'	214°01'	214°18'	215°18'	214°19'	214°19'	214°19'	h m
5	t	17 28,2	6 37,6	0 15,2	0 08,6	0 48,6	0 48,6	0 48,6	h m
6	δ	37°42'	58°35'	18°00'	16°24'	24°21'	24°21'	24°21'	h m
7	α _R	166°41'	255°41'	100°09'	100°05'	95°53'	95°53'	95°53'	h m
8	δ _R	37°29'	53°39'	17°48'	16°11'	0°32'	0°32'	0°32'	h m
9	υ ₀	64,3	29,5	68,3	66,9	63,0	63,0	63,0	h m
10	υ _∞	64,3	30,3	69,2	67,1	63,0	63,0	63,0	h m
11	υ _g	63,0	28,5	68,4	66,2	62,0	62,0	62,0	h m
12	υ _h	46,4	43,3	43,4	41,9	41,7	41,7	41,7	h m
13	J	—	-1,66	-7,50	-1,8	—	—	—	h m
14	H _h	109,0	100,8	111,4	108,7	102,0	89,9	89,9	h m
15	H _κ	102,7	88,8	95,1	97,3	94,3	73,4	73,4	h m
16	Δ	0,28	0,80	0,26	0,20	0,18	0,13	0,13	h m
17	cos z _R	0,367	0,534	0,878	0,866	0,686	0,766	0,598	h m
18	ε _A	44°10'	94°54'	25°59'	27°16'	36°07'	83°23'	15°39'	h m
19	e	1,242	1,077	1,064	0,980	0,971	0,803	0,803	h m
20	ω	0,574	0,973	0,518	0,518	0,563	0,441	0,441	h m
21	ω	1028°39'	163°49'	80°04'	88°06'	83°09'	284°00'	158°29'	h m
22	ι	208°15'	214°01'	34°18'	35°18'	34°19'	240°08'	240°08'	h m
23	ι	115°52'	140°17'	168°46'	164°46'	130°32'	1°44'	1°44'	h m
24	a	-2,37	-12,6	-8,93	25,38	19,77	2,24	2,24	h m
25	a'	—	—	—	50,26	38,98	4,04	4,04	h m
26	n	28	78	26	20	27	78	14	h m
27	1/2Δ	-0,18	-0,04	+1,57	-0,02	+0,66	-0,02	-0,07	h m
28	sin Q	0,333	0,999	0,700	0,700	0,685	0,095	0,109	h m
29	K	0,34	1,33	1,46	2,38	2,13	0,32	0,63	h m
30	Класс	ξ Драк.	κ Лебедя	κ Лебедя	κ Лебедя	λ Кита	λ Кита	λ Кита	

1	№, г., м.	35:57-12	36:57-12	37:58-1	39:58-3	40:58-3	Продолжение таблицы 1	
2	UT	14 919	14 952	14 978	18 782	19 014	41:58,3	42:58,6
3	S	5 390	6 248	3 56	19 46	14 05,4	15 57,0	17 40,7
4	λ _⊙	262°34'	263°36'	288°54'	357°33'	357°47'	2 49	89°52'
5	t	21 05,9	22 48,5	0 56,4	21 56,2	1 01,6	2 36,8	19 52,2
6	b	30°44'	32°31'	39°06'	60°24'	5°57'	-8 46'	11°56'
7	α _R	129°05'	113°48'	42°06'	176°06'	184°44'	198°47'	327°21'
8	δ _R	30°01'	32°14'	37°22'	64°45'	4°00'	-10°18'	11°36'
9	ω ₀	28,7	36,4	15,8	19,1	27,7	36,2	62,8
10	ω _∞	28,7	36,5	17,3	20,4	28,1	39,0	63,3
11	σ _g	26,2	34,7	13,4	16,9	26,0	37,6	62,0
12	τ _h	24,2	34,2	41,8	39,5	37,6	41,2	43,6
13	j	—	-0,48	-3,18	-2,90	-0,92	-5,75	-1,68
14	H _h	91,3	87,9	135,6	83,6	84,8	98,0	104,2
15	H _k	85,2	77,0	120,6	60,5	77,4	85,0	94,4
16	Δt	0,80	0,32	1	1,25	0,38	0,83	0,32
17	cos z _R	0,26	0,943	0,976	0,922	0,696	0,418	0,467
18	ε _A	50°00'	63°05'	142°30'	111°03'	84°08'	70°10'	34°12'
19	e	0,834	0,898	0,930	0,744	0,799	0,954	0,963
20	q	0,121	0,142	0,958	0,960	0,480	0,187	0,638
21	ω	338°21'	323°55'	198°43'	204°02'	279°37'	131°35'	256°02'
22	Q	262°34'	262°56'	288°54'	357°33'	357°47'	89°52'	109°54'
23	i	20°39'	23°35'	6°29'	20°56'	5°11'	4°32'	131°47'
24	a	0,730	1,40	13,74	3,74	2,38	4,12	17,0
25	q'	1,34	2,65	26,5	6,52	4,28	8,05	33,4
26	ψ	26	32	106	119	38	81	32
27	1/α _A	0,00	0,00	+0,21	+0,20	+0,17	-0,11	-0,01
28	sin Q	0,031	0,397	0,588	0,296	0,640	0,196	0,032
29	K	-0,09	0,42	0,72	0,46	0,33	1,25	1,95
30	Класс	ψ Рака	Геминид					

№, г., м.
UT

S

λ_⊙

t

b

α_Rδ_Rω₀ω_∞σ_gτ_h

j

H_hH_k

Δt

cos z_Rε_A

e

q

Q

i

a

q'

ψ

1/α_A

sin Q

K

Класс

1	№, г., м.	44:58,7	45:58,7	46:58,7	48:58,8	49:58,8	Продолжение таблицы 1	
2	UT	15 866	21 997	22 970	8 983	8 965	50:58,8	51:58,8
3	S	18 20,6	21 52,1	22 19	22 43,2	22 17,7	8 981	9 868
4	λ _⊙	112°43'	118°34'	119°30'	135°46'	135°45'	22 41,3	20 01,6
5	t	21 53,8	22 18,0	20 06,3	19 55,5	4 13,9	135°46'	136°37'
6	b	53°42'	16°08'	-8°22'	57°04'	39°36'	22 15,2	18 41,2
7	α _R	306°46'	353°33'	18°24'	42°02'	264°25'	63°54'	69°20'
8	δ _R	53°58'	15°55'	-8°52'	57°14'	36°19'	61°18'	21°26'
9	ω ₀	38,9	64,8	68,4	60,8	18,4	64°13'	69°32'
10	ω _∞	40,3	65,0	68,7	61,1	19,2	51,0	51,5
11	σ _g	38,6	63,9	67,5	59,8	16,1	51,1	51,9
12	τ _h	41,5	42,3	41,9	38,4	38,8	49,7	50,4
13	j	-7,25	-1,60	-0,73	-2,2	-1,35	40,2	41,1
14	H _h	96,9	91,6	111,6	107,8	80,2	-0,50	-1,69
15	H _k	85,5	84,1	104,6	99,3	73,2	104,7	106,2
16	Δt	0,31	0,14	0,39	0,28	0,53	89,8	92,9
17	cos z _R	0,931	0,799	0,252	0,789	0,699	0,28	0,45
18	ε _A	73°40'	32°39'	22°17'	40°32'	114°34'	0,923	0,721
19	e	0,962	1,025	1,007	1,023	0,736	53°59'	54°30'
20	q	0,965	0,551	0,827	0,953	0,994	0,841	0,923
21	ω	206°26'	264°29'	51°01'	151°53'	197°23'	1,012	1,000
22	Q	112°43'	118°34'	299°30'	135°46'	135°45'	185°25'	166°08'
23	i	62°49'	142°35'	151°40'	113°05'	21°04'	135°46'	136°37'
24	a	25,7	-22,2	-110	-41,7	3,77	89°49'	89°45'
25	q'	50,4	—	—	6,56	6,56	6,36	13,1
26	ψ	46	21	38	30	53	11,7	25,2
27	1/α _A	-0,20	-0,08	-0,17	+0,05	-0,12	32	46
28	sin Q	0,032	0,347	0,243	0,548	0,144	+0,04	-0,008
29	K	2,42	2,26	3,47	2,57	0,35	0,90	1,57
30	Класс	ψ Рака	Геминид				β Касс.?	β Касс.?

Продолжение таблицы 1

1	№, г., м. UT	54:58:8 11,012	56:58:8 12,033	57:58:8 11,888	58:58:8 13,001	59:58:8 12,971	60:58:8 12,969	61:58:8 13,034
2	<i>h</i>	23 34,6	0 09,8	0 07,7	20 39,0	22 41,9	22 40,5	0 13,7
3	<i>S</i>	137°43'	138°42'	138°49'	138°34'	139°36'	139°36'	139°40'
4	λ_{\odot}	20 46,9	21 03,3	21 37,3	20 16,1	19 24,2	19 28,5	20 59,1
5	<i>t</i>	57°48'	58°44'	57°58'	58°12'	57°27'	56°57'	58°55'
6	<i>b</i>	42°03'	46°39'	37°30'	46°21'	49°50'	48°22'	48°41'
7	α_R	58°00'	58°56'	28°30'	57°57'	57°35'	57°05'	59°07'
8	δ_R	60,3	61,0	71,1	60,2	63,3	64,4	60,4
9	v_0	60,6	62,3	71,2	60,7	63,3	64,4	60,6
10	v_{∞}	59,3	61,0	70,1	59,3	61,7	63,1	59,3
11	v_g	41,8	43,6	42,2	41,6	43,7	44,4	42,0
12	v_h	—	—	—	—	—	—	—
13	<i>J</i>	-2,35	-8,63	-0,50	-2,30	-0,25	-0,25	-0,84
14	H_h	107,2	108,3	108,2	95,4	114,4	114,6	108,3
15	H_k	81,5	97,4	87,6	83,3	96,5	104,2	94,6
16	Δt	0,51	0,19	0,33	0,35	0,39	0,22	0,26
17	$\cos Z_R$	0,857	0,876	0,888	0,777	0,749	0,744	0,871
18	ε_A	40°50'	41°23'	13°53'	40°35'	39°49'	39°17'	41°18'
19	<i>e</i>	0,989	1,152	1,028	0,976	1,177	1,168	1,240
20	<i>q</i>	0,967	0,952	0,996	0,948	0,956	0,944	0,956
21	ω	155°14'	152°34'	194°50'	150°23'	153°18'	150°30'	153°33'
22	Ω	137°43'	138°42'	138°42'	138°34'	139°38'	139°36'	139°40'
23	<i>i</i>	11°10'	11°43'	11°52'	11°52'	11°09'	11°42'	11°47'
24	<i>a</i>	89,5	—	34,5	34,9	—	—	—
25	<i>q'</i>	178	—	68,8	—	-5,72	-5,89	-103,5
26	n	50	19	34	35	56	32	26
27	$n_{\text{вн}}$	-0,02	+0,85	+0,29	+0,15	+1,10	-0,21	+0,03
28	$\sin Q$	0,215	0,018	0,277	0,089	0,690	0,082	0,053
29	<i>K</i>	3,63	0,93	2,40	2,51	0,82	0,86	0,57
30	Класс	Персеид	Персеид	γ Треуг.	Персеид	Персеид	Персеид	Персеид

Продолжение таблицы 1

1	№, г., м. UT	62:58:8 13,001	64:58:8 12,936	64:58:8 12,936	65:58:8 12,928	66:58:8 12,995	67:58:8 12,979	68:58:8 13,001
2	<i>h</i>	23 26,7	22 38,1	21 51,8	21 39,6	23 17,0	22 54,2	23 26,8
3	<i>S</i>	139°38'	139°38'	139°34'	139°34'	139°37'	139°36'	139°38'
4	λ_{\odot}	20 15,2	20 33,6	20 33,6	20 33,0	20 06,4	19 41,0	20 09,5
5	<i>t</i>	58°10'	—	27°30'	27°30'	57°15'	57°24'	58°16'
6	<i>b</i>	48°06'	351°30'	19°38'	19°49'	48°15'	48°42'	49°37'
7	α_R	58°21'	-9°01'	27°22'	27°21'	58°03'	57°25'	58°27'
8	δ_R	63,5	42,4	60,5	60,8	60,8	59,8	60,2
9	v_0	63,6	42,8	60,5	61,0	61,2	60,0	60,6
10	v_{∞}	62,3	41,3	59,2	61,2	59,2	58,7	59,3
11	v_g	44,3	37,6	35,8	37,7	41,8	40,7	41,6
12	v_h	—	—	—	—	—	—	—
13	<i>J</i>	-0,58	-1,20	—	-9,0	-1,4	-1,15	-2,4
14	H_h	114,5	97,0	97,5	97,5	109,4	107,6	106,4
15	H_k	84,7	89,8	74,0	74	97,2	99,6	96,5
16	Δt	0,57	0,29	0,66	0,66	0,32	0,18	0,20
17	$\cos Z_R$	0,818	0,567	0,714	0,713	0,661	0,769	0,810
18	ε_A	40°33'	61°40'	27°33'	27°24'	40°16'	39°43'	40°40'
19	<i>e</i>	1,227	0,977	0,687	0,758	0,930	0,897	0,980
20	<i>q</i>	0,956	0,059	0,593	0,642	0,946	0,939	0,936
21	ω	153°47'	154°43'	271°04'	261°21'	150°06'	148°11'	147°48'
22	Ω	130°38'	139°36'	139°34'	139°34'	139°37'	139°36'	139°38'
23	<i>i</i>	11°434'	20°31'	142°24'	143°44'	113°51'	113°27'	112°40'
24	<i>a</i>	—	2,64	1,89	2,65	27,6	9,12	52,9
25	<i>q'</i>	—	4,22	3,20	—	26,2	17,3	105
26	n	56	29	64	64	48	18	20
27	$n_{\text{вн}}$	-0,07	+0,01	+0,22	-0,22	+0,33	-0,07	+0,10
28	$\sin Q$	0,090	0,375	0,153	—	0,462	0,732	0,382
29	<i>K</i>	0,62	1,37	0,09	—	4,14	1,21	1,68
30	Класс	Персеид	Персеид	η Рыб	Персеид	Персеид	Персеид	Персеид

Поток *i* Лебеда, по-видимому, совпадает с *κ* Лебеда Нортон и Якия [10]. Об этом свидетельствуют скорости метеоров и полуоси их орбит (3,12 и 3,58 соответственно для 16 и 18-го метеоров; Уиппл [10] для метеора 2185 получил полуосу 3,53).

Таблица 2

№ метеора, поток	Дата	α	δ	v_{∞}
13	20 авг.	251° 2	+ 65° 5	25,5 км/сек
15	25 авг.	254,0	+ 64,7	25,3
ξ Драк.	9—21 авг.	266	+ 57	
16	25 авг.	284,9	+ 53,3	24,5
18	19 авг.	280,9	+ 55,8	25,3
<i>i</i> Лебеда	15—25 авг.	291	+ 52	23,8
21	19 окт.	41,2	+ 11,8	32,7
86	11 окт.	45,1	+ 10,3	18,9
λ Кита	13—24 окт.	45	+ 10	
27	28 окт.	100,1	+ 17,8	69,2
28	29 окт.	100,1	+ 16,2	67,1
33	30 окт.	100,1	+ 14,1	58,4
ζ Близн.	18—30 окт.	103	+ 19	
35	15 дек.	129,1	+ 30,0	28,7
ψ Рака	12 дек.	121	+ 25	
45	22 июля	353,5	+ 15,9	65,0
α Пегаса	с 23 июля	353	+ 16	
50	10 авг.	6,3	+ 64,2	51,1
51	10 авг.	21,4	+ 69,5	51,9
β Касс.	19 июля—15 авг.	14	+ 63	
56	12 авг.	37,5	+ 28,5	71,2
γ Треуг.	8—11 авг.	35	+ 34	
64	13 авг.	19,6	+ 27,3	60,5
<i>h</i> Рыб	10—13 авг.	14	+ 29	

Метеоры 21 и 86, наблюдавшиеся соответственно в 1957 и 1958 годах, возможно, принадлежат одному потоку, хотя по скорости и, следовательно, по элементам орбиты они несколько отличаются. По всей видимости, это старый поток, испытавший значительные возмущения.

Таблица 3

Метеор, комета	Дата	α	δ	ω	Ω	i	q	e	Δ	Прим.
23	окт. 20	166° 7	+ 37° 5	103° 7	206° 2	115° 9	0.574	>1		
88	окт. 18	155.5	+ 37.2	109.9	204.9	128.6	0.646	>1		
1739	окт. 24	160	+ 38.5	104.8	207.4	124.3	0.674	1	0.078	[9]
45	июль 22	353.5	+ 15.9	264.5	118.6	142.6	0.551	>1		
α Пег.	июль 23	353	+ 16							[12]
1770 II	июль 20	354	+ 14	260.3	108.7	148.6	0.528	1	0.062	[9]
94	дек. 5	58.4	+ 23.9	249.1	252.1	1.9	0.722	0.709		
γ Тельца	нояб. 29	64	+ 23	266.2	247.7	1.6	0.526	1		[11,13]
1702	дек. 2	57	+ 26	309.8	189.0	4.4	0.647	1	0.061	[9]

Мы не останавливаемся здесь на хорошо известной генетической связи между такими потоками, как Персеиды, Ориониды и др. с кометами, однако уместно отметить менее известное родство слабых потоков с кометами. В таблице 3 приведены три случая такой связи. Здесь Δ — минимальное расстояние между орбитами кометы и Земли.

В 29-й строке таблицы 1 приведены численные значения

$$K = \lg \frac{a(1+e)}{1-e} - 1. \quad (24)$$

Только для двух метеоров (35 и 86) $K < 0$, что составляет 2% от общего числа метеоров. По данным Уиппла [10], 90% метеоров имеют кометное происхождение. В то время, как 10% движутся по орбитам астероидного типа. Этот вывод был сделан впервые Уипплом после обработки 144 метеорных фотографий. Все метеоры с $K < 0$ — это сравнительно слабые метеоры, которые на наших фотографиях не выходят.

На рис. 1 приведена зависимость наклонности орбиты *i* от перигелийного расстояния *q*. Как и следовало ожидать, *i* и *q* концентрируются при значении $q=1$ и при $i=0$, что является

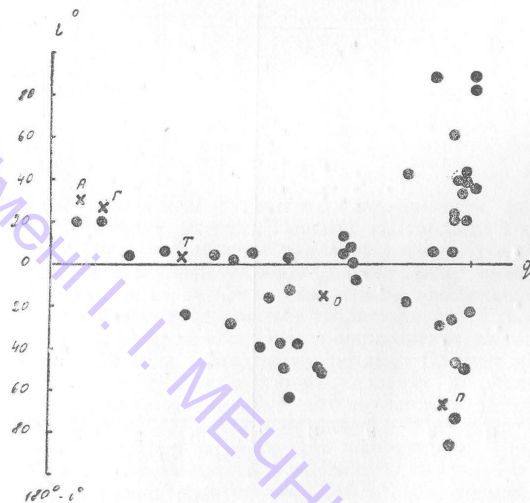


Рис. 1. Распределение наклонностей в зависимости от перигелийного расстояния.

следствием геометрического фактора условий наблюдений. При больших наклонностях *i* эта закономерность несколько

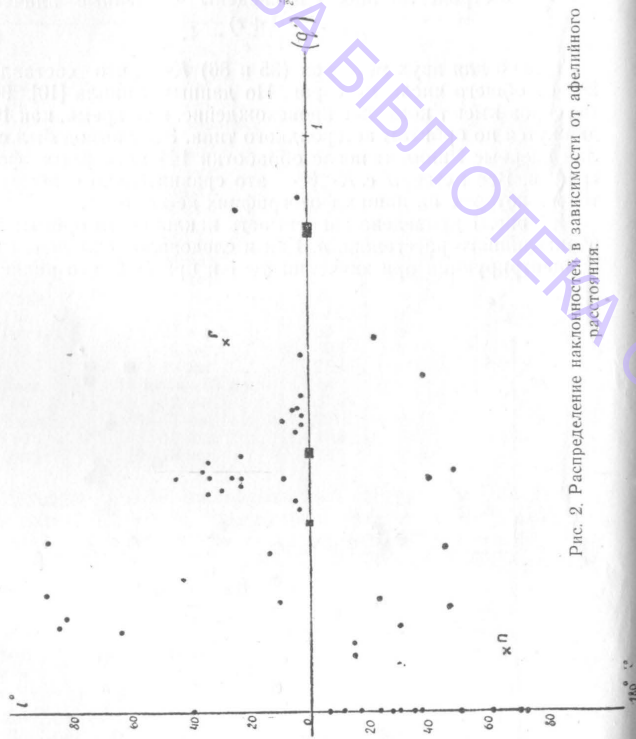


Рис. 2. Распределение наклонностей в зависимости от афелийного расстояния.

нарушается; распределение асимметрично относительно оси $i=0$.

Зависимость наклонности i от расстояния в афелии (рис. 2) также обнаруживает беспорядочное рассеяние точек при $i > 90^\circ$, в то время как при $i < 90^\circ$ точки концентрируются при значениях $(q')^{-1/2}$, которые соответствуют среднему расстоянию Юпитера и Сатурна.

Тривиальные распределения q и v_g в зависимости от ω и ϵ_A изображены соответственно на рис. 3 и 4. Отклонения от теоретической кривой, рассчитанной для параболического движения, объясняются рассеянием в значениях эксцентриситета e .

Персеиды 1958 года. В ночь с 12 на 13 августа 1958 года сфотографировано 20 базисных метеоров этого потока. Ниже, в таблице 4, приводятся средневзвешенные координаты радианта и элементы орбиты.

Таблица 4

Радант, элементы орбиты	Средняя величина	Стандартное отклонение		Гарвард [14]
		среднего	отд. наблюд.	
α	48°15'	± 0°51'	± 2°09'	46°49'
δ	+ 57°48'	0°38'	1°37'	+ 57°49'
Ω	139°36'			138.1
ω	150°28'	1°12'	3°00'	151°2
i	113°31'	0°22'	0°56'	113°7
e	1.015	0.021	0.053	0.955
q	0.945	0.005	0.012	0.951
v_h км/сек	42.0	± 0.2	± 0.6	41.3

На рис. 5 нанесены координаты исправленного радианта для всех обработанных нами Персеид. Из таблицы 4 и рис. 5 видно, что среднее склонение радианта хорошо совпадает с эфемеридной величиной. Прямое восхождение смещено на 1°26', что находится за пределами ошибок наблюдений, так как время полета определяется с точностью до 1^м. Следовательно, смещение среднего прямого восхождения для Персеид 13 августа 1958 года, по-видимому, реально. Следует обратить внимание на то, что стандартные отклонения среднего значения $\Delta\alpha$ и $\Delta\delta$ мало отличаются, и это является свидетельством того, что измеренное рассеяние радианта отягощено только ошибками измерений часового угла и склонения: ошибки в определении времени полета и часового угла одного порядка.

Средний эксцентриситет $e = 1.015 \pm 0.021$ несколько выше по сравнению с данными других авторов [14, 15]. Здесь сказалось влияние гиперболических Персеид, которых в этом каталоге сравнительно много — 13. Необходимо отметить, что почти во всех списках, содержащих элементы орбиты метеоров, встречаются гиперболические Персеиды.

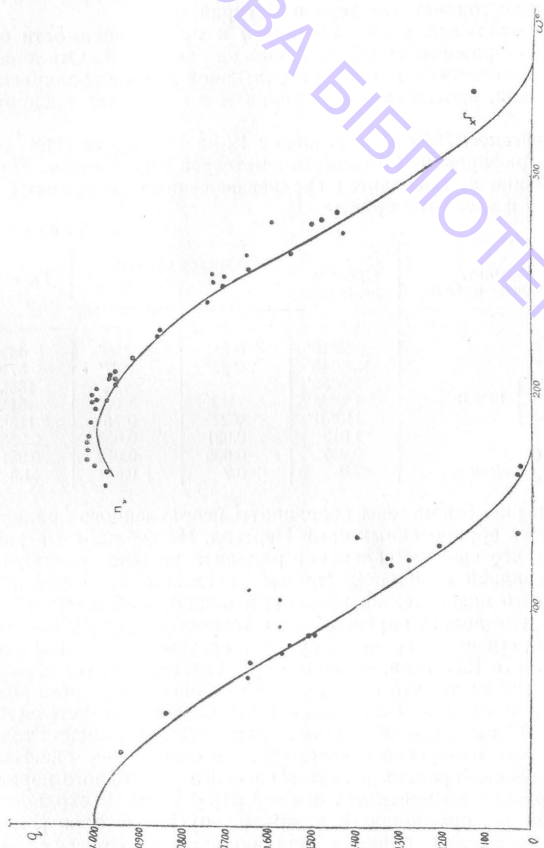


Рис. 3. Распределение перигейных расстояний в зависимости от аргумента перигелия.

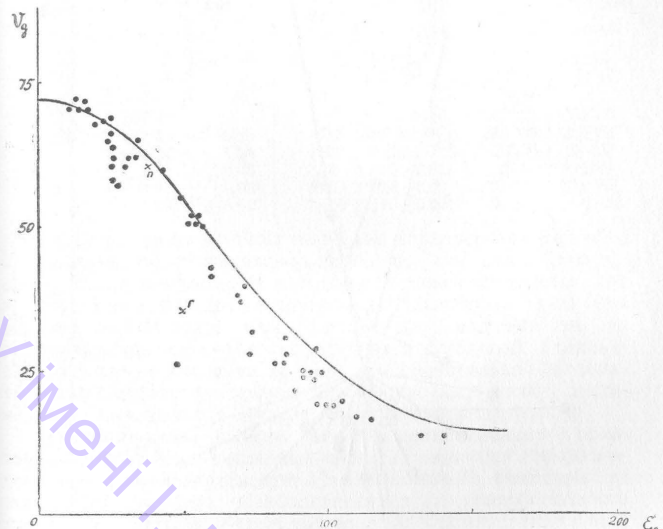


Рис. 4. Зависимость геоцентрической скорости от элонгации.

Так, например, П. Бабджанов в работе, посвященной Персеидам [16], приводит элементы для 25 базисных фотографий, полученных с 1949 по 1953 гг. Для 14 из них вычислены параболические элементы. Гелиоцентрическая скорость этих метеоров $v_h > 41.34$ км/сек., т. е. все они гиперболические (для некоторых метеоров $v_h > 44$ км/сек. Хаджес, исследуя следы ярких метеоров [17], приводит элементы их орбит. В списке содержится 17 орбит с экс-

центриситетом $e > 1$. Три из них, несомненно, относятся к потоку Персеид. Гелиоцентрическая скорость этих метеоров 44, 43 и 45 км/сек. Несмотря на то, что скорость здесь вычислялась с погрешностью $\pm 5\%$, два из этих метеоров явно гиперболические. Несколько ниже мы еще вернемся к проблеме гиперболических метеоров.

Геминиды. В таблице 1 содержатся данные о 8 метеорах потока Геминид. Один из этих метеоров наблюдался в 1957 году, остальные — в 1958 году. Время полета Геминид 1958 года получено несколько неуверенно, так как нульпункт шкалы

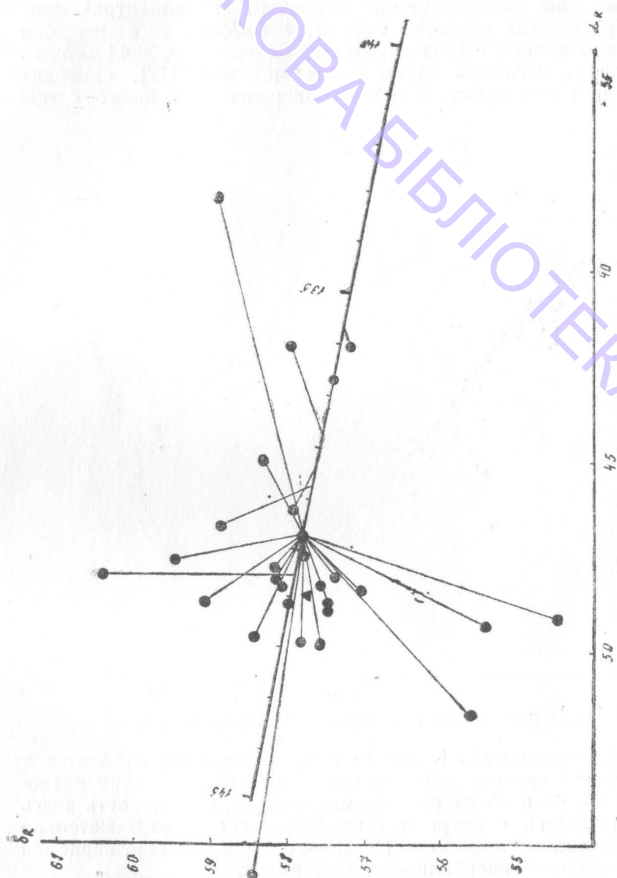


Рис. 5. Персеиды 1958 года.

времени не фиксировался. Пришлось решать обратную задачу — по среднему радианту Геминид для даты наблюдения, по измеренным часовым углам и конфигурации перерывов на снимках вычислить усредненное время, соответствующее левому положению лопастей обтюлятора. Это позволило вычислить время полета всех метеоров, наблюдавшихся во время фотографирования Геминид.

Средние элементы Геминид приведены в таблице 5.

Таблица 5

Радиант, элементы орбиты	Средняя величина	Стандартное откл.		Средние элементы потока		
		средн.	отд. наблюд.	фот. [10]	радарн. [18]	фот. [19]
α) 1950.0	110°51'	± 1°10'	± 1°25'	112°43'	108°90'	111°32'
δ)	+ 32°38'	0°18'	0°21'	+ 32°26'	+ 32°57'	+ 32°47'
v / h	33.8	0.3	0.4		33.10	
Ω	257°49'				257°21'	259°39'
ω) 1950.0	326°29'	1°21'	1°39'	324°36±0°13	326°00	325°30'
i)	25°53'	1°58'	2°22'	23°86±0°24	22°36	25°50'
a	1.34	0.05	0.06	1.382±0.015	1.245	1.404
e	0.904	0.004	0.005	0.898±0.0016	0.881	0.907
q	0.128	± 0.007	± 0.009	0.140±0.0011	0.138	0.130

Стандартные отклонения не только характеризуют ошибки наблюдений, но, по-видимому, содержат реальный разброс орбит. Вычисленные нами элементы хорошо согласуются, как это видно из таблицы 5, с другими наблюдениями; величина полуоси $a=1.34$ лежит между значениями, полученными из радиолокационных и фотографических наблюдений. Следовательно, наши вычисления не содержат значительной систематической ошибки. Это чрезвычайно важно при оценке достоверности приведенных в каталоге гиперболических орбит.

Гиперболические метеоры. Анализ данных таблицы 1 показывает, что из 90 вычисленных орбит 25 являются гиперболическими — их эксцентриситет $e > 1$ (таблица 7). Некоторые из этих орбит близки к параболическим и их гиперболичность можно объяснить ошибками наблюдений. Однако таких орбит немного — всего 6 или 8. Основными источниками ошибок являются:

1. Ошибки измерений траектории метеоров. Точки на фотографическом изображении метеора определялись в среднем с точностью порядка 5"—8". Ошибка в полюсе дуги большого круга соответственно больше и зависит от угловой длины метеора. Как уже отмечалось выше, как измерения, так и вычисления производились независимо в две руки. Следовательно, вычисления давали две системы значений координат полюсов. В среднем половина разности между соответствующими координатами равна теоретически ожидаемой средней ошибке. Таким образом, два варианта давали возможность,

во-первых, оценить ошибку измерения данной величины, т. е. оценить интервал изменения этой величины, и, во-вторых, контролировать все вычисления.

2. Ошибка в определении расстояния и высоты метеора. При вычислении этих величин используются: а) координаты точки на одном из снимков, б) координаты полюса для другого снимка и в) координаты базисного пункта. Здесь мы также получили систему двух значений измеряемой величины. Что касается координат базисного пункта, то они были определены привязкой к тригонометрическим пунктам 2-го класса. При вычислениях расстояния между базисными пунктами брались с точностью до 1 метра. В среднем ошибка в расстоянии до метеора не превышала 0,07 км.

3. Ошибка в вычислении скорости зависит от ошибки в радианте, ошибок в координатах точек на метеоре и расстояния этих точек от базисного пункта. В таблице 1 дана ошибка в скорости для каждого метеора. Она принимается равной полуразности скоростей, вычисленных для каждого варианта в отдельности. Угловая скорость вращения обтюратора контролировалась, и при вычислении обоих вариантов использовалась величина угловой скорости в момент полета метеора. Следует отметить, что мотор обтюратора работал стабильно, и изменения угловой скорости не превышали 0,5% от номинала. В среднем ошибки в измерении скорости метеора не превышали 0,5 км/сек. При вычислении внеатмосферной скорости возникает дополнительная ошибка, связанная с неточностью вычисления торможения. Гелиоцентрическая скорость зависит как от геоцентрической скорости, так и от элонгации радианта от апекса. Однако относительная ошибка в определении гелиоцентрической скорости мало отличается от относительной ошибки в измеренной скорости. В некотором смысле последнее относится и к элементам орбиты. Мы не останавливаемся здесь на вычислении ошибок в элементах орбиты, так как по этому вопросу имеется обширная литература, например [20].

В таблице 6 для иллюстрации приведены средние скорости метеоров, вычисленные по верхнему участку траектории. Здесь отобрано несколько наиболее уверенных гиперболических метеоров.

Таблица 6

№ метеора	v_0 км/сек 1-й вариант	Число измер.	v_0 км/сек 2-й вариант	Число измер.
59	63.09 ± 0.14	33	63.06 ± 0.07	31
62	63.35 ± 0.06	21	62.24 ± 0.07	26
76	62.94 ± 0.29	13	61.79 ± 0.25	15
79	61.42 ± 0.21	10	61.86 ± 0.37	10

Расхождение между двумя вариантами обычно больше внутренней ошибки. Поэтому всегда можно судить о достоверности орбиты по величинам, которые приводятся в 27-й строке таблицы 1 — $\left(\frac{\Delta}{2}\right)$.

Ниже, в таблице 7, приведен список гиперболических метеоров. Из всех гиперболических метеоров наибольший интерес представляют те, для которых $\sin Q$ не слишком мал. Только для этих метеоров можно с уверенностью сказать, что гиперболичность их орбит с достаточной степенью точности достоверна. В таблице 7 наряду с номером метеора и $\sin Q$ даны другие величины, характеризующие метеор. Приведены высоты первого и последнего перерывов; эти величины хорошо

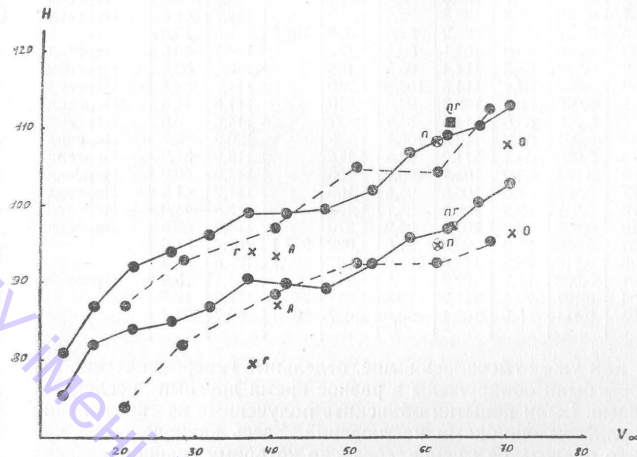


Рис. 6. Зависимость высоты появления и исчезновения метеоров от скорости.

согласуются с общей зависимостью высоты от скорости (см. рис. 6, сплошная линия). Здесь для сравнения приведена гарвардская зависимость [21]. Точка «П» соответствует всем Персеидам, «Г» — Геминидам, «А» — Акваридам, «ПГ» — гиперболическим метеорам из потока Персеид. Верхняя точка соответствует высоте появления, нижняя — высоте исчезновения метеора. Седьмая колонка содержит значения аргумента перигелия ω . Для всех явно гиперболических метеоров ($e > 1,050$) аргумент перигелия $0^\circ < \omega < 180^\circ$. Все они встречаются Землю в нисходящем узле, то есть после прохождения через перигелий ($\omega < 180^\circ$). В списке З. Плавновой и М. Плавца [22] из 6 гелиоцентрических орбит одна явно гиперболичес-

ская ($e = 1,105$). Аргумент перигелия соответствующей орбиты $\omega = 163^{\circ}46'$, т. е. и здесь встреча метеора с Землей произошла после его прохождения через перигелий.

Таблица 7

№	SinQ	v_{∞}	$H_{\text{н}}$	$H_{\text{к}}$	e	ω	i	ε_A	Поток
23	0,093	64,3	109,0	102,7	1,242	103,6	115,9	44,1	—
26	0,333	30,3	100,8	88,8	1,097	163,8	40,1	95,5	—
27	0,999	69,2	111,4	106,2	1,064	80,1	168,8	26,0	ξ Близн.
43	0,219	60,4	101,9	95,9	1,170	155,1	107,0	45,0	—
45	0,347	65,0	91,6	84,1	1,025	264,5	142,6	32,6	α Пегаса
46	0,243	68,7	111,6	104,6	1,007	51,0	151,7	22,3	—
48	0,548	61,1	107,8	99,3	1,023		113,1	40,6	Персеид
55	0,018	62,3	108,3	98,4	1,155		112,7	41,4	Персеид
56	0,277	71,2	108,2	87,6	1,028	194,8	157,8	13,9	—
58	0,090	63,0	104,1	89,1	1,177		114,1	40,6	Персеид
59	0,082	63,3	114,4	96,5	1,168		113,5	39,8	Персеид
60	0,053	64,4	114,6	104,2	1,240		116,7	39,3	Персеид
61	0,099	60,6	108,3	94,6	1,010		111,8	41,3	Персеид
62	0,090	63,6	114,5	84,7	1,227		114,6	40,6	Персеид
69	0,061	65,7	118,8	108,7	1,239		120,9	36,7	Персеид
70	0,080	64,4	111,2	97,5	1,178		118,9	37,9	Персеид
76	0,184	63,0	105,1	95,5	1,156		114,9	40,0	Персеид
77	0,562	61,3	106,8	98,5	1,105		111,2	41,8	Персеид
78	0,527	62,2	109,7	99,7	1,125		113,8	41,0	Персеид
79	0,804	62,2	107,8	94,2	1,070		113,2	39,6	Персеид
85	0,050	65,2	96,6	91,6	1,022	277,1	151,4	33,6	—
88	0,116	66,2	116,6	107,0	1,143	109,7	128,6	36,3	—
91	0,063	71,7	107,7	95,2	1,211	68,2	164,1	25,2	Орионид
104	0,127	70,4	111,7	79,5	1,017	246,7	172,9	19,3	—
105	0,411	55,6	105,1	94,0	1,037	201,1	95,7	51,4	—

Как уже отмечалось выше, отдельные гиперболические метеоры были обнаружены в разное время другими исследователями. Были попытки объяснить полученные из вычислений результаты ошибками наблюдений. Здесь важную роль сыграло предвзятое мнение, согласно которому гиперболических метеоров вообще не существует. Ниже мы приводим список некоторых наиболее достоверных гиперболических орбит (см. табл. 8).

В первом столбце приведены дата и год наблюдения, во втором и третьем — координаты радианта, в 4-м — принадлежность к потоку, в 5-м — скорость метеора, в 6-м и 7-м — полуось и эксцентриситет орбиты, в 8-м — источник, откуда заимствованы соответствующие данные. Во всех случаях, с учетом точности измерений, приведенные в таблице 8 метеоры движутся по гиперболическим орбитам.

Элементы орбиты метеора вычисляются по координатам и вектору скорости метеорной частицы в момент наблюдения. Следовательно, полученная таким образом орбита по сути своей является оскулирующей. Другими словами, нам извест-

но движение метеорной частицы во время ее встречи с Землей. Первоначальная ее орбита обычно неизвестна. Провести расчет первоначальной орбиты для каждого метеора очень трудно, так как для учета возмущений от планет скорость метеора должна была бы определяться точнее, чем сейчас удастся.

Таблица 8

Дата	α	δ	Класс	v	ε_A	a	e	Лит.
5 апр. 1954	229°3	+16°1	спор.	49	68°	— 2,9	1,15	[17]
28 июня 1954	18,7	+55,9	спор.	69	54	— 0,6	2,30!	[17]
9 авг. 1953	347,4	+57,0	спор.	61	58	— 1,0	1,9	[17]
13 авг. 1953	43,0	+55,9	Пер.	65	38	— 3,5	1,28	[17]
30 дек. 1954	182,3	+20,0	спор	75	24	— 1,7	1,51	[17]
4 авг. 1956	31,2	+33,3	спор.	70,10		—11,2	1,0902	[15]
10 авг. 1956	44,8	+55,9	Пер.	61,70		—25,2	1,0377	[15]
20 янв. 1953	198,7	+29,3	спор.	61,60		—49,400	1,015	[23]
21 мая 1952	283,5	+14,3	спор.	53,57		—20,761	1,027	[23]
14 авг. 1953	34,1	—36,1	спор.	52,79		—10,272	1,075	[23]
21 апр. 1950	270,2	+33,1	Лир.	50,8		— 5,90	1,16	[10]
12 авг. 1951	46,2	+56,0	Пер.	62,2		—31,8	1,030	[10]
13 дек. 1950	156,1	+34,6	спор.	66,1		— 8,86	1,071	[10]
7 авг. 1951	13,4	+74,0	спор.	49,67		— 9,42	1,105	[22]
17 нояб. 1959	140,2	+43,5	спор.	69,2			1,18	[18]
11 дек. 1959	103,1	+46,2	спор.	48,7			1,12	[18]
14 дек. 1959	147,6	+34,5	спор.	64,9			1,40	[18]

Если бы даже удалось это осуществить, то возникли бы затруднения при учете физического фактора. Известно, что при расчете движения некоторых комет нельзя объяснить все наблюдавшиеся закономерности, оставаясь в рамках классической небесной механики. Так, например, для объяснения движения кометы Энке-Баклунда необходимо было ввести предположение об определенном осевом вращении ядра этой кометы. При этом возникла новая гипотеза о строении ядра кометы [24]. Согласно общепринятым взглядам, ядро кометы представляет собой ледяную глыбу, толща которой заполнена метеорными и пылевыми частицами. Орбиты некоторых комет зависят от направления осевого вращения ядра и от скорости испарения летучих веществ. Таким образом, при исследовании движения таких крупных, по сравнению с метеорными частицами, тел, какими являются ядра комет, физический фактор играет существенную роль.

Для того, чтобы как-то объяснить происхождение гиперболических орбит отдельных метеоров, необходимо еще раз подчеркнуть, что, во-первых, гиперболическими эти орбиты являются в месте встречи метеорной частицы с Землей, и, во-вторых, то, что даже среди метеоров известного эллиптического потока, каким является поток Персеид, наблюдаются отдельные метеоры, движущиеся по гиперболическим орбитам.

С другой стороны, наличие в этом потоке метеоров, движущихся по коротко-периодическим орбитам, полюсь которых значительно меньше полюсы кометы 1862 III, признавалось всеми исследователями, хотя и не имело рационального объяснения.

Мы попытаемся здесь изложить рабочую гипотезу, при помощи которой можно объяснить некоторые особенности движения метеоров, и, в частности, происхождение гиперболических орбит.

1. Принимаем прежде всего, что все (или почти все) первоначальные орбиты метеорных частиц эллиптические.

2. Наряду со сравнительно мелкими метеорными частицами в потоке или вне потоков движутся более крупные тела. Назовем их кометоидами. По своим размерам кометоиды в несколько раз больше обычных метеорных частиц, порождающих яркие метеоры, и во много раз меньше кометных ядер, частью которых они когда-то могли быть.

3. Наряду с твердыми частицами внутри кометоидов содержится некоторое количество летучих веществ. Последние могут сохраниться в течение многих оборотов вокруг Солнца благодаря низкой теплопроводности внешнего слоя.

4. Время от времени вблизи перигелия под влиянием различных причин происходит распад кометоидов. Этими причинами могут быть корпускулярные потоки с их магнитными полями или столкновения с пылевыми частицами вблизи Земли. Распад может быть и таким, что осколки разлетятся вначале с незначительной относительно центра масс скоростью.

5. При распаде кометоида обнажаются залегающие в его глубине летучие вещества (замерзшие газы или обычный лед). В результате под влиянием прямого солнечного излучения начинается интенсивное выделение газов. При этом возникает реактивная сила, которая в зависимости от расположения испаряющейся части может привести к тому, что осколки начнут двигаться по орбитам, несколько отличающимся от орбиты кометоида. В частности, возможно как превращение эллиптической орбиты в гиперболическую, так и превращение долгопериодической орбиты в короткопериодическую. Больше всего все эти изменения сказываются на эксцентриситете и полюсы орбиты. Так как распад происходит, по-видимому, недалеко от Земли, то ее встреча с разлетевшимися в результате распада осколками весьма вероятна. Направление движения осколков изменяется при этом относительно мало, так как оно определяется вектором гелиоцентрической скорости, а не его величиной. Поэтому радиант сравнительно мало изменяется. Следует ожидать, что большему изменению скорости соответствует большее изменение радианта. На рис. 7 приведены усредненные отклонения скорости отдельных метеоров от средней скорости Персеид в зависимости от изменения склонения радиан-

та. Из графика видно, что одновременно с изменением скорости меняется также направление движения метеора.

6. Наряду с гиперболическими метеорами в данном потоке (Персеиды) должны быть метеоры, движущиеся по короткопериодическим орбитам, что в действительности наблюдается.

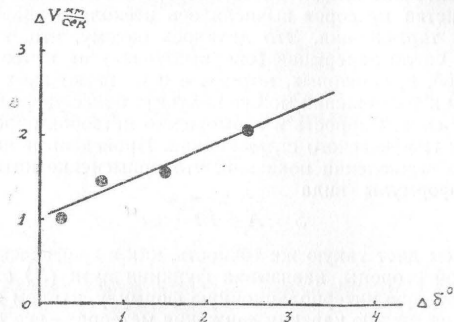


Рис. 7.

Свидетельством сложных процессов распада, происходящих в потоке, является то, что наблюдаются пачки метеоров. Из 20 Персеид, наблюдавшихся в течение 6 часов в ночь с 12 на 13 августа 1958 г., три метеора (58, 62, 68) пролетели с промежутком в 10—20 сек., два метеора (59, 60) — примерно с промежутком в две минуты и еще два метеора (77, 78) — с промежутком в три минуты.

Радианты последних двух метеоров отличаются по прямому восхождению почти на 20 градусов, в то время как среднее арифметическое этих прямых восхождений совпадает со средним прямым восхождением радианта Персеид.

Для подтверждения выдвигаемой нами гипотезы должны быть проведены дополнительные исследования.

Глава II

ПАРАМЕТРЫ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ ПО МЕТЕОРНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ ВО ВРЕМЯ МГГ

В соответствии с программой Международного Геофизического Года фотографические исследования метеоров должны быть использованы для вычисления плотности и температуры воздуха в метеорной зоне. Во время МГГ на станциях Одесской астрономической обсерватории были получены базисные фотографии 106 метеоров. Из этого числа отобраны 90 метеоров, для которых измерены и вычислены геоцентри-

ческие элементы орбиты. Фотометрические данные (блеск метеоров) получены для 87 метеоров. Параметры атмосферы могли быть вычислены по этим 87 метеорам, так как в формулы, при помощи которых вычисляется плотность атмосферы, обязательно входит интенсивность свечения метеора. Для большинства метеоров вычислялось несколько значений скорости и торможения. Это делалось потому, что, во-первых, среднее число перерывов (опорных точек) на метеоре порядка 40—60, и, во-вторых, потому, что из нескольких значений скорости и торможения можно получить более уверенные средние значения. Скорость и торможение метеоров определялись методом графического сглаживания. Проведенные нами контрольные вычисления показали, что применение интерполяционной формулы вида

$$S = A + Bt + Ce^{at} \quad (1)$$

в среднем дает такую же точность, как и графический метод. С другой стороны, навязывая функции пути (S) от времени (t) некоторую интерполяционную формулу, мы тем самым искажаем истинную картину движения метеора — все тонкие эффекты, проявляющиеся на сглаженном графике, затухевают в гладкой кривой вида (1). Последнее имеет место даже в том случае, когда интерполяционная формула применяется к отдельным участкам метеора. Так, например, обычно на верхнем участке траектории метеора торможение почти не наблюдается; применение же интерполяционной формулы дает для этого участка завышенные значения торможения. Измерения и вычисления исходных данных производились независимо в две руки. Результаты вычислений усреднялись. Интенсивность свечения метеоров вычислялась по фотометрическим данным, публикуемым в этом же сборнике [25].

Основные уравнения. Для вычисления плотности атмосферы используются следующие уравнения: уравнение движения —

$$\frac{dv}{dt} = -\Gamma s \frac{v^2}{m} \rho_a; \quad (2)$$

уравнение испарения —

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{\Lambda s}{2Q} v^3 \rho_a, \quad (3)$$

где v — скорость метеора, Γ — коэффициент сопротивления, характеризующий долю импульса, передаваемого метеорному телу, s и m — миделево сечение и масса метеорной частицы, Λ — коэффициент теплопередачи, Q — теплота абляции, ρ_a — плотность атмосферы. Для тела сферической формы площадь поперечного сечения

$$s = \pi \left(\frac{4}{3} \right)^{-2/3} \delta^{-2/3} m^{2/3}, \quad (4)$$

где δ — плотность метеорной частицы. Допустим, что метеорная частица во время полета сохраняет сферическую форму. Тогда из уравнения (2) получаем следующее выражение для плотности атмосферы:

$$\rho_a = -\kappa_1 m^{1/3} v^{-2} \frac{dv}{dt}, \quad (5)$$

где

$$\kappa_1 = \Gamma^{-1} \pi^{-1/3} (4/3)^{2/3} \delta^{2/3}. \quad (6)$$

Независимо от формулы (5) можно из (3) для плотности атмосферы получить следующее соотношение:

$$\rho_a = -\kappa_2 m^{-2/3} v^{-3} \frac{dm}{dt}, \quad (7)$$

где

$$\kappa_2 = \kappa_1 (\sigma)^{-1}, \quad (8)$$

$$\sigma = \frac{\Lambda}{2Q\Gamma}. \quad (9)$$

Вычисление массы метеора. Масса метеора вычисляется из уравнения свечения [4]:

$$I = -\frac{\beta}{2} \left(\frac{dm}{dt} \right) v^2, \quad (10)$$

где β — коэффициент светимости, который зависит от скорости, массы и структуры метеорной частицы. По своему смыслу коэффициент светимости характеризует долю кинетической энергии, превращающейся в излучение. Элементарный акт излучения зависит от природы и скорости движения сталкивающихся частиц. Коэффициент β , кроме того, еще зависит от спектральной чувствительности приемника излучения. Э. Эпик [6] вычисляет визуальный коэффициент светимости. Он представляет β в виде суммы трех слагаемых:

$$\beta = \beta_0 + \beta_t + \beta_b, \quad (11)$$

где β_0 , β_t и β_b — доли энергии, превращающейся в визуальное излучение за счет столкновений (impact), теплового излучения комы и теплового излучения метеорной частицы соответственно. В свою очередь β_0 зависит от степени разреженности комы. В разреженной коме преобладают столкновения атомов метеорного вещества с атомами воздуха; в плотной коме преобладают столкновения между атомами метеорного вещества. Э. Эпик предлагает вычислять β_0 по следующей формуле:

$$\beta_0 = (\beta_1 + \beta_2 \delta) / (1 + \delta), \quad (12)$$

где δ — коэффициент разрежения комы. Ниже, в таблице 9, приводится составленная по данным Эпика зависимость

β_1 , β_2 и δ от скорости (для метеорных частиц в виде пылевых сгустков — „пылевых шаров“).

Аналогичные таблицы вычислены Эпиком для железных и каменных метеорных частиц.

Таблица 9

v км/сек	20	30	40	50	60	70	80
$\beta_1 \cdot 10^3$	0.97	0.63	0.48	0.41	0.36	0.33	0.30
$\beta_2 \cdot 10^3$	1.40	1.68	2.00	2.36	2.62	2.84	3.05
$(\delta/m) \cdot 10$	0.12	0.53	1.03	1.09	0.82	0.39	0.28

Коэффициент теплового излучения комы β_t определяется по формуле:

$$\beta_t = 50 \beta_c \psi (1 - \psi), \quad (13)$$

где ψ — некоторая функция от скорости и массы метеора. В таблице 10 приведены значения β_c и ψ для „пылевых“ метеоров.

Таблица 10

v км/сек	20.9	29.6	41.8	59.2	83.6
$\beta_c \cdot 10^3$	0.45	0.41	0.36	0.31	0.30
$(\psi/\sqrt{m}) \cdot 10$	0.17	0.105	0.052	0.027	0.016

Обычно β_2 значительно меньше β_0 . Однако для сплошных железных и каменных частиц его следует учитывать при вычислении точного значения массы. Что касается β_0 , то этот коэффициент всегда значительно меньше β_0 и им можно пренебречь. Так как масса метеора определяется из уравнения (10), в которое входит β , в свою очередь зависящее от массы, то, очевидно, вычисления следует проводить методом последовательных приближений. Основная трудность, возникающая при этом, заключается в том, что нам неизвестна природа метеорных частиц. Особенно это касается частиц, порождающих яркие метеоры. Можно получить, по крайней мере, три значения массы, отличающиеся чуть ли не на порядок в зависимости от того, считаем ли мы метеорную частицу железной, каменной или пылевым сгустком. В первом приближении при вычислении плотности атмосферы можно принять, как это следует из таблицы 9, следующее предположение:

$$\beta = \beta_2 = \tau_0 v, \quad (14)$$

где τ_0 — не зависящая от скорости постоянная. По данным таблицы 9

$$\lg \tau_0 = -9.30 \quad (15)$$

вместо $\lg \tau_0 = -9.07$, применявшегося ранее Эпиком и Яккия [26,27]. Таким образом, следует (10) переписать в следующем виде:

$$I = -\frac{\tau_0}{2} \left(\frac{dm}{dt}\right) v^3. \quad (16)$$

Здесь

$$\lg I = 9.72 + \lg i; \quad \lg i = -0.4 M, \quad (17)$$

где M — абсолютный блеск метеора. Из уравнения (16) получаем два соотношения, при помощи которых можно вычислять изменение массы в единицу времени и массу метеора в фиксированный момент t :

$$dm/dt = -2 I/\tau_0 v^3, \quad (18)$$

$$m = \frac{2}{\tau_0} \int_t^{t_2} \frac{I}{v^3} dt \approx \frac{2}{\tau_0} v^{-3} \int_t^{t_2} I dt, \quad (19)$$

где t_2 — время исчезновения метеора.

Вычисление σ . Из уравнений (2) и (3) легко получить следующее соотношение:

$$\sigma = \frac{\Lambda}{2Q\Gamma} = \frac{dm/dt}{m v dv/dt}, \quad (20)$$

которое после подстановки (18) и (19) принимает вид:

$$\sigma = \frac{I}{v \frac{dv}{dt} \int_t^{t_2} I dt}. \quad (21)$$

Величина σ может быть легко вычислена, если из наблюдений известны скорость, торможение и свечение метеора. Для большинства обработанных нами метеоров удалось вычислить σ . Соответствующие значения $\lg \sigma$ приведены в таблице 21.

В таблице 11 приведена зависимость $\lg \sigma$ от индекса абляции

$$s = \lg \left(\frac{m_\infty}{m} - 1 \right), \quad (22)$$

где

$$m_\infty = \frac{2}{\tau_0 v^3} \int_{t_1}^{t_2} I dt, \quad (23)$$

t_1 — время, соответствующее началу свечения метеора.

Таблица 11

s	-0.90	-0.66	-0.46	-0.27	-0.09	+0.10	+0.28	+0.54
$\lg \sigma$	-11.60	-11.46	-11.43	-11.40	-11.39	-11.35	-11.32	-11.25
g	42	37	46	85	80	76	50	41

Из таблицы видно, что $\lg \sigma$ растет по мере увеличения индекса абляции s . Аналогичная зависимость была получена в 1958 году Яккия [28]. В таблице 12 отражена зависимость $\lg \sigma$ от δt , где

$$\delta t = \frac{t-t_1}{t_2-t_1} \quad (24)$$

Таблицы 11 и 12 характеризуют изменение $\lg \sigma$ с глубиной проникновения метеора в атмосферу. Несколько менее выражены зависимости $\lg \sigma$ от скорости v и интегральной светимости (первоначальной массы) метеора ($E = \int_0^t v dt$), приведенные в таблицах 13 и 14.

Таблица 12

δt	$\lg \sigma$	Стандартное отклонение		g
		среднего	одн. измер.	
0.0—0.3	-11.59	± 0.09	± 0.45	27
0.3—0.4	-11.37	0.09	0.63	50
0.4—0.5	-11.46	0.09	0.56	37
0.5—0.6	-11.39	0.13	0.81	41
0.6—0.7	-11.30	0.08	0.60	56
> 0.7	-11.19	± 0.16	± 0.89	33

Таблица 13

v км/сек	\bar{v} км/сек	$\lg \sigma$	g
< 20	17.72	-11.21	44
20—25	22.82	-11.37	44
25—30	28.45	-11.35	28
30—35	31.77	-11.38	19
35—40	36.65	-11.28	63
40—50	44.09	-11.12	13
50—55	51.85	-11.28	23
55—60	58.95	-11.38	44
60—65	61.70	-11.59	138
> 65	69.10	-11.34	44

Для вычисления плотности атмосферы по формуле (7) нами было использовано среднее значение $\lg \sigma = -11.39$,

так что формула, связывающая коэффициенты κ_2 и κ_1 , имеет следующий вид:

$$\lg \kappa_2 = \lg \kappa_1 + 11.39. \quad (25)$$

Таблица 14

E	\bar{E}	$\lg \sigma$	g
-0.50 до -0.25	-0.38	-10.993	15
-0.25 " 0.00	-0.12	-11.272	52
0.00 " 0.25	+0.14	-11.386	27
0.25 " 0.50	+0.41	-11.300	49
0.50 " 0.75	+0.62	-11.481	69
0.75 " 1.00	+0.93	-11.524	68
1.00 " 1.25	+1.11	-11.552	63
1.25 " 1.50	+1.37	-11.322	55
1.50 " 2.00	+1.61	-11.483	18
> 2.00	+2.22	-11.995	15

Плотность атмосферы. Уравнения (5) и (8) после подстановки (17), (18) и (19) могут быть записаны в следующем виде:

$$\rho_a = -\kappa_0 v^{-3} \frac{dv}{dt} \left[\int_t^{t_2} idt \right]^{1/3}, \quad (26)$$

$$\rho_a = -\kappa'_0 v^{-4} i \left[\int_t^{t_2} idt \right]^{-2}, \quad (27)$$

где

$$\kappa_0 = \kappa_1 \left(\frac{2}{\tau_0} 10^{9.72} \right)^{1/3}, \quad (28)$$

$$\kappa'_0 = \kappa_0 \sigma^{-1}. \quad (29)$$

Принимая в первом приближении $\Gamma = 1$, $\lg \tau_0 = -9.30$ и среднюю плотность метеорной частицы

$$\delta = 0.1 \text{ г/см}^3, \quad (30)$$

получаем для коэффициентов κ_0 и κ'_0 следующие численные значения:

$$\lg \kappa_0 = 5.69, \quad (31)$$

$$\lg \kappa'_0 = 17.08; \quad (32)$$

окончательные рабочие формулы принимают вид:

$$\lg \rho_1 = 5.69 - 3 \lg v + \frac{1}{3} \lg \int_t^{t_2} idt + \lg \frac{dv}{dt}, \quad (33)$$

$$\lg \rho_2 = 17.08 - 4 \lg v + \lg i - \frac{2}{3} \lg \int_t^{t_2} idt. \quad (34)$$

Плотность атмосферы вычислялась независимо как по торможению, так и по свечению метеоров. В связи с тем, что в каждом отдельном случае используются исходные величины ($\frac{dv}{dt}$, v и i), искаженные ошибками наблюдений, плотности, вычисленные из (33) и (34) не совпадают. Подставляя в (29) и (34) полученное по метеорным данным среднее значение σ , мы тем самым несколько исключаем случайные ошибки измерения торможения. Поэтому усредненные значения плотности, полученные по торможению и свечению метеоров, будут почти совпадать.

В таблице 21 приведены результаты вычисления плотности атмосферы. Здесь, кроме порядкового номера и номера метеора, даны \odot — долгота Солнца в момент наблюдения, h — высота атмосферы над уровнем моря, v — скорость метеора в км/сек, $\lg \rho_1$ — плотность, вычисленная по формуле (33), $\Delta_1 = \lg \rho_1 - \lg \rho_{ст}$, где $\lg \rho_{ст}$ — плотность стандартной атмосферы [29], $\lg \rho_2$ — плотность, вычисленная по формуле (34), $\Delta_2 = \lg \rho_2 - \lg \rho_{ст}$, $E = \lg \int_{t_1}^{t_2} idt$; далее приведены $\lg \sigma$, s — индекс абляции [28], $\{\delta t = (t - t_1)/(t_2 - t_1)$ и g — статистический вес, приписываемый данному измерению.

Для того, чтобы получить разрез атмосферы в метеорной зоне, т. е. зависимость плотности от высоты, все данные таблицы 21 были сгруппированы по одинаковым интервалам h и вычислены соответствующие средние значения $\lg \rho_1$ и $\lg \rho_2$. Эти данные для всех метеоров и отдельно для спорадических приведены соответственно в таблицах 15 и 16.

На рисунках 8 и 9 изображены стандартные графики изменения плотности с высотой (стандартная атмосфера). Здесь же нанесены измеренные значения $\lg \rho_1$ (сплошные кружки) и $\lg \rho_2$ (незаполненные кружки). Рис. 8 построен по данным, полученным для всех метеоров, рис. 9 — по спорадическим метеорам. Как видно из таблиц и графиков, плотность атмосферы, вычисленная по свечению метеоров (формула 34), ближе к данным стандартной атмосферы. Плотность, вычисленная по спорадическим метеорам, лучше согласуется с данными стандартной атмосферы, чем плотность, вычисленная по всем метеорам; таким образом, самое лучшее согласие получается для плотности, вычисленной по свечению спорадических метеоров.

Следует отметить хорошее внутреннее согласие измерений. Если исключить первую точку, соответствующую одному медленному метеору с аномальной кривой блеска (№ 39), то остальные точки приблизительно лежат на одной плавной кривой. Эта кривая пересекает стандартную кривую под некоторым небольшим углом. Поворотом вокруг точки, лежащей

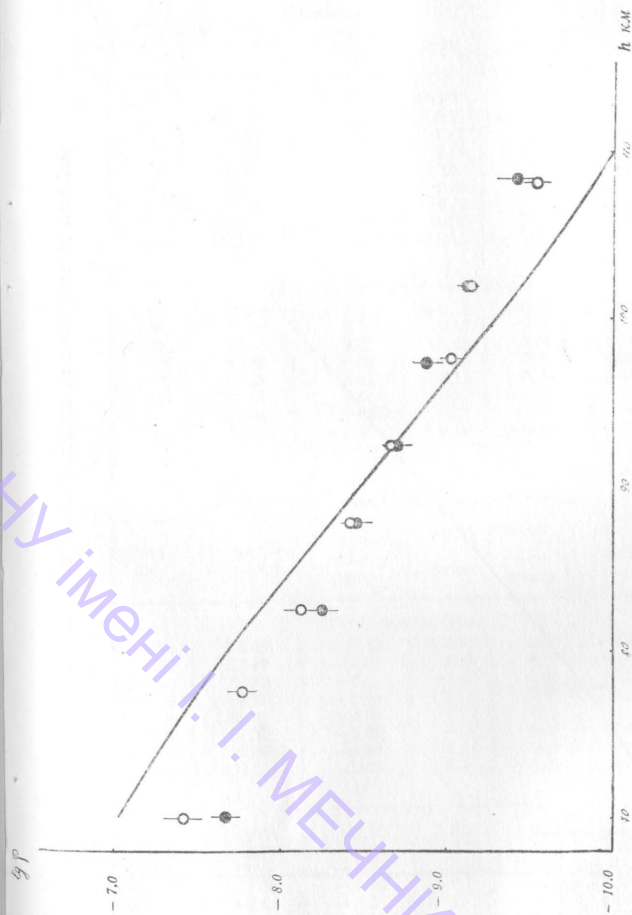


Рис. 8. Плотность атмосферы, вычисленная по всем метеорным данным.

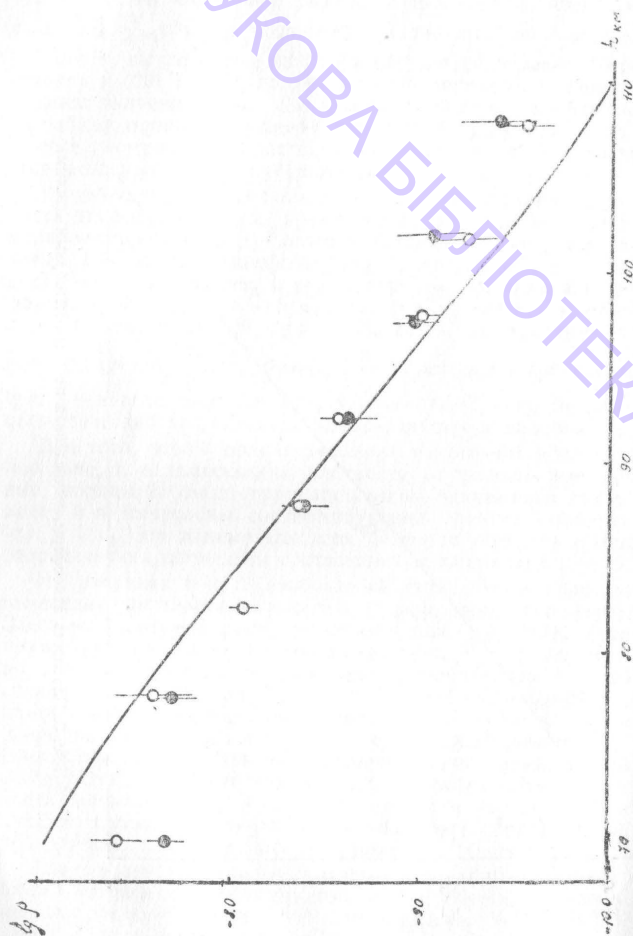


Рис. 9. Плотность атмосферы, вычисленная по спорадическим метеорам.

Таблица 15.

Плотность атмосферы, вычисленная по торможению метеоров

Высота h км	Ср. высота h ср. км	Плотность $\frac{g}{cm^3}$ $lg \rho_1$	Станд. откл.		Δ_1	g
			средн.	одн. измер.		
Все метеоры						
< 75	70.08	-7.67	± 0.11	± 0.46	-0.64	19
75-80	77.62	7.77	0.11	0.53	-0.26	24
80-85	82.53	8.25	0.10	0.79	-0.39	65
85-90	87.78	8.45	0.09	0.81	-0.16	80
90-95	92.41	8.69	0.10	0.80	-0.01	65
95-100	97.40	8.87	0.10	0.77	+0.18	53
100-105	102.05	9.11	0.07	0.76	+0.31	116
> 105	108.42	-9.41	± 0.13	± 0.78	+0.45	37
Спорадические метеоры						
< 75	70.08	-7.67	± 0.11	± 0.46	-0.64	19
75-80	77.06	7.70	0.13	0.56	-0.23	19
80-85	82.44	8.07	0.08	0.51	-0.21	46
85-90	87.76	8.38	0.13	0.90	-0.09	50
90-95	92.38	8.61	0.15	0.96	+0.07	39
95-100	97.51	8.96	0.13	0.76	+0.11	35
100-105	101.94	9.06	0.20	0.83	+0.36	15
> 105	108.07	-9.40	± 0.19	± 0.82	+0.43	19

Таблица 16.

Плотность атмосферы по свечению метеоров

Высота h км	Ср. высота h ср. км	Плотность $\frac{g}{cm^3}$ $lg \rho_2$	Станд. отклон.		Δ_1	g
			средн.	одн. измер.		
Все метеоры						
< 75	70.08	-7.42	± 0.14	± 0.63	-0.39	19
75-80	77.47	-7.76	0.16	0.78	-0.26	22
80-85	82.53	-8.12	0.07	0.58	-0.26	65
85-90	87.77	-8.41	0.08	0.70	-0.12	83
90-95	92.42	-8.65	0.10	0.79	+0.03	67
95-100	97.57	-9.02	0.07	0.52	+0.05	60
100-105	102.00	-9.14	0.04	0.49	+0.28	120
> 105	108.28	-9.53	± 0.08	± 0.59	+0.33	48
Спорадические метеоры						
< 75	70.08	-7.42	± 0.14	± 0.63	-0.39	19
75-80	76.80	-7.60	0.19	0.84	-0.15	17
80-85	82.44	-8.07	0.10	0.67	-0.21	46
85-90	87.78	-8.36	0.11	0.80	-0.07	54
90-95	92.40	-8.56	0.14	0.92	+0.12	41
95-100	97.77	-9.01	0.08	0.55	+0.07	42
100-105	101.78	-9.24	0.15	0.63	+0.17	17
> 105	107.88	-9.54	± 0.14	± 0.65	+0.39	21

на высоте 80—90 км, измеренную кривую можно совместить со стандартной. Расхождения между данными, полученными из метеорных измерений, и данными стандартной атмосферы можно объяснить, во-первых, действительными сезонными флуктуациями плотности атмосферы (наши измерения проводились главным образом летом и осенью, когда больше всего ясных ночей) и, во-вторых, неточностью рабочих формул, т. е. погрешностями теории.

Формулу (33) можно было бы переписать в следующем более общем виде:

$$\lg \rho_1 = 5.69 - n \lg v - \alpha \lg \int_0^h idt + \lg \frac{dv}{dt}. \quad (35)$$

В таком случае отклонения $\Delta_1 = \lg \rho_1 - \lg \rho_{ст}$ должны были бы при $n \neq 3$ и $\alpha \neq 1/3$ как-то изменяться в зависимости от скорости v и интегральной интенсивности E . В таблицах 17 и 18 иллюстрируются эти зависимости.

Таблица 17

v км/сек	17.7	22.8	28.4	31.8	36.6	44.1	51.8	58.9	61.7	69.1
Δ_1	-0.09	+0.03	-0.22	-0.07	-0.21	-0.06	+0.03	+0.18	+0.15	+0.16
g	44	44	28	19	63	13	23	44	138	44

К сожалению, количество измерений недостаточно для того, чтобы получить уверенную зависимость Δ_1 от v и E . Последнее замечание также относится к попытке обнаружить сезонные вариации плотности атмосферы. В таблице 19 приведены значения Δ_1 для различных долгот Солнца. Однако и здесь нет какой-либо четкой зависимости. Очевидно, необходимо выяснить совместное влияние v , E и \odot на величину отклонения Δ_1 . Для этого необходимо использовать наблюдения за большим, чем МГГ, промежутком времени.

Таблица 18

E	Δ_1	g
-0.50 до -0.25	+0.03	15
-0.25 „ 0.00	+0.06	52
0.00 „ +0.25	-0.25	27
0.25 „ 0.50	+0.14	49
0.50 „ 0.75	+0.23	69
0.75 „ 1.00	+0.32	68
1.00 „ 1.25	-0.07	63
1.25 „ 1.50	-0.23	55
1.50 „ 2.00	-0.28	18

Таблица 19

\odot	Δ_1	g
34	+0.72	12
115	+0.13	20
127	-0.59	43
138	+0.23	168
144	+0.19	24
162	+0.31	24
204	+0.00	55
211	+0.18	28
254	-0.51	53
357	-0.45	30

Шкала высот. Для того, чтобы вычислить шкалу высот, плотность атмосферы на отдельных участках метеорной зоны была представлена следующей формулой:

$$\rho(h_i) = \rho(h_{i-1}) \exp(\Delta h_i/H_i), \quad (36)$$

с помощью которой по данным таблиц 15 и 16 вычислялась высота однородной атмосферы. Соответствующие данные приведены в таблице 20, где через h обозначена высота над уровнем моря и H — высота однородной атмосферы. В последней строке таблицы 20 даны средние значения h и H . Для спорадических метеоров по методу наименьших квадратов были получены следующие уравнения, позволяющие вычислить плотность атмосферы в метеорной зоне в зависимости от высоты h :

а. по торможению —

$$\lg \rho_1 = -3.44 - \frac{0.434}{7.80} h, \quad (37)$$

б. по свечению —

$$\lg \rho_2 = -3.40 - \frac{0.434}{7.58} h. \quad (38)$$

Таблица 20

Все метеоры				Спорадические метеоры			
по торможению		по свечению		по торможению		по свечению	
h	H	h	H	h	H	h	H
—	—	73.8	9.54	—	—	—	—
80.1	4.45	80.0	6.10	79.7	6.31	79.1	5.17
85.2	11.06	85.2	7.70	85.1	7.47	85.1	8.08
90.1	8.59	90.1	8.41	90.1	8.50	90.1	10.28
94.9	11.76	95.0	6.12	94.9	6.33	95.1	5.16
99.7	8.51	99.8	15.63	99.7	19.42	99.8	5.31
105.2	9.15	105.1	7.08	105.0	7.80	104.8	13.30
92.6	8.92	89.8	8.65	92.4	9.30	92.3	7.88

Вычисленная по метеорным измерениям высота однородной атмосферы лежит в пределах от 7,58 до 7,80 км, что примерно на 2 км больше данных, приводимых в стандартной атмосфере 1960 года [29]. К аналогичным результатам приводит радиолокационные наблюдения метеоров. В таблице 20 обращает на себя внимание большое значение H на высоте около 100—105 км. Здесь в основном использовались метеоры, движущиеся с большой скоростью. Более подробный анализ данных о высоте однородной атмосферы можно будет провести, если использовать некоторые дополнительные соображения и, главное, наблюдения за более продолжительное время.

№	ме-теор	⊙	h	v	lg r_1	Δ_1	lg r_2	Δ_2	E	lg σ	s	δt	g
1	1	126 ²⁷	99.11	66.31	-9.506	-0.316	-9.384	-0.194	-0.076	-	-11.220	-0.424	0.39
2	2	126 23	92.87	42.30	-9.032	-0.342	-8.799	-0.109	+0.690	-	-11.138	-0.237	.35
3	3	126 23	91.62	42.6	-8.330	+0.260	-8.629	-0.039	+0.690	-	-11.688	+0.038	.35
4	3	126 22	106.10	60.58	-9.866	-0.156	-9.561	+0.149	+4.42	-	-11.084	-0.682	.30
5	3	126 22	103.20	60.52	-9.364	+0.014	-9.364	+0.146	+4.42	-	-11.258	-0.335	.46
6	3	126 22	100.10	60.38	-9.047	+0.223	-8.870	+0.400	+4.42	-	-11.204	+0.512	.79
7	4	127 20	91.79	61.2	-9.677	+1.071	-9.643	-1.037	+95.7	-	-11.376	-0.810	.30
8	4	127 20	86.82	61.1	-8.969	-0.756	-9.351	-1.340	+25.7	-	-11.873	-0.438	.53
9	4	127 20	83.51	60.0	-8.512	-0.562	-8.590	-0.640	+25.7	-	-11.466	+0.034	.67
10	6	127 23	89.34	36.6	-8.597	-0.184	-8.665	-0.252	+0.806	-	-11.462	-0.638	.36
11	6	127 23	87.94	36.3	-8.223	+0.080	-8.438	-0.135	+0.806	-	-11.637	-0.286	.48
12	6	127 23	86.56	35.7	-7.927	+0.266	-8.266	-0.073	+0.806	-	-11.729	+0.063	.60
13	7	127 25	102.82	58.55	-9.959	-0.479	-9.311	+0.169	+0.878	-	-10.742	-0.527	.30
14	7	127 25	97.30	58.51	-9.672	-0.632	-9.103	-0.063	+0.878	-	-10.920	-0.010	.56
15	7	127 25	91.80	58.40	-9.005	-0.435	-8.834	-0.244	+0.878	-	-11.218	+0.553	.80
16	13	147 28	96.50	24.27	-8.092	+0.792	-7.829	+1.151	+0.433	-	-11.127	+0.454	.21
17	14	147 28	91.55	22.8	-7.782	+0.798	-7.880	+0.691	+0.593	-	-11.497	+0.612	.33
18	15	152 12	94.56	24.95	-8.873	-0.043	-9.286	-0.456	+0.989	-	-11.802	-0.989	.1
19	15	152 12	90.18	24.84	-8.102	+0.378	-8.099	-0.241	+0.989	-	-11.388	-1.051	.21
20	15	152 12	86.80	24.52	-8.068	+0.082	-7.878	-0.272	+0.989	-	-11.197	-0.301	.41
21	15	152 12	84.42	24.28	-8.229	-0.439	-7.765	+0.025	+0.989	-	-10.927	+0.217	.62
22	15	152 12	77.04	23.58	-7.357	+0.113	-7.735	-0.265	+0.989	-	-11.768	+0.819	.83
23	16	151 27	91.40	22.67	-9.063	-0.488	-7.807	-0.768	-0.190	-	-10.119	+0.045	.57
24	16	151 27	90.80	22.63	-8.445	+0.180	-7.735	+0.790	-0.190	-	-10.680	+0.152	.65
25	17	155 06	89.50	28.7	-8.032	-0.398	-7.900	+0.530	+0.490	-	-11.258	-0.150	.55
26	18	146 29	89.80	24.95	-8.569	-0.122	-8.344	+0.103	+0.490	-	-11.374	-0.626	.39
27	18	146 29	87.98	24.85	-8.227	+0.080	-8.231	+0.076	-0.022	-	-11.786	-0.361	.53

№	ме-теор	⊙	h	v	lg r_1	Δ_1	lg r_2	Δ_2	E	lg σ	s	δt	g
28	18	146 ²⁹	86.08	24.55	-7.927	+0.230	-8.130	+0.027	-0.022	-	-11.901	-0.138	0.66
29	19	155 07	105.70	50.95	-8.402	+1.278	-8.461	+1.219	+0.892	-	-11.449	-0.228	.37
30	20	204 04	92.86	32.10	-8.577	-0.672	-8.577	+0.113	-0.015	-	-11.449	-0.632	.37
31	20	204 04	87.73	32.10	-8.957	-1.182	-8.221	+0.064	-0.015	-	-10.654	+0.097	.64
32	20	204 04	85.73	31.85	-9.257	-1.182	-8.044	-0.083	-0.015	-	-10.128	+0.708	.83
33	21	206 05	83.92	31.10	-8.137	-0.154	-8.298	-0.246	+0.158	-	-11.420	+0.271	.62
34	21	206 05	82.08	30.4	-8.138	-0.302	-8.096	-0.260	+0.158	-	-11.322	+0.555	.75
35	22	206 05	84.50	19.99	-7.924	+0.103	-7.587	+0.440	+0.409	-	-10.552	+0.062	.53
36	22	206 05	83.76	19.12	-7.883	+0.084	-7.520	+0.447	+0.409	-	-11.019	+0.324	.60
37	23	206 15	106.3	64.72	-9.307	-0.267	-10.494	-0.739	-0.602	-	-10.549	-0.602	.31
38	26	214 01	97.10	39.52	-8.310	+0.345	-8.455	+0.575	+0.602	-	-11.374	-0.214	.46
39	26	214 01	94.98	29.44	-8.284	+0.396	-8.294	+0.561	+0.602	-	-11.086	+0.164	.63
40	26	214 01	92.75	29.06	-7.947	+0.563	-7.979	+0.691	+0.602	-	-11.226	+0.574	.74
41	26	214 01	91.10	28.75	-7.947	+0.563	-7.887	+0.727	+0.602	-	-11.657	-0.256	.36
42	27	214 18	105.91	69.95	-9.061	+0.634	-9.323	-0.372	-0.217	-	-11.244	+0.082	.62
43	28	215 18	102.72	66.82	-9.121	+0.354	-8.983	-0.482	+0.408	-	-11.424	+0.124	.64
44	29	214 19	99.4	63.62	-8.430	-0.225	-8.985	-0.127	+0.504	-	-11.732	-0.655	.27
45	31	240 08	86.78	27.74	-8.298	-0.378	-8.772	-0.567	+0.155	-	-11.732	-0.655	.27
46	31	240 08	83.22	27.20	-8.298	-0.378	-8.551	-0.631	+0.155	-	-11.644	-0.444	.45
47	31	240 08	79.87	26.91	-7.930	-0.265	-8.247	-0.582	+0.155	-	-11.708	-0.095	.64
48	31	240 08	76.52	26.26	-7.846	+0.040	-7.766	-0.326	+0.155	-	-11.107	+0.335	.82
49	32	216 13	104.37	70.51	-9.290	+0.300	-9.130	+0.460	+0.665	-	-11.230	-0.385	.40
50	33	216 09	106.90	58.40	-9.540	+0.222	-9.257	+0.505	+0.342	-	-11.106	-0.639	.33
51	35	262 34	87.50	28.70	-9.405	-1.515	-7.360	+0.900	+0.130	-	-10.232	+0.175	.33
52	36	262 36	82.77	36.30	-9.206	-0.526	-8.247	-0.357	+0.185	-	-10.339	+0.275	.62
53	36	262 36	79.95	36.40	-8.065	-0.021	-8.114	-0.434	+0.185	-	-11.299	+0.981	.81
54	39	357 33	81.5	19.45	-7.811	-0.021	-8.036	-0.246	+1.326	-	-11.866	-1.048	.10

№	ме-теор	☉	h	ν	$\lg p_1$	Δ_1	$\lg p_2$	Δ_2	E	$\lg \sigma$	s	Δt	g
55	39	357°33'	77.67	19.35	-7.395	+0.122	-8.061	-0.544	+1.326	-11.056	-0.847	0.27	4
56	39	357°33'	74.21	19.25	-8.080	-0.053	-8.000	-0.708	+1.326	12.045	-0.652	42	4
57	39	357°33'	70.97	19.14	-7.626	-0.539	-7.427	-0.340	+1.326	11.190	-0.456	57	4
58	39	357°33'	66.60	18.95	-7.537	-0.705	-7.237	-0.405	+1.326	11.089	-0.243	78	4
59	39	357°33'	63.57	18.93	-7.876	-1.909	-6.952	-0.285	+1.326	10.466	+0.715	90	4
60	40	357°47'	81.41	27.70	-8.613	-0.823	-8.184	-0.394	-0.390	11.608	-0.449	36	3
61	40	357°47'	80.12	28.08	-8.743	-1.053	-8.033	-0.343	+0.390	11.413	-0.202	43	3
62	41	2.49	96.0	35.07	-7.917	+1.018	-8.872	+0.063	+0.996	12.946	-0.392	36	2
63	41	2.49	93.47	35.03	-7.834	+0.901	-8.701	+0.034	+0.996	12.256	-0.273	50	2
64	41	2.49	91.52	34.04	-7.712	+0.923	-8.545	+0.090	+0.996	12.522	-0.186	60	2
65	41	2.49	88.86	32.16	-7.475	+0.901	-8.262	+0.114	+0.996	12.178	-0.048	79	3
66	42	89.62	99.7	62.81	-9.135	+0.105	-9.154	+0.086	+1.210	11.408	-0.299	47	2
67	42	89.52	98.5	62.75	-9.163	-0.018	-9.065	+0.080	+1.210	11.290	-0.080	53	2
68	43	109.54	99.57	59.08	-8.293	+0.934	-8.887	+0.340	+0.441	11.983	-0.086	52	4
69	44	112.43	91.24	38.59	-8.355	+0.207	-8.712	-0.150	+0.651	11.745	-0.854	37	4
70	44	112.43	88.78	38.21	-8.105	+0.265	-8.264	+0.106	+0.651	11.439	-0.270	55	3
71	45	118.34	88.5	64.68	-9.495	-1.145	-9.197	-0.847	+0.083	11.113	-0.572	43	2
72	46	119.30	109.32	68.29	-10.109	-0.191	-9.673	-0.245	+0.201	10.933	-0.285	44	4
73	46	119.30	108.03	68.28	-9.769	+0.064	-9.408	+0.425	+0.201	11.029	+0.228	63	4
74	48	135.46	101.18	60.72	-8.963	+0.390	-9.025	+0.328	+0.647	11.451	-0.200	43	6
75	49	135.45	76.5	18.36	-7.760	-0.320	-7.029	+0.411	-0.978	10.658	-0.109	54	2
76	49	135.45	75.97	18.28	-7.413	-0.013	-6.794	+0.606	-0.978	10.772	-0.118	61	2
77	49	135.45	75.4	18.10	-7.188	+0.182	-6.616	+0.754	-0.978	10.827	+0.435	68	2
78	50	135.46	96.54	51.02	-9.096	-0.121	-9.007	+0.032	+1.547	11.299	-0.644	36	4
79	50	135.46	88.54	50.89	-9.072	-0.722	-8.447	-0.097	+1.547	10.765	+0.154	70	4
80	51	136.37	100.0	51.41	-8.791	+0.539	-9.203	-0.033	+1.431	11.962	-0.869	44	4
81	51	136.37	95.24	51.41	-8.855	+0.023	-8.881	+0.197	+1.431	-11.216	-0.187	67	5

№	ме-теор	☉	h	ν	$\lg p_1$	Δ_1	$\lg p_2$	Δ_2	E	$\lg \sigma$	s	Δt	g
82	53	136°43'	101.4	57.49	-8.989	+0.384	-8.821	+0.552	+1.045	-11.222	-0.617	0.35	3
83	53	136.43	100.22	57.40	-8.928	+0.347	-8.748	+0.527	+1.045	-11.209	-0.008	56	4
84	54	137.43	99.4	60.23	-8.570	-0.203	-9.245	-0.082	+1.621	11.892	-0.941	69	3
85	54	137.43	88.71	60.10	-8.671	+0.904	-9.073	-0.710	+1.621	11.820	-0.088	33	3
86	55	138.42	104.17	61.62	-9.488	-0.288	-9.436	-0.463	+0.760	11.433	-0.433	67	4
87	56	138.42	99.2	71.35	-9.413	-0.067	-9.333	-0.236	+1.061	11.347	-0.186	47	4
88	57	138.94	91.53	60.24	-8.755	+0.175	-9.069	-0.429	+1.061	11.582	+0.077	63	2
89	57	138.94	88.92	59.96	-8.564	-0.179	-8.785	-0.400	+1.659	11.707	-0.234	69	3
90	58	139.38	97.66	63.57	-8.764	+0.310	-9.153	-0.079	+2.158	11.912	+0.450	72	4
92	58	139.38	92.77	62.85	-8.568	+0.117	-8.898	-0.215	+2.158	11.780	-0.800	35	5
94	59	139.36	108.7	63.26	-9.766	+0.120	-9.497	-0.459	+1.167	11.167	-0.927	26	4
95	59	139.36	102.95	63.14	-9.172	+0.318	-9.108	+0.447	+1.167	11.063	-0.830	26	3
96	61	139.46	101.9	64.41	-9.334	-0.382	-9.334	+0.706	+1.477	11.326	-0.070	60	6
98	62	139.38	107.8	60.41	-9.176	+0.214	-8.916	-0.474	+0.861	11.125	-0.212	48	2
99	62	139.38	99.11	63.17	-8.603	+0.709	-9.121	-0.082	+2.260	12.208	-1.374	21	2
100	62	139.38	94.78	62.85	-8.299	+0.592	-9.592	-0.397	+2.260	12.376	-0.981	49	2
101	63	139.36	93.85	42.40	-8.922	-0.546	-9.405	-0.560	+2.960	12.499	-0.776	65	2
102	64	139.34	79.4	61.46	-8.491	-0.159	-8.358	+0.405	+0.907	10.826	-0.203	34	6
103	65	139.34	104.88	60.83	-9.566	+0.177	-9.363	+0.380	-1.290	11.799	+0.453	82	9
104	65	139.34	101.8	60.63	-9.127	+0.263	-9.111	+0.270	+0.250	11.206	-0.995	37	3
105	66	139.37	103.93	60.74	-9.080	+0.185	-9.958	+0.302	+0.514	11.273	-0.174	62	4
106	66	139.37	100.65	60.42	-9.375	+0.292	-9.095	+0.217	+0.514	11.378	-0.325	49	3
107	67	139.36	103.05	59.72	-9.549	-0.049	-9.064	+0.436	-0.260	10.913	+0.104	68	4
108	68	139.38	101.25	60.04	-8.895	+0.465	-9.101	+0.259	-0.199	-11.596	-0.056	48	6

№	ме-теор	С	h	v	lgP ₁	Δ ₁	lgP ₂	Δ ₂	E	lgσ	s	δt	g
109	69	139 ³²	113,85	65,01	-8,977	+1,283	-10,016	+0,244	+0,743	-12,429	-0,094	0,37	4
110	69	139,32	112,35	64,82	-8,998	+1,152	-9,978	+0,172	+0,743	12,365	+0,271	52	4
111	70	139,33	103,13	64,00	-9,120	+0,380	-10,118	-0,618	+0,987	12,389	-0,275	52	3
112	70	139,33	101,0	63,77	-8,703	+0,637	-9,811	-0,471	+0,987	12,500	+0,193	70	2
113	71	139,26	107,42	60,15	-10,118	-0,318	-9,324	+0,476	+1,228	10,596	+0,614	36	2
114	71	139,26	105,45	60,13	-9,994	-0,319	-9,274	+0,401	+1,228	11,050	+0,242	49	2
115	71	139,26	103,5	60,10	-9,637	-0,107	-9,190	+0,340	+1,228	10,561	-0,113	62	2
116	71	136,26	101,5	59,95	-8,930	+0,450	-8,857	+0,523	+1,228	11,567	+0,382	81	4
117	72	139,28	95,0	60,45	-7,604	+0,256	-8,477	+0,617	+1,228	12,264	-0,339	81	2
118	73	139,28	105,1	60,56	-9,151	+0,369	-9,109	+0,441	+1,111	11,280	-0,065	56	2
119	73	139,28	103,30	60,68	-8,660	+0,575	-9,041	+0,479	+1,111	11,470	+0,199	64	2
120	73	139,28	102,18	60,6	-8,860	+0,369	-8,944	+0,491	+1,111	11,470	+0,199	64	2
121	74	139,38	97,4	60,21	-9,137	+0,087	-9,296	+0,246	+0,946	11,549	+0,288	16	2
122	74	139,38	93,40	59,91	-8,803	+0,068	-9,118	-0,381	+0,946	11,703	+0,092	34	2
123	75	139,40	101,7	61,28	-8,533	+0,867	-9,056	+0,344	-0,208	11,905	+0,134	47	1
124	76	139,34	100,3	62,38	-8,878	+0,402	-9,118	+0,102	-0,208	11,629	+0,430	72	4
125	77	139,40	101,6	60,44	-8,777	+0,613	-8,842	+0,548	-0,076	11,455	+0,420	72	2
126	78	139,40	103,4	60,59	-8,505	+1,015	-8,940	+0,580	-0,197	11,830	+0,205	65	2
127	79	139,39	100,7	61,50	-9,134	+0,178	-9,271	+0,041	-0,168	11,521	+0,200	58	4
128	81	140,25	102,9	59,39	-9,413	+0,032	-9,404	+0,041	+1,493	11,380	-0,530	36	2
129	81	140,25	100,1	59,30	-9,338	+0,073	-9,174	+0,091	+1,493	11,226	-0,328	49	4
130	81	140,25	98,3	59,22	-8,845	+0,275	-8,991	+0,126	+1,493	11,535	-0,086	59	2
131	81	140,25	97,2	59,00	-8,502	+0,528	-8,868	+0,162	+1,493	11,755	+0,079	65	2
132	82	145,18	96,75	49,04	-8,777	+0,223	-8,464	+0,536	+0,954	11,077	+0,146	58	1
133	83	166,29	89,20	14,91	-7,814	+0,396	-7,782	+0,628	+0,968	11,359	-0,845	11	1
134	83	166,29	88,15	14,82	-7,633	+0,677	-7,610	+0,700	-0,968	11,368	-0,701	18	1
135	83	166,29	87,10	14,65	-7,243	+0,987	-7,503	+0,727	-0,968	11,650	-0,567	25	1
136	83	166,29	86,05	14,39	-6,946	+1,204	-7,416	+0,734	+0,968	-11,861	-0,457	32	1

№	ме-теор	С	h	v	lgP ₁	Δ ₁	lgP ₂	Δ ₂	E	lgσ	s	δt	g
137	83	166 ²⁹	82,10	13,10	-6,585	+1,255	-7,037	+0,803	+0,968	-11,851	+0,086	0,60	1
138	84	171,17	89,6	20,74	-7,816	+0,618	-8,363	+0,067	-0,709	11,940	-0,943	14	1
139	84	171,17	86,3	20,50	-7,721	+0,449	-8,200	-0,030	-0,709	11,869	-0,719	28	1
140	84	171,17	83,2	20,08	-7,679	+0,271	-7,978	-0,058	-0,709	11,720	-0,472	43	1
141	84	171,17	80,0	20,08	-7,621	+0,059	-7,747	-0,067	-0,709	11,515	-1,171	57	1
142	84	171,17	76,9	19,77	-7,439	+0,021	-7,556	-0,096	-0,709	11,507	+0,149	75	1
143	85	176,16	94,2	23,92	-8,978	-0,178	-9,029	-0,229	-0,061	11,621	-0,010	53	2
144	87	198,59	90,7	22,35	-8,431	+0,039	-8,478	+0,042	+0,340	11,488	-0,932	32	2
145	87	198,59	89,2	23,25	-8,320	+0,090	-8,366	+0,044	+0,340	11,486	-0,710	30	2
146	87	198,59	86,05	23,12	-7,845	+0,040	-8,213	-0,028	+0,346	11,457	-0,479	40	4
147	87	198,59	84,1	22,97	-7,857	+0,138	-7,894	+0,101	+0,346	11,407	-0,105	55	4
148	88	204,56	81,9	22,68	-7,604	+0,185	-7,617	-0,203	+0,346	11,403	+0,300	68	1
149	88	204,56	110,1	63,65	-8,795	+1,165	-9,296	+0,714	+1,137	11,861	+0,097	68	1
150	88	204,56	109,6	63,10	-8,707	+1,233	-9,165	+0,775	+1,137	11,848	+0,217	73	1
151	88	204,56	109,05	63,40	-8,657	+1,233	-9,054	+0,836	+1,137	11,787	+0,373	78	1
152	89	204,54	102,38	68,56	-9,786	-0,340	-9,463	-0,017	-0,643	11,121	-0,415	48	3
153	89	204,54	101,10	68,47	-9,322	+0,078	-9,180	+0,220	+0,643	11,167	-0,011	63	2
154	90	205,03	101,0	70,88	-9,170	+0,185	-9,138	+0,202	+0,806	11,167	+0,108	53	2
155	91	208,04	101,25	71,34	-9,170	+0,185	-9,068	+0,287	+0,814	11,289	-0,110	53	2
156	94	252,05	75,3	20,69	-8,123	+0,763	-7,807	+0,447	+0,505	11,064	-0,799	33	1
157	94	252,05	73,35	20,70	-8,343	+1,103	-7,616	-0,376	+0,505	10,603	-0,313	58	1
158	94	252,05	71,8	20,47	-7,940	+0,800	-7,497	-0,357	+0,505	10,947	-0,058	51	2
159	95	254,03	95,7	37,60	-8,795	+0,115	-8,728	+0,182	+0,498	11,324	-0,530	31	2
160	95	254,03	93,9	37,46	-8,793	-0,023	-8,565	+0,205	+0,498	11,161	-0,121	43	2
161	95	254,03	92,0	37,34	-8,790	-0,170	-8,445	+0,175	+0,498	11,048	-0,199	57	2
162	95	254,03	90,2	37,15	-8,767	-0,287	-8,326	+0,154	+0,498	10,950	+0,516	69	2
163	96	256,04	84,75	35,87	-9,220	-1,170	-8,354	-0,304	+1,061	-10,525	+0,167	61	2

№	м-теор	С	h	v	lg ρ_1	Δ_1	lg ρ_2	Δ_2	E	lg σ	s	δt	g
164	96	256 ⁹⁰⁴	83,95	35,86	-9,072	-1,092	-8,130	-0,150	+1,061	-10,447	+0,303	0,64	2
165	96	256 04	83,15	35,84	-8,978	-1,058	-8,245	-0,325	+1,061	10,606	+0,441	,67	2
166	98	256 13	88,35	35,58	-8,200	-0,860	-8,550	-0,210	+0,491	10,741	-0,241	,36	2
167	98	256 13	85,55	35,55	-9,052	-0,942	-8,508	-0,398	+0,491	10,845	+0,075	,47	2
168	99	256 13	89,8	36,80	-8,050	+0,400	-8,508	-0,108	+0,049	11,898	-0,665	,34	2
169	101	258 10	92,10	37,56	-9,188	-0,558	-8,672	-0,542	+1,303	10,923	-0,852	,23	2
170	101	258 10	89,70	37,51	-8,935	-0,495	-8,519	-0,079	+1,303	10,005	-0,515	,33	2
171	101	258 10	87,35	37,46	-8,490	-0,545	-8,410	-0,160	+1,303	11,105	+0,236	,44	2
172	101	258 10	85,0	37,37	-8,613	-0,543	-8,330	-0,260	+1,303	11,133	+0,286	,55	2
173	101	258 10	82,70	37,26	-8,461	-0,581	-8,204	-0,324	+1,303	11,358	+0,400	,53	2
174	102	259 14	82,5	36,67	-8,436	-0,581	-8,404	-0,534	+1,017	11,409	-0,182	,59	2
175	102	259 14	81,1	36,56	-8,171	-0,411	-8,293	-0,533	+1,017	11,503	+0,003	,66	2
176	102	259 14	79,8	36,41	-8,067	-0,407	-8,182	-0,522	+1,017	11,442	+0,197	,73	2
177	102	259 14	78,7	36,18	-7,954	-0,367	-8,006	-0,416	+1,017	11,442	+0,197	,73	2
178	103	179 27	101,	64,90	-10,197	-0,857	-10,197	-0,857	+0,963	11,814	-1,102	,33	1
179	104	209 05	102,2	70,37	-8,936	+0,504	-9,360	+0,080	+3,288	11,586	-0,644	,56	1
180	104	209 05	94,0	70,28	-8,856	-0,076	-9,051	-0,271	+3,288	11,478	-0,292	,67	2
181	104	209 05	88,8	70,21	-8,580	-0,080	-8,618	-0,168	+3,288	11,110	-0,138	,40	2
182	105	199 06	100,4	53,81	-9,284	+0,006	-9,005	+0,285	+0,134	11,187	+0,354	,64	3
183	105	199 06	97,87	53,43	-9,030	+0,060	-8,828	-0,262	+0,134	11,857	-0,587	,21	1
184	106	228 42	86,5	29,50	-9,109	-0,929	-8,575	-0,395	+0,518	10,770	+0,364	,42	1
185	106	228 42	84,1	29,43	-1,113	-1,113	-8,494	-0,494	+0,518	11,277	+0,198	,64	2
186	106	228 42	81,25	29,38	-8,227	-0,457	-8,051	-0,281	+0,518	11,433	+0,383	,73	2
187	106	228 42	80,25	29,06	-8,011	-0,311	-8,015	-0,315	+0,518				

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПОЛЕТА МЕТЕОРОВ

Фотографирование метеоров в Одесской астрономической обсерватории ведется с помощью неподвижных камер, поэтому время полета используется только при вычислении гелиоцентрических орбит метеоров. Для определения времени полета применяется метод крыла переменного сечения [30]. На наблюдательном пункте в с. Маяки перед камерами метеорного патруля установлен обтюратор, который состоит из трех секторов («крыльев») AOB , COD и MON (рис. 10), вращающихся со средней угловой скоростью 25 об/сек. Секторы AOB и COD жестко соединены между собой, а третий сектор MON связан с ними при помощи редуктора так, что он медленно смещается относительно двух первых, делая один полный оборот за 1 час и 4 минуты. На рис. 10 стрелка указывает

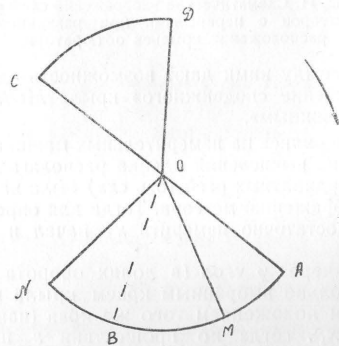


Рис. 10. Схематический чертеж обтюратора переменного сечения.

общее направление вращения крыльев и направление движения «подвижного» крыла MON относительно «неподвижных» AOB и COD . Угловые размеры крыльев (в долях оборота):

$$\begin{aligned} \sphericalangle AOB &= 0,192, \\ \sphericalangle COD &= 0,153, \\ \sphericalangle MON &= 0,192, \\ \sphericalangle BOC &= 0,308, \\ \sphericalangle AOD &= 0,347. \end{aligned}$$

Исходным положением крыла MON считается такое, когда $\sphericalangle BON = 0,075$. Этот момент времени фиксируется на ленте

хронографа и одновременно происходит перематка пленки в камерах. Таким образом, для определения времени полета сфотографированного метеора достаточно знать расположение крыльев обтюлятора в момент полета.

При таком способе фотографирования след метеора имеет вид, приведенный на рис. 11. В зависимости от взаимного расположения крыльев за один полный оборот обтюлятора (цикл) на следе метеора получаются либо два, либо три штриха (рис. 11, А и В). Относительные длины штрихов и



Рис. 11. Схематическое изображение следов метеоров с перерывами при различном расположении крыльев обтюлятора.

промежутков между ними дают возможность однозначно определить положение «подвижного» крыла MON по отношению к «неподвижному».

Снимки измерялись на измерительных машинах. Для удобства дальнейших вычислений пленка располагалась так, чтобы одна из координатных осей (ось « x ») была направлена параллельно изображению метеора. Тогда для определения времени полета достаточно измерить x_i начал и концов всех штрихов.

Обозначим через φ угол (в долях оборота обтюлятора) между произвольно выбранным краем крыла и некоторым фиксированным положением того же края (например, соответствующим x_1). Тогда по прошествии s циклов $\varphi = s$, а соответствующие ему $x = x_{1+s}$, где $n=4$ или $n=6$ в зависимости от числа штрихов в цикле. Таким образом, можно установить зависимость между φ и x :

$$\varphi = \varphi(x).$$

Эта функция в общем случае может быть представлена полиномом некоторой степени p ($p \leq k-1$, где k — общее число циклов)

$$\varphi = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_px^p, \quad (1)$$

коэффициенты которого легко могут быть определены обычными методами.

Пользуясь формулой (1), можно для каждого измеренного x_i найти соответствующее φ_i . Разности $\Delta\varphi_i = \varphi_{i+1} - \varphi_i$ дают величины углов между краями крыльев обтюлятора.

Поскольку измеренные x_i отягощены случайными ошибками, то $\Delta\varphi_i$, соответствующие одному и тому же углу, будут несколько различаться между собой. Взяв среднее из всех $\Delta\varphi_i$ для данного угла по всем циклам, получим окончательное значение величины этого угла $\Delta\varphi_m$ ($1 \leq m \leq n$).

Однако, как показала практика, в уравнении (1) обычно достаточно ограничиться двумя первыми членами, т. е. положить

$$\varphi = a_0 + a_1x. \quad (2)$$

В силу линейности этой функции обработка значительно упрощается. По измеренным x_i вычисляются длины всех штрихов и промежутков $\Delta x_i = x_{i+1} - x_i$. Величины, соответствующие штрихам или промежуткам, от цикла к циклу изменяются, что объясняется эффектом перспективы, изменением масштаба изображения и случайными ошибками измерений. Так как зависимость $\varphi(x)$ линейна, то для нахождения величин углов между крыльями обтюлятора мы усредняем соответствующие Δx_i :

$$\Delta x_m = \frac{1}{k} \sum_{i=0}^k \Delta x_{i-m+nj}, \quad \text{где } 1 \leq m \leq n, \quad (3)$$

а затем находим среднюю длину цикла

$$\bar{l} = \sum_{m=1}^n \Delta x_m. \quad (4)$$

Соответствующие углы $\Delta\varphi_m$ тогда будут:

$$\Delta\varphi_m = \frac{\Delta x_m}{\bar{l}}. \quad (5)$$

В качестве примера рассмотрим определение времени полета для метеора № 198. В табл. 22 приведены x_i для каждой точки и Δx_i . Как видно из фотографии метеора, цикл содержит два штриха, поэтому Δx_i , соответствующие штрихам и промежуткам в цикле, расположатся так, как показано в табл. 23. Согласно вычисленным углам расположение крыльев в момент полета метеора изображено на рис. 12. Из приведенных данных можно определить угол ψ , на который сместилась сторона подвижного крыла ON от своего исходного положения:

$$\psi = 0.308 - 0.075 + 0.140 + 0.316 + 0.192 = 0.881,$$

или

$$\psi = 1 - (0.314 + 0.229 - 0.500 + 0.075) = 0.882,$$

т. е.

$$\psi_{\text{ср.}} = 0.882.$$

Следует отметить, что при определении угла ψ везде нужно использовать суммы двух соседних измеренных углов с целью исключения эффекта фотографической иррадиации.

В качестве критерия точности используем отклонения сумм измеренных углов $\Delta\varphi_m$ от теоретических. Так,

$$\angle BOC + \angle COD = 0.314 + 0.140 = 0.454,$$

$$\angle MOB + \angle MOD = 0.316 + 0.229 = 0.545,$$

теоретические значения этих же сумм—0.461 и 0.539 соответственно. Следовательно, отклонения составляют—0.007 и +0.006, а среднее квадратичное отклонение равно 0.007. Окончательно получаем

$$\psi_{\text{ср.}} = 0.882 \pm 0.007.$$

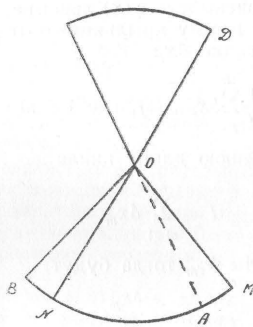


Рис. 12. Схема взаимного расположения крыльев обтюлятора в момент пролета метеора № 198.

Зная момент перемотки пленки ($U. T. 19^h 08^m 27^s$) и интервал между перемотками ($1^h 04^m 03^s$), по углу $\psi_{\text{ср.}}$ вычисляем момент полета метеора ($U. T. = 19^h 08^m 27^s + 1^h 04^m 03^s \cdot (0.882 \pm 0.007) = 20^h 04^m 23^s \pm 27^s$). Звездное время полета $S = 11^h 13^m 23^s \pm 27^s$.

Описанный метод позволяет в каждом конкретном случае оценить также и точность определения времени полета метеора. Обширный наблюдательный материал (135 метеоров) позволил найти максимальную ошибку, возникающую при практическом использовании данного метода. С этой целью было выбрано 10 метеоров с сильно размытыми концами штрихов, что обуславливало неуверенное определение углов $\Delta\varphi$ между крыльями обтюлятора. Результаты приведены

№№ точек	x_i	Δx_i	№№ точек	x_i	Δx_i	№№ точек	x_i	Δx_i
1	55.501		26	69.734		51	84.679	
2	56.155	0.654	27	70.347	0.613	52	85.574	0.895
3	56.601	0.446	28	71.031	0.684	53	85.955	0.381
4	57.389	0.788	29	71.368	0.337	54	86.833	0.878
5	57.684	0.295	30	72.087	0.719	55	87.249	0.416
6	58.345	0.661	31	72.687	0.600	56	88.127	0.878
7	58.978	0.633	32	73.418	0.731	57	88.469	0.342
8	59.556	0.578	33	73.753	0.335	58	89.288	0.819
9	59.947	0.391	34	74.490	0.737	59	89.726	0.438
10	60.501	0.554	35	74.900	0.516	60	90.285	0.559
11	61.166	0.665	36	75.006	0.773	61	91.000	0.715
12	61.666	0.625	37	75.779	0.373	62	91.892	0.892
13	62.152	0.361	38	76.152	0.709	63	92.438	0.546
14	62.845	0.693	39	76.861	0.557	64	92.438	0.890
15	63.373	0.528	40	77.418	0.779	65	93.328	0.355
16	63.773	0.739	41	78.197	0.323	66	93.683	0.817
17	64.112	—	42	78.520	0.820	67	94.500	0.587
18	—	—	43	79.340	0.530	68	95.087	0.873
19	65.774	—	44	79.870	0.768	69	95.960	0.365
20	66.332	0.558	45	80.638	0.239	70	96.325	0.803
21	66.843	0.511	46	80.877	0.881	71	97.128	0.571
22	67.389	0.546	47	81.758	0.591	72	97.699	0.937
23	67.889	0.655	48	82.349	0.723	73	98.636	0.256
24	68.044	0.654	49	83.072	0.383	74	98.892	0.915
25	68.698	0.392	50	83.455	0.745	75	99.807	0.525
		0.644		84.190	0.489		100.332	1.007

Таблица 22 (продолжение)

№№ точек	x_i	Δx_i	№№ точек	x_i	Δx_i	№№ точек	x_i	Δx_i
76	101.339	0.296	95	114.151	0.903	113	127.254	0.943
77	101.635	0.782	96	115.054	0.347	114	128.197	0.621
78	102.417	0.645	97	115.401	0.996	115	128.818	1.012
79	103.062	0.930	98	116.397	0.617	116	129.830	0.390
80	103.992	0.292	99	117.014	0.918	117	130.220	0.956
81	104.284	0.943	100	117.932	0.494	118	131.176	0.720
82	105.227	0.576	101	118.426	0.778	119	131.896	0.928
83	105.803	0.917	102	119.204	0.845	120	132.824	0.357
84	106.720	0.300	103	120.049	0.852	121	133.181	0.949
85	107.020	0.913	104	120.901	0.422	122	134.130	0.733
86	107.933	0.631	105	121.323	0.876	123	134.863	0.982
87	108.564	0.900	106	122.190	0.747	124	135.345	0.444
88	109.464	0.284	107	122.937	0.933	125	136.289	0.974
89	109.748	0.962	108	123.870	0.326	126	137.263	0.691
90	110.710	0.560	109	124.196	0.963	127	137.964	1.037
91	111.270	0.942	110	125.159	0.791	128	138.901	0.396
92	112.212	0.320	111	125.950	0.900	129	139.297	0.889
93	112.532	1.005	112	126.850	0.404	130	140.186	
94	113.537	0.614						

в табл. 24. Для каждого из 10 указанных в первой колонке метеоров время полета определялось по двум сериям независимых измерений. Для каждого метеора оказалось два несколько различающихся значения времени полета. Во второй колонке таблицы приведены разности этих величин ΔS . В третьей колонке приведены средние квадратичные отклонения σ_S , вычисленные таким же способом, как для метеора № 198. При этом для каждого метеора отклонения вычислялись для обеих серий измерений и в таблицу внесено большее из них. Ус-

Таблица 23

	Штрих	Промежуток	Штрих	Промежуток	
	0.654	0.446	0.788	0.295	
	.661	.633	.578	.391	
	.554	.665	.625	.361	
	.693	.528	.739	—	
	—	—	.558	.511	
	.546	.655	.654	.392	
	.644	.613	.684	.337	
	.719	.600	.731	.335	
	.737	.516	.773	.373	
	.709	.557	.779	.323	
	.820	.530	.768	.239	
	.881	.591	.723	.383	
	.745	.489	.895	.381	
	.878	.416	.878	.342	
	.819	.438	.559	.715	
	.892	.546	.890	.355	
	.817	.587	.873	.365	
	.803	.571	.937	.256	
	.915	.525	1.007	.296	
	.782	.645	0.930	.292	
	.943	.576	.917	.300	
	.913	.631	.900	.284	
	.962	.560	.942	.320	
	1.005	.614	.903	.347	
	0.996	.617	.918	.494	
	.778	.845	.852	.422	
	.867	.747	.933	.326	
	.963	.791	.900	.404	
	.943	.621	1.012	.390	
	.956	.720	0.928	.357	
	.949	.733	.982	.444	
	.974	.691	1.037	.396	
	.889				
Среднее . . .	0.825	0.603	0.831	0.369	$\Sigma = 2.628$
Углы	0.314	0.229	0.316	0.140	$\Sigma = 0.999$

редняя значения ΔS и σ_S по обеим колонкам, мы видим, что расхождение между двумя сериями измерений меньше, чем среднее квадратическое отклонение, что и следовало ожидать. Следовательно, можно считать, что ошибка в определении времени полета методом крыла переменного сечения не превышает 1 минуты, и только для метеоров с очень размытыми штрихами она может доходить до 2 минут (например, метеоры № 134 и № 148).

Для метеора № 198 оказалось возможным определить время полета и по способу, предложенному В. В. Федынским [31]. Для этого метеора был получен гидрируемый снимок на астрографе в том же наблюдательном пункте. Звездное

Таблица 24

№ метеороров	ΔS	σ_s
148	66 ^s	112 ^s
114	—	39
149	18	73
154	36	73
159	30	73
161	—	15
105	6	73
103	30	27
134	120	81
130	18	19
Среднее	41	59

Время полета определялось как разность часового угла t и прямого восхождения α полюсов больших кругов, проведенных через изображения метеора, для негидрируемого и гидрируемого снимков соответственно. Ошибки в координатах полюсов, обуславливающие ошибку в значении времени полета, вычислялись по методике, изложенной в работе [32]. Звездное время полета, определенное таким способом,

$$S = 11^h 12^m 24^s \pm 6^s.$$

Точность определения в данном случае очень высока, что объясняется прекрасным качеством изображений метеора и звезд на обоих снимках. Однако проведенный расчет погрешностей в координатах полюсов не учитывает возможных систематических ошибок этого способа определения времени полета. Поэтому мы считаем, что полученное расхождение во временах полета, определенных двумя методами, равное 59 секундам, лежит в пределах точности измерений.

Итак, установлено, что точность определения времени полета методом крыла переменного сечения составляет в среднем 1 минуту, что вполне достаточно при вычислении гелиоцентрических орбит.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Н. Крамер, АИ, № 135, 1953.
2. И. С. Астапович, Метеорные явления в атмосфере Земли. Госиздат, физ.-мат. лит., Москва, 1958.
3. А. Д. Дубяго, Определение орбит. Госиздат техн.-теорет. лит., Москва, 1949.
4. J. Норре, AN, 262, 169—198, 1937.
5. F. L. Whipple, Harv. Repr., № 465, 1957.
6. E. J. Örik, Physics of Meteor flight in the atmosphere, 1958.
7. F. L. Whipple, Proc. of the American Phil. Soc., vol. 79, № 4, 1938.
8. Л. А. Катасев, Фотографические методы метеорной астрономии. Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1957.

9. Е. Н. Крамер, Изв. Одесской астр. общ., т. 3, 1953.
10. F. L. Whipple, Astron. Journ., vol. 59, № 6, 1954.
11. И. А. Клейбер, Определение орбит метеорных потоков, СПб., 1891.
12. В. А. Мальцев, Русский Астр. календ., пост. часть, изд. IV, стр. 448, 1930.
13. W. F. Denning, General Catalogue..., MRAS, vol. 53, 1899.
14. F. W. Wright, F. L. Whipple, Harv. Col. Obs., Techn. Rep. 11, 1953.
15. Z. Cepiecha, Bull. of the Astr. Inst. of Czechoslovakia, vol. 9, № 6.
16. П. Б. Бабаджанов, Бюлл. инст. астр. АН Тадж. ССР, № 29, 1960.
17. R. F. Hughes, Smit. contr. to astrophysics, vol. 3, N 8, 1959.
18. Б. Л. Кашеев, В. Н. Лебединец, Радиолокационные исследования метеорных явлений. Изд. АН СССР, Москва, 1961.
19. Z. Cepiecha, Bull. of the Astr. Inst. of Czechoslovakia, vol. VIII, № 3.
20. П. Б. Бабаджанов, Бюлл. инст. астр. АН Тадж. ССР, № 26, 1958.
21. G. S. Hawkins, R. B. Southworth, Smit. contr. to astroph. vol. 2, № 11, 1958.
22. Z. Plavcova, M. Plavec, Бюлл. астр. инст. Чехословакии, том II, № 6, 1960.
23. F. L. Whipple, Smit. Contr. to Astrophysics, vol. 4, № 4, 1961.
24. F. L. Whipple, Astroph. Journ., vol. 113, № 3, 1951.
25. Р. Б. Теплицкая, Н. Н. Израецкая, Фотометрия метеороров, в этом сборнике.
26. E. Örik, Harv. Repr., 100, 1933.
27. L. G. Jacchia, Harv. col. obs., Techn. Rep. № 3, 1949.
28. L. G. Jacchia, Smit. Contr. to Astroph. vol. 2, № 9, 1958.
29. Таблица временной стандартной атмосферы 1960 года (BCA-60), Вычислительный Центр, АН СССР, Москва, 1960.
30. Е. Н. Крамер, С. И. Ильштейн, А. П. Чемодуров, Техн.-экон. бюллетень Одесского Совнархоза, № 6, 1958.
31. В. В. Федынский, Астрономия в СССР за 30 лет (1917—1947), Гостехиздат, стр. 89, 1948.
32. Е. Н. Крамер, Р. Б. Теплицкая, О. А. Руденко, Инф. бюлл. МГК АН УССР, № 3, 1961.

Р. Б. ТЕПЛИЦКАЯ, Н. Н. ИЗРАЕЦКАЯ

ФОТОМЕТРИЯ МЕТЕОРОВ

(Эффективные звездные величины 83 метеоров)

Как известно, при фотометрии метеорных снимков возникают затруднения, связанные с необходимостью иметь стандарт, сфотографированный с той же продолжительностью экспозиции, что и метеор. В качестве такого стандарта используют специальную установку — «искусственный метеор». Однако методика привязки блеска метеоров к искусственным источникам на разных станциях, работавших в 1957—1958 гг. по программе МГГ, не была унифицирована. Поэтому для сравнения результатов, полученных отдельными станциями, удобно принять предложенные В. В. Шароновым «эффективные звездные величины» (m_e). Под m_e подразумевается звездная величина метеора, который при выполнении закона взаимозаменяемости создал бы на данном негативе такое же почернение, что и исследуемый метеор. Значение m_e можно определить привязкой к суточным следам звезд.

§ 1. В настоящее время мы измерили эффективные звездные величины для всех метеоров, сфотографированных в период МГГ. Чтобы получить эти данные, предварительно пришлось исследовать фотометрическую систему, состоящую из объективов НАФА Зс/25 и панхроматической пленки. Ввиду того, что марки эмульсии, поставлявшейся нам разными фабриками в указанный период, отличались друг от друга, для каждого из образцов применявшейся пленки было отобрано по одному-два кадра с непродолжительными экспозициями звездного неба, и по ним определялась цветовая характеристика системы. Предпочтение отдавалось снимкам зенитной камеры, для которых можно не вводить поправки за дифференциальное поглощение. Те же снимки использовались для нахождения фотометрической ошибки поля.

На исследуемых кадрах выбиралось 150—200 звезд, расположенных равномерно по всему полю. Их звездные величины m_{vis} выписывались из «Каталога визуальных величин яр-

ких звезд» [1], после чего приводились к экватору по формуле [2]:

$$\Delta m_s = 2.5 \lg \cos \delta, \quad (1)$$

справедливой при выполнении закона взаимозаменяемости [3].

Почернения D суточных следов звезд измерялись на микрофотометре МФ-4. Характеристические кривые строятся по величинам D и m_s , где

$$m_s = m_{vis} + \Delta m_s. \quad (2)$$

При этом предполагалось, что распределение звезд по спектральному классу одно и то же для любого расстояния r от оптического центра, и, следовательно, ошибками, связанными с возможным различием в цветовой системе каталога и панхроматической пленки, можно пренебречь. Тогда отклонения $\Delta m(r)$ отдельных звезд от кривой (D, m_s) можно приписать влиянию ошибки поля. Усредняя $\Delta m(r)$ для звезд с близкими значениями r , получаем ход ошибки поля для каждого из используемых кадров, что позволяет исправить m_s всех звезд по формуле

$$m_r = m_s + \Delta m(r). \quad (3)$$

Величины D и m_r служили для построения новых характеристических кривых, на этот раз по звездам спектральных классов В5-А5. Отклонения индивидуальных m_r от этих кривых (обозначим их Δm_A) приписывались различию между нашей цветовой системой и цветовой системой каталога. Для каждого кадра методом наименьших квадратов решалась система уравнений

$$\Delta m_A = a + b(C.I.), \quad (4)$$

где $C.I.$ — колор-индекс.

Величины a и b для разных образцов пленки отличаются между собой незначительно. Их средние значения таковы:

$$a = 0^m00 \pm 0^m03,$$

$$b = 0^m19 \pm 0^m05.$$

Таким образом, наша фотометрическая система близка визуальной.

В таблице 1 приводятся сведения о найденных величинах $\Delta m(r)$. Они получены усреднением соответствующих значений $\Delta m(r)$, определенных для шести кадров зенитной камеры, для одного кадра каждой из южной, западной и восточной камер в Маяках (М), зенитной и западной камер в Крыжановке (К). Первая строка содержит расстояния r от оптического центра в мм, вторая строка — средние величины $\Delta m(r)$, третья — средние уклонения $\Delta m(r)$ для отдельных камер от среднего значения.

Таблица 1

$r, \text{мм}$	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\Delta m(r)$	0.01	0.01	0.02	0.08	0.21	0.37	0.58	0.95	1.38
дисп.	± 0.02	± 0.08	± 0.13	± 0.15	± 0.15	± 0.15	± 0.11	± 0.09	± 0.19

Таблица показывает, что до расстояния $r < 50$ мм ошибка поля мала и меньше ошибок измерений. Однако и на расстояниях $r > 50$ мм рассеяние значений $\Delta m(r)$ от средней кривой довольно велико. Поэтому мы сочли необходимым повторить определение фотометрической ошибки поля, используя найденные выше величины a и b . Они дают возможность получить для всех звезд сравнения панхроматическую величину

$$m_p = m_s + \Delta m_A. \quad (5)$$

Величины m_p и D служили для проведения новых характеристических кривых, которые мы строили только по звездам центральной зоны с $r \leq 50$ мм. Для остальных звезд находили отклонения Δm_1 от этих кривых. Будучи сопоставлены с r , они дают следующую таблицу, представляющую ход ошибки поля во втором приближении.

Таблица 2

$r, \text{мм}$	50	60	70	80	90	100	110
Δm_1	0.05	0.17	0.32	0.53	0.82	1.23	1.61
дисп.	± 0.06	± 0.07	± 0.06	± 0.08	± 0.10	± 0.13	± 0.12

Таблица 2 подтверждает данные таблицы 1, но дисперсия значений Δm_1 здесь значительно меньше. Таблица 3 содержит те же сведения, что таблица 2, выписанные для отдельных объективов. В первой строке дана средняя ошибка поля для зенитной камеры в Маяках, определенная по шести кадрам. Рядом с Δm_1 приведены средние уклонения от средней кривой $\Delta m_1(r)$. Они позволяют судить о точности измерений.

Ошибка поля для всех камер приблизительно одинакова. В двух случаях (запад К, запад М) различия выходят за пределы ошибок измерений. Рис. 1, составленный по данным таблицы 3, иллюстрирует сказанное. Сплошная кривая проведена на основе величин первой строки, вертикальные прямые соответствуют дисперсии, связанной с ошибками измере-

Таблица 3

Камера	Г.М.М.		70		80		90		100		110	
	m	σ	m	σ	m	σ	m	σ	m	σ	m	σ
Зенит М . . .	0.09	± 0.18	0.34	0.52	0.74	1.08	1.58					
Дисп.	± 0.07	± 0.06	± 0.07	± 0.09	± 0.08	± 0.16	± 0.20					
Запад М . . .	0.10	0.28	0.46	0.66	0.88	1.28	1.85					
Восток М . . .	0.10	0.25	0.35	0.50	0.80	1.30	—					
Юг М	0.09	0.12	0.28	0.60	1.02	1.59	—					
Зенит К	0.00	0.15	0.32	0.56	0.87	1.20	1.50					
Запад К	-0.08	± 0.04	0.18	0.33	0.60	0.93	1.50					

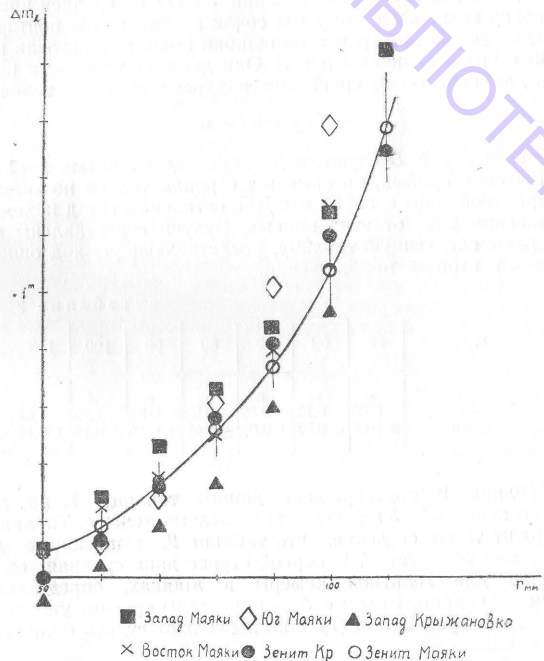


Рис. 1.

ний. Все приведенные результаты справедливы для звезд некоторого среднего блеска. В действительности, ошибка поля зависит от звездной величины. Если рассмотреть ход $\Delta m_1(r)$

в отдельности для звезд, объединенных в группы по их m_p , то оказывается, что соответствующие графики смещены относительно друг друга. На рис. 2 приведены кривые $\Delta m_1(r)$ для зенитной камеры (М). Из рассмотрения рисунка видно, что

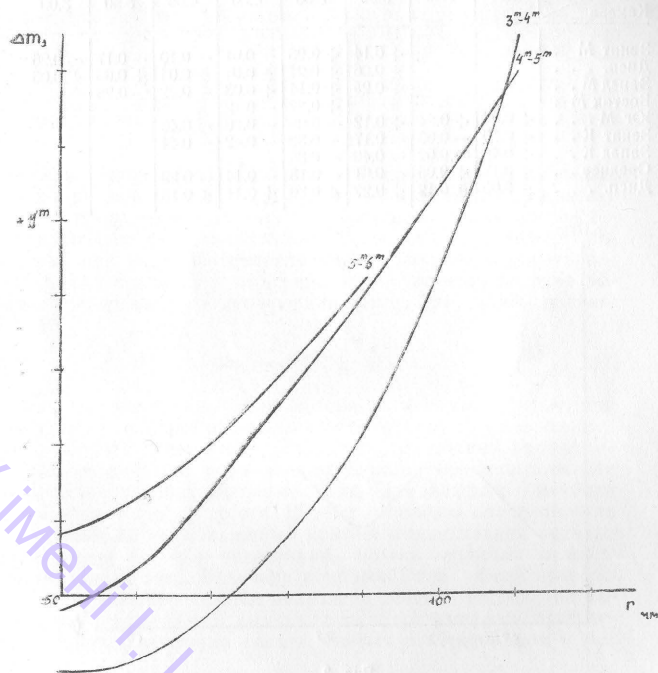


Рис. 2.

ошибка поля для ярких звезд меньше, чем для слабых. Так как у нас недостаточно материала, чтобы построить для всех камер уверенные кривые, аналогичные рисунку 2, то придется идти по пути нахождения поправок к рисунку 1, что менее точно. Обозначим через Δm_2 разницу между $\Delta m_1(r)$, снятым с графиков рисунка 1, и $\Delta m_1(r)$, реально имеющем место для каждой звезды. Усредненные величины, представляющие зависимость Δm_2 от звездной величины m_p , собраны в таблице 4. Данные этой таблицы дают поправки, которые

нужно придать величине ошибки поля из таблицы 3, чтобы получить ошибку поля для звезды данного блеска.

Таблица 4

Камера	m_p	m 6.50	m 6.00	m 5.50	m 5.00	m 4.50	m 4.00	m 3.50	m 3.00
Зенит М . . .				+ 0.14	+ 0.06	- 0.01	- 0.10	- 0.17	- 0.26
Дисп.				± 0.06	± 0.04	± 0.04	± 0.04	± 0.06	± 0.06
Запад М . . .				+ 0.25	+ 0.14	+ 0.03	- 0.22	- 0.28	
Восток М . . .					+ 0.22	+ 0.12			
Юг М	+ 0.24	+ 0.24	+ 0.12	- 0.05	- 0.26	- 0.40			
Зенит К . . .	+ 0.10	- 0.06	- 0.17	- 0.30	- 0.42	0.44			
Запад К . . .	+ 0.48	- 0.02	- 0.40	- 0.85					
Среднее . . .	+ 0.17	+ 0.05	- 0.01	- 0.13	- 0.14	- 0.29			
Дисп.	± 0.05	± 0.12	± 0.22	± 0.30	± 0.14	± 0.13			

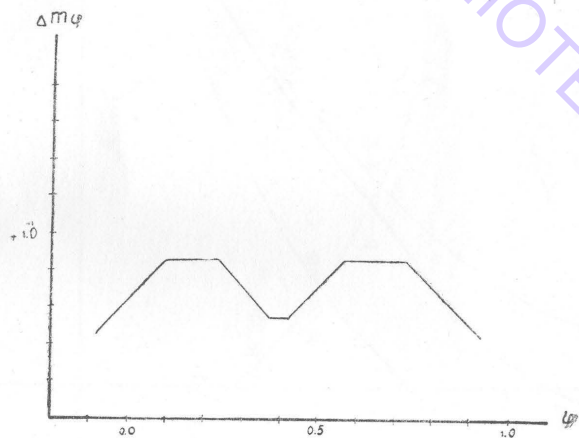


Рис. 3.

Для отдельных камер имеются отличия в величинах Δm_2 , которые можно уменьшить, если искать зависимость Δm_2 не от звездной величины, а от плотности почернения. Таблица 5, аналогичная таблице 4, содержит зависимость $\Delta m_2(D)$.

Различия в Δm_2 для отдельных камер здесь того же порядка, что ошибки измерений.

§ 2. Для определения кривой блеска метеора выбиралось 10—20 звезд сравнения, по возможности не слишком далеко от метеора, чтобы не было нужды вводить поправку за дифференциальное поглощение. Фотометрировались, в основном,

Таблица 5

Камера	D	0.040	0.060	0.080	0.100	0.120	0.140	0.160	0.180	0.200
Зенит М . . .	m	+ 0.26	+ 0.05	- 0.03	- 0.14	- 0.18	- 0.21	- 0.24	- 0.19	- 0.27
Дисп.		± 0.10	± 0.09	± 0.10	± 0.10	± 0.09	± 0.11	± 0.12	± 0.09	± 0.07
Запад М . . .	m	+ 0.50	- 0.00	- 0.10	- 0.22	- 0.32	- 0.38	- 0.42	- 0.47	- 0.50
Восток М . . .	m	+ 0.10	- 0.11	- 0.30	- 0.50					
Юг М	m	+ 0.34	+ 0.26	+ 0.23	- 0.06	- 0.18	- 0.24	- 0.29	- 0.34	- 0.42
Зенит К . . .	m	+ 0.28	+ 0.20	+ 0.12	0.00	- 0.14	- 0.29	- 0.32	- 0.36	- 0.36
Среднее . . .	m	+ 0.30	+ 0.08	- 0.02	- 0.18	- 0.21	- 0.28	- 0.32	- 0.34	- 0.39
Дисп.		± 0.10	± 0.12	± 0.13	± 0.14	± 0.06	± 0.05	± 0.05	± 0.06	± 0.07

снимки обтураторного пункта (с. Маяки), так как здесь фон неба практически равен нулю, в то время, как в Крыжановке и в Богсаду, базисных пунктах, сильная засветка огнями города создает фон, значительно более темный и менее пригодный для задач фотометрии. Использование обтураторного снимка приводит к необходимости учитывать влияние эффекта прерывистого диафрагмирования. Вводилась поправка [4]:

$$\Delta m_\varphi = -2.5 \lg \frac{t_\varphi}{T}, \quad (7)$$

где t_φ — время, в течение которого объектив открыт при данном расположении крыльев обтуратора, T — период полного оборота обтуратора. Зная, как изменяется положение подвижного крыла в течение экспозиции (64 мин.), можно рассчитать таблицу поправок Δm_φ для каждого момента времени. На рис. 3 по оси абсцисс отложены значения угла φ , образованного подвижным крылом и положением подвижного крыла в начале экспозиции, по оси ординат отложены поправки Δm_φ . Величина поправок Δm_φ была проверена по специально снятым кадрам: в течение экспозиции обтуратор периодически выключался, и сравнивалось почернение участков, суточных следов, снятых с обтуратором и без него.

Редукция звездных величин звезд сравнения сводилась к следующим операциям: выписанные из [1] визуальные звездные величины приводились на экватор и переводились в панхроматические величины m_p . В большинстве случаев суточные следы измерялись в той точке, которая соответствует моменту пролета метеора, поэтому поправка Δm_φ снималась с графика рис. 3 по значению угла φ в этот момент. В редких случаях приходилось измерять и другие точки суточных следов, тогда φ для них определялись по известному расстоянию фотометрируемой точки от начала экспозиции.

Поправка за ошибку поля вводилась на основании графиков рис. 1 и данных таблиц 4 или 5. Найденные таким

путем величины m использовались для построения характеристической кривой кадра.

При измерении метеора и звезд сравнения высота щели фотометра подбиралась так, чтобы она была немного больше максимальной толщины изображения метеора. В случае, когда блеск метеора меняется значительно (например, вспышка), фотометрия проводилась при двух или более значениях высоты щели.

Почернение D_m метеора переводилось в звездную величину m_m , которая затем исправлялась с учетом ошибки поля и служила для определения эффективной звездной величины на основании закона взаимозаместимости:

$$m_e = m_m + \Delta m_m, \quad (8)$$

где

$$\Delta m_m = -2.5 \lg \frac{v_m}{v_0}. \quad (9)$$

Здесь v_m — линейная скорость фотометеора, v_0 — линейная скорость передвижения изображения экваториальной звезды по кадру.

Абсолютная эффективная величина получается из видимой применением формулы

$$M_e = m_e - 5 \lg r + 10, \quad (10)$$

где r — расстояние от пункта наблюдения до точки на метеоре.

Таблица 6 содержит M_e всех метеоров, сфотографированных в период МГГ. В первой колонке приведено время, прошедшее от появления метеора, выраженное в долях оборота обтюратора. Во второй колонке — величины M_e . Номера метеоров соответствуют номерам из статьи Е. Н. Крамера, и др., помещенной в настоящем сборнике.

Метеоры № 57, 82, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 102, 103 фотометрировались по снимкам базисных пунктов, поэтому их звездные величины могут быть занижены из-за значительного влияния фона неба.

Случайные ошибки измерений зависят от плотности почернений. В некоторых случаях они достигают $\pm 0^m 2$. Такие метеоры отмечены звездочкой около номера. В большинстве случаев это слабые фотометеоры.

Данные таблицы 6 служат в дальнейшем материалом для вычисления плотности атмосферы.

Как уже неоднократно отмечалось в литературе (например [4]), кривые изменения блеска метеоров чрезвычайно разнообразны, и указать на какие-либо закономерности трудно. Максимум блеска в среднем по всем обработанным метеорам приходится на величину $p=0,65$ от момента появления (p — положение максимума в долях полной продолжительности свечения t).

Таблица 6

τ Метеор № 1	M_e m	τ Метеор № 4	M_e m	τ Метеор № 6 (продолжение)	M_e m	τ Метеор № 15 (продолжение)	M_e m
0.0	-1.0	+0.5	-3.6				
+0.5	1.2	1.0	3.6	13.5	-2.5	3.0	-1.6
1.0	1.5	1.5	3.2	14.0	-2.5	4.0	2.3
1.5	1.7	2.0	3.2			5.0	2.6
2.0	1.9	2.5	3.3	Метеор № 7			
2.5	1.9	3.0	3.7			6.0	2.8
3.0	1.8	3.5	4.3	0.0	-1.8	7.0	2.9
3.5	1.2	4.0	4.3	+0.5	1.9	8.0	2.8
4.0	-0.5	4.5	4.4	1.0	2.0	9.0	2.9
4.5	+0.2	5.0	4.3	1.5	2.1	10.0	2.9
		5.5	4.0	2.0	2.2	11.0	3.0
		6.0	5.2	2.5	2.2	12.0	3.0
		6.5	5.5	3.0	2.2	13.0	3.0
		7.0	5.5	3.5	2.3	14.0	2.9
		7.5	5.5	4.0	2.4	14.5	2.8
		8.0	5.5	4.5	2.5	15.0	2.6
		8.5	5.4	5.0	2.5	15.5	2.7
		9.0	5.2	5.5	2.5	16.0	2.8
		9.5	4.7	6.0	2.3	16.5	2.8
		10.0	4.3	6.5	2.3	17.0	2.8
		10.5	3.9	7.0	2.4	17.5	2.3
		11.0	3.3	7.5	2.5	18.0	2.8
		11.5	2.7	8.0	2.6	18.5	3.1
		12.0	2.0	8.5	2.7	19.0	2.5
		12.5	-1.3	9.0	2.7	19.5	2.0
		5.0	2.5	9.5	2.8	20.0	2.0
		5.5	2.5	10.0	2.8	20.5	2.1
		6.0	2.5	10.5	2.5	21.0	2.2
		6.5	2.5	11.0	-1.0	21.5	2.3
		7.0	2.5			22.0	2.6
		7.5	2.4			22.5	3.5
		8.0	2.4			23.0	2.8
		8.5	2.4			23.5	-2.0
		9.0	-2.3				
		2.0	1.9				
		2.5	2.0				
		3.0	2.0				
		3.5	2.0				
		4.0	2.0				
		4.5	2.1				
		5.0	2.2				
		5.5	2.4				
		6.0	2.5				
		6.5	2.7				
		7.0	2.9				
		7.5	3.0				
		8.0	3.0				
		8.5	3.0				
		9.0	3.0				
		9.5	3.0				
		10.0	3.0				
		10.5	2.9				
		11.0	2.8				
		11.5	2.8				
		12.0	2.7				
		12.5	2.7				
		13.0	2.6				
		13.0	2.5				

Продолжение таблицы 6.

τ	M_e	τ	M_e	τ	M_e	τ	M_e
Метеор № 17 (продолжение)	m	Метеор № 20 (продолжение)	m	Метеор № 26 (продолжение)	m	Метеор № 31* (продолжение)	m
2.0	-2.4	6.0	-1.2	2.0	-1.1	4.0	-0.4
2.5	2.6	7.0	1.3	3.0	1.4	5.0	0.8
3.0	2.6	8.0	1.2	4.0	1.5	6.0	0.9
3.5	2.6	9.0	0.9	5.0	1.5	7.0	0.8
4.0	2.5	10.0	-0.6	6.0	1.5	8.0	0.8
4.5	2.1			7.0	2.9	9.0	0.8
5.0	2.5	Метеор № 21*		8.0	2.8	10.0	1.0
5.5	2.8			9.0	2.9	11.0	1.2
6.0	3.0	-1.0	-3.2	10.0	2.9	12.0	1.3
6.5	-1.4	0.0	3.3	11.0	3.0	13.0	-1.2
7.0	+0.4	+1.0	3.4	12.0	3.0	14.0	+0.8
		2.0	3.3	13.0	3.0		
		3.0	3.1	14.0	2.9	Метеор № 32	
Метеор № 18		4.0	-2.7	14.5	2.8	m	
m				15.0	2.6	+0.5	3.6
3.0	-0.1	Метеор № 22		15.5	2.7	1.0	3.7
4.0	0.2	-3.0	+1.1	16.0	2.8	1.5	3.9
5.0	0.2	-2.0	0.7	16.5	2.8	2.0	4.0
6.0	0.3	-1.0	0.5	17.0	2.8	2.5	4.0
7.0	0.3	0.0	0.2	17.5	2.3	3.0	-3.7
8.0	0.4	+1.0	0.0	18.0	2.8		
9.0	0.5	2.0	0.0	18.5	3.1	Метеор № 33	
9.5	0.4	3.0	0.0	19.0	2.5	m	
10.0	0.2	4.0	0.1	19.5	2.0	1.0	-1.8
10.5	0.3	5.0	0.2	20.0	2.0	1.5	1.9
11.0	0.4	6.0	0.3	20.5	2.1	2.0	2.1
11.5	0.7	7.0	0.5	21.0	2.2	2.5	2.2
12.0	1.2	8.0	0.7	21.5	2.3	3.0	2.3
12.5	1.8	9.0	+0.8	22.0	2.6	3.5	2.4
13.0	-2.0			22.5	3.5	4.0	2.4
		Метеор № 23		23.0	2.8	4.5	2.3
		m		23.5	-2.0	5.0	2.3
Метеор № 19		-2.0	-3.0	23.5	-2.0	5.5	1.9
m		1.0	3.1			6.0	-1.2
-1.0	-2.2	0.0	3.2	Метеор № 27*			
0.0	2.9	+0.5	3.3	m		Метеор № 35	
+0.5	3.8	1.0	3.2	1.0	-0.9	m	
1.0	4.2	1.5	3.3	1.5	1.2	0.0	0.0
1.5	4.4	2.0	3.3	2.0	1.4	+0.5	-0.5
2.0	4.5	2.5	3.3	2.5	1.6	1.0	1.1
2.5	4.5	3.0	3.4	3.0	1.8	1.5	1.4
3.0	4.5	3.5	3.5	3.5	1.7	2.0	1.7
3.5	4.5	4.0	3.7	4.0	0.7	2.5	1.9
4.0	4.1	4.5	3.9	4.5	-0.0	3.0	2.1
4.5	3.4	5.0	4.8	5.0	+0.5	3.5	2.2
5.0	2.3	5.5	5.5	5.5	0.8	4.0	2.3
5.5	-1.4	6.0	5.1	6.0	+1.0	4.5	1.8
		6.5	4.2	Метеор № 31*		5.0	1.4
Метеор № 20		7.0	3.8	m		5.5	1.2
m		7.5	-3.5	-2.0	+0.4	6.0	-1.1
0.0	-0.5			Метеор № 26			
1.0	0.6	-1.0	0.2	0.0	0.3	Метеор № 36	
2.0	0.7	-2.0	-0.0	+1.0	0.3	m	
3.0	0.8	0.0	0.4	2.0	0.3	-3.0	-0.8
4.0	0.6	+1.0	0.8	3.0	+0.1	2.0	1.1
5.0	1.0					1.0	1.3

Продолжение таблицы 6.

τ	M_e	τ	M_e	τ	M_e	τ	M_e
Метеор № 36 (продолжение)	m	Метеор № 39 (продолжение)	m	Метеор № 42	m	Метеор № 45	m
0.0	-1.5	15.0	-1.9	-1.0	-3.0	+0.5	-1.2
+1.0	1.5	15.5	1.6	0.0	3.3	1.0	1.3
2.0	1.5	16.0	1.8	+0.5	3.3	1.5	1.4
3.0	1.4	16.5	2.2	1.0	3.4	2.0	3.2
4.0	1.2	17.0	4.0	1.5	3.6	2.5	3.1
5.0	0.8	17.5	4.6	2.0	3.8	3.0	-2.5
6.0	-0.3	18.0	4.5	2.5	3.9		
		18.5	4.1	3.0	4.0	Метеор № 46*	
Метеор № 37		19.0	3.9	3.5	4.1	m	
m		19.5	3.7	4.0	4.2	-1.0	+0.3
-2.0	-0.1	20.0	-3.5	4.5	4.2	0.0	0.2
1.0	0.4			5.0	4.2	+1.0	0.2
0.0	0.6	Метеор № 40		5.5	4.2	2.0	-0.3
+1.0	0.8	m		6.0	4.1	3.0	0.7
3.0	1.2	1.0	-1.5	6.5	4.1	4.0	1.0
4.0	1.3	2.0	1.6	7.0	4.0	5.0	1.2
5.0	1.5	3.0	1.8	7.5	4.0	6.0	0.7
6.0	1.6	4.0	2.0	8.0	4.0	7.0	-0.2
7.0	1.6	5.0	2.0	8.5	4.0	8.0	+0.4
8.0	1.7	6.0	1.9	9.0	-4.0	9.0	+1.0
9.0	1.8	7.0	1.8				
10.0	1.7	8.0	1.7	Метеор № 43		Метеор № 48	
11.0	1.6	9.0	1.6	m		m	
12.0	1.5	10.0	1.6	0.0	-2.9	0.0	-1.6
13.0	1.5	11.0	-1.6	+0.5	3.0	+0.5	2.0
14.0	1.4	12.0	1.5	1.0	3.1	1.0	2.4
15.0	1.3	13.0	1.4	1.5	3.1	1.5	2.4
16.0	1.4	14.0	1.4	2.0	3.0	2.0	2.4
17.0	1.5	15.0	1.5	2.5	3.0	2.5	2.6
18.0	1.5	16.0	1.5	3.0	-3.0	3.0	2.9
19.0	1.3	17.0	1.3			3.5	3.0
20.0	1.3	18.0	1.3	Метеор № 41		4.0	3.1
21.0	1.3	19.0	1.3	m		4.5	3.0
22.0	1.4	20.0	1.3	-3.0	-1.4	5.0	2.8
23.0	1.5	21.0	1.3	2.0	1.5	5.5	2.5
		22.0	1.4	3.0	-3.0	6.0	1.7
Метеор № 39		23.0	1.5	Метеор № 44		6.5	-1.7
m				m			
-1.0	-1.6	2.0	2.2	0.0	-0.8		
0.0	1.6	3.0	2.2	+0.5	1.2		
+1.0	1.6	4.0	2.2	1.0	1.4	Метеор № 49	
2.0	1.6	5.0	2.2	1.5	1.6	m	
3.0	1.7	6.0	2.2	2.0	1.7		
4.0	1.7	7.0	2.3	2.5	1.7	0.0	-0.5
5.0	1.8	8.0	2.4	3.0	1.8	+0.5	1.0
6.0	2.0	9.0	2.4	3.5	1.8	1.0	1.5
7.0	2.1	10.0	2.5	4.0	2.5	1.5	1.8
8.0	2.2	11.0	2.5	4.5	3.2	2.0	2.0
9.0	2.2	12.0	2.5	5.0	3.4	2.5	2.1
10.0	2.3	13.0	2.6	5.5	3.5	3.0	2.2
11.0	2.4	14.0	2.7	6.0	3.4	3.5	2.4
12.0	2.3	15.0	2.7	6.5	3.3	4.0	2.7
13.0	2.3	16.0	2.7	7.0	3.1	4.5	3.0
14.0	2.3	17.0	2.3	7.5	2.9	5.0	3.2
14.5	2.1	18.0	3.0	8.0	2.5	5.5	3.2
		19.0	-3.0	8.5	2.0	6.0	3.2
				9.0	-1.3	6.5	3.4

Продолжение таблицы 6

τ	M_e	τ	M_e	τ	M_e	τ	M_e
Метеор № 49 (продолжение)	Метеор № 51 (продолжение)	Метеор № 55	Метеор № 58 (продолжение)	Метеор № 53	Метеор № 56	Метеор № 59	Метеор № 54
7.0	-3.5	0.0	-3.0	0.0	-2.1	0.0	-2.1
7.5	3.7	+0.5	3.2	0.0	2.1	+0.5	2.1
8.0	3.6	1.0	3.0	1.0	2.3	1.0	2.3
8.5	3.7	1.5	3.3	1.5	2.8	1.5	2.8
9.0	3.9	2.0	3.6	2.0	4.5	2.0	4.5
9.5	4.1	2.5	3.5	2.5	4.5	2.5	4.5
10.0	4.2	3.0	3.5	3.0	4.1	3.0	4.2
10.5	3.8	3.5	3.5	3.5	4.1	3.5	4.1
11.0	3.2	4.0	3.5	4.0	4.3	4.0	4.3
11.5	2.7	4.5	3.6	4.5	4.4	4.5	4.4
12.0	2.0	5.0	3.8	5.0	4.5	5.0	4.5
12.5	1.5	5.0	3.8	5.5	4.4	5.5	4.4
13.0	-1.1	5.0	3.8	6.0	3.7	6.0	3.7
Метеор № 50	Метеор № 51	Метеор № 57	Метеор № 60*	Метеор № 54	Метеор № 57	Метеор № 60*	Метеор № 54
2.0	-4.1	0.0	-2.2	1.5	-3.3	0.0	-2.2
2.5	4.1	+0.5	2.2	2.0	4.0	+0.5	2.2
3.0	4.1	1.0	2.2	2.5	4.4	1.0	2.2
3.5	4.1	1.5	2.2	3.0	4.4	1.5	2.2
4.0	4.3	2.0	2.2	3.5	4.5	2.0	2.2
4.5	4.5	2.5	2.2	4.0	4.6	2.5	2.2
5.0	4.7	3.0	2.2	4.5	4.6	3.0	2.2
5.5	4.8	3.5	2.2	4.5	4.6	3.5	2.2
6.0	4.8	4.0	2.2	4.6	4.6	4.0	2.2
6.5	4.9	4.5	2.2	4.6	4.6	4.5	2.2
7.0	5.0	5.0	2.2	4.6	4.6	5.0	2.2
7.5	5.1	5.5	2.2	4.6	4.6	5.5	2.2
8.0	5.3	6.0	2.2	4.6	4.6	6.0	2.2
8.5	5.2	6.5	2.2	4.6	4.6	6.5	2.2
9.0	5.0	7.0	2.2	4.6	4.6	7.0	2.2
9.5	5.0	7.5	2.2	4.6	4.6	7.5	2.2
10.0	5.1	8.0	2.2	4.6	4.6	8.0	2.2
10.5	-5.6	8.0	2.2	4.6	4.6	8.0	2.2
11.0	всп.	8.0	2.2	4.6	4.6	8.0	2.2
Метеор № 51	Метеор № 51	Метеор № 58	Метеор № 61	Метеор № 51	Метеор № 51	Метеор № 58	Метеор № 61
-1.0	-2.3	+1.0	4.5	3.5	4.5	0.0	-2.2
0.0	2.5	2.0	4.5	4.0	4.6	+0.5	2.2
+0.5	2.7	3.0	4.4	4.5	4.6	1.0	2.2
1.0	2.8	4.0	4.4	4.5	4.6	1.5	2.2
1.5	2.9	5.0	4.4	4.5	4.6	2.0	2.5
2.0	3.0	6.0	4.4	4.5	4.6	2.5	2.8
2.5	3.0	7.0	4.2	4.5	4.6	3.0	2.9
3.0	3.1	8.0	4.1	4.5	4.6	3.5	3.2
3.5	3.2	8.5	4.1	4.5	4.6	4.0	3.3
4.0	3.4	9.0	4.2	4.5	4.6	4.5	3.3
4.5	3.7	9.5	4.4	4.5	4.6	5.0	2.9
5.0	4.1	10.0	5.3	4.5	4.6	5.5	-2.2
5.5	4.5	10.5	6.5	4.5	4.6	6.0	2.9
6.0	4.7	11.0	5.0	4.5	4.6	6.5	2.9
6.5	4.7	11.5	5.0	4.5	4.6	7.0	2.9
7.0	4.7	12.0	5.2	4.5	4.6	7.5	2.9
7.5	4.7	12.5	-3.3	4.5	4.6	8.0	2.9

Продолжение таблицы 6*

τ	M_e	τ	M_e	τ	M_e	τ	M_e
Метеор № 61 (продолжение)	Метеор № 63 (продолжение)	Метеор № 66	Метеор № 70*	Метеор № 62	Метеор № 64	Метеор № 67	Метеор № 71
2.0	-3.5	-1.0	-0.6	0.0	-2.5	0.0	-2.4
2.5	3.7	0.0	1.2	+0.5	3.5	+0.5	2.7
3.0	3.9	+0.5	1.7	1.0	3.7	1.0	3.0
3.5	4.0	1.0	2.0	1.5	3.9	+0.5	3.2
4.0	4.2	1.5	2.1	2.0	4.0	1.0	3.4
4.5	4.2	2.0	2.2	2.5	4.2	1.5	3.4
5.0	4.0	2.5	2.3	3.0	4.2	2.0	3.4
5.5	3.6	3.0	2.5	3.5	4.2	2.5	3.4
6.0	-1.6	3.5	2.5	4.0	4.2	3.0	3.4
Метеор № 62	Метеор № 63	4.0	2.6	4.5	4.2	3.5	3.5
0.0	-2.5	4.5	2.6	5.0	4.2	4.0	3.6
+0.5	3.5	5.0	2.6	5.5	4.2	4.5	3.8
1.0	3.7	5.5	2.8	6.0	4.2	5.0	3.8
1.5	3.9	6.0	3.0	6.5	4.2	5.5	3.6
2.0	4.0	6.5	2.8	7.0	4.2	6.0	3.5
2.5	4.2	7.0	2.4	7.5	4.2	6.5	3.5
3.0	4.2	7.5	-1.8	8.0	4.2	7.0	3.3
3.5	4.3	Метеор № 67	Метеор № 71	8.5	4.3	0.0	-2.4
4.0	4.5	0.0	-0.7	9.0	4.3	+0.5	2.7
4.5	4.6	+0.5	0.9	9.5	4.3	1.0	3.0
5.0	4.6	1.0	1.1	10.0	4.3	1.5	3.2
5.5	4.6	1.5	1.3	10.5	4.3	2.0	3.4
6.0	4.7	2.0	1.5	11.0	4.3	2.5	3.4
6.5	4.9	2.5	1.6	11.5	4.3	3.0	3.4
7.0	5.1	3.0	1.3	12.0	4.3	3.5	3.5
7.5	5.2	3.5	1.0	12.5	4.3	4.0	3.6
8.0	5.4	4.0	0.7	13.0	4.3	4.5	3.8
8.5	5.5	4.5	0.0	9.5	4.2	5.0	3.8
9.0	5.5	5.0	-1.5	10.0	4.2	5.5	3.6
9.5	5.5	5.5	1.5	10.5	4.2	6.0	3.5
10.0	5.9	6.0	1.2	11.0	4.2	6.5	3.5
10.5	5.6	6.5	0.9	11.5	4.2	7.0	3.3
11.0	5.5	7.0	0.9	12.0	4.2	7.5	3.5
11.5	5.2	7.5	1.5	12.5	4.2	8.0	3.7
12.0	5.5	8.0	1.8	13.0	4.2	8.5	3.9
12.5	5.5	8.5	2.0	Метеор № 68*	Метеор № 65	9.0	4.1
13.0	7.2	9.0	1.2	0.0	-1.7	9.5	4.2
13.5	8.0	9.5	0.8	+0.5	1.7	10.0	4.2
Метеор № 63	Метеор № 65	10.0	0.8	1.0	1.7	10.5	4.1
0.0	-1.7	10.5	0.8	1.5	1.8	11.0	4.1
+0.5	3.3	11.0	0.7	2.0	1.8	11.5	4.2
1.0	3.5	11.5	0.0	2.5	1.8	12.0	4.2
1.5	3.6	12.0	0.0	3.0	1.8	12.5	4.1
2.0	3.7	12.5	0.0	3.5	1.8	13.0	-4.0
2.5	3.7	13.0	-2.3	4.0	1.9	Метеор № 69	Метеор № 72
3.0	3.7	Метеор № 69	Метеор № 72	4.5	2.0	0.0	-4.8
3.5	3.8	0.0	-2.3	5.0	2.0	+0.5	4.7
4.0	3.8	+0.5	2.7	5.5	2.1	1.0	4.5
4.5	3.7	1.0	3.0	6.0	2.0	1.5	4.1
5.0	3.6	1.5	3.3	6.5	1.9	2.0	-3.9
5.5	3.4	2.0	3.0	7.0	-1.7		
6.0	3.3	2.5	3.6				

τ	M_e	τ	M_e	τ	M_e	τ	M_e
Метеор № 96	m	Метеор № 97	m	Метеор № 98	m	Метеор № 99	m
-2	-2.3	(продолжение)		1	-0.7	Метеор № 97	m
1	2.4			2	1.5	-3.0	-1.3
0	2.6			3	1.8	2.0	1.5
+1	2.7			4	1.8	3.0	2.0
2	2.6			5	1.9	2.0	1.5
3	2.6			6	1.9	4.0	1.8
4	2.5			7	1.8	4.5	1.8
5	2.8			8	1.7	5.0	-1.9
Метеор № 90	m			9	1.8		
6	2.7			10	1.6		
7	2.5			11	1.5		
8	2.6			12	2.0		
9	2.8			13	2.0		
Метеор № 96	m			14	2.6		
10	2.7			15	2.6		
11	2.5			16	2.7		
12	2.6			17	2.8		
13	2.6			18	2.9		
14	2.6			19	3.0		
15	2.7			20	3.0		
16	2.6			21	3.0		
17	2.7			22	3.1		
18	2.8			23	3.1		
19	2.8			24	3.1		
20	2.8			25	3.1		
21	2.8			26	3.1		
22	2.8			27	3.1		
23	2.8			28	3.1		
24	2.8			29	3.1		
Метеор № 97	m			30	2.9		
1	2.0			31	2.8		
2	1.5			32	2.8		
3	3.0			33	2.8		
4	3.5			34	2.8		
5	4.5			35	2.8		
6	5.0			36	2.8		
7	5.0			37	2.8		
8	5.0			38	2.8		
9	5.0			39	2.7		
10	5.0			40	2.7		
11	5.0			41	2.7		
12	5.0			42	2.6		
13	5.0			43	2.5		

τ	M_e	τ	M_e	τ	M_e	τ	M_e
Метеор № 74	m	Метеор № 81	m	Метеор № 83	m	Метеор № 85	m
-1.0	-3.1	(продолжение)		28	-4.0	0.0	-1.8
0.0	3.1			29	-1.8	+0.5	1.8
+0.5	3.0			30	1.9	1.0	1.8
1.0	3.0			31	1.9	1.5	2.1
1.5	3.0			32	1.9	2.0	2.0
2.0	3.0			33	1.9	2.5	1.9
2.5	3.0			34	1.9	3.0	-1.6
3.0	3.1			35	1.6		
3.5	3.1			Метеор № 86	m		
4.0	3.1			0	-2.5		
4.5	3.2			1	0		
5.0	3.4			2	2.5		
5.5	3.7			3	2.5		
6.0	3.9			4	2.5		
6.5	3.5			5	2.5		
7.0	3.2			6	2.5		
7.5	3.0			7	2.6		
8.0	-2.9			8	2.6		
Метеор № 76*	m	Метеор № 82	m	9	2.7		
2.5	-2.3			10	2.7		
3.0	2.3			11	2.7		
3.5	2.3			12	2.8		
4.0	2.3			13	2.8		
4.5	-2.3			14	2.9		
Метеор № 77	m			15	3.0		
-1.0	-1.3			16	3.0		
0.0	1.4			17	3.0		
+0.5	1.6			18	3.0		
1.0	1.7			19	3.1		
1.5	1.9			20	3.2		
2.0	2.0			21	3.2		
2.5	1.7			22	3.2		
3.0	-1.2			23	3.2		
Метеор № 79	m	Метеор № 83	m	24	3.2		
0.0	-1.0			25	3.2		
1.0	1.0			26	3.1		
2.0	1.0			27	3.1		
3.0	-1.1			28	3.1		
Метеор № 81	m			29	3.1		
1.0	-3.6			30	2.9		
1.5	3.5			31	2.8		
2.0	3.5			32	2.8		
2.5	3.6			33	2.8		
3.0	3.8			34	2.8		
3.5	3.9			35	2.8		
4.0	4.0						
4.5	4.0						

Продолжение таблицы 6

τ	M_e	τ	M_e	τ	M_e	τ	M_e
Метеор № 102 (продолжение)	m	Метеор № 104 (продолжение)	m	Метеор № 105 (продолжение)	m	Метеор № 106 (продолжение)	m
8.0	-3.7	5.0	-3.5	3.5	-1.3	21	-1.4
8.5	3.5	5.5	5.0	4.0	-1.3	22	1.1
9.0	2.4	6.0	5.1			23	-0.2
9.5	-1.6	7.0	5.2	Метеор № 106		Метеор № 73	
		7.5	6.3			m	
Метеор № 103		8.0	6.9	3	-1.1	0.0	-3.4
m		8.5	6.2	4	1.2	+0.5	3.4
+0.5	-2.5	9.0	7.0	5	1.3	1.0	3.5
1.0	2.6	9.5	7.1	6	1.3	1.5	3.5
1.5	2.7	10.0	7.3	7	1.3	2.0	3.6
2.0	2.9	11.5	7.0	8	1.3	2.5	3.7
2.5	3.0	12.0	-2.8	9	1.3	3.0	3.8
3.0	3.0			10	1.4	3.5	3.9
3.5	3.0	Метеор № 105		11	1.5	4.0	3.8
4.0	2.9	m		12	1.5	4.5	3.8
4.5	2.7	0.0	-0.6	13	1.6	5.0	3.9
5.0	2.5	+0.5	1.0	14	1.6	5.5	4.0
5.5	-2.1	1.0	1.4	15	1.7	6.0	4.0
Метеор № 104		1.5	1.5	16	1.7	6.5	3.9
m		2.0	1.5	17	1.7	7.0	3.8
4.0	-2.3	2.5	1.5	18	1.7	7.5	3.7
4.5	3.0	3.0	1.4	19	1.7	8.0	3.7
				20	1.6	8.5	-3.7

Имеются некоторые различия в положении максимума блеска метеоров, принадлежащих разным потокам. Невспыхивающие Персеиды дают в среднем $r=0.71$, Геминиды $r=0.58$. Между этими метеорами можно заметить и другие отличия, которые удобно проиллюстрировать следующей таблицей:

Таблица 7

Поток	M_{\max}	A	r	t
Персеиды (невспых.)	m -3.6	m 0.8	0.71	7.3
Геминиды	m -3.1	m 1.4	0.58	12.9

t измерено в долях оборота обтюлятора. A — амплитуда изменения блеска. К сожалению, мы располагаем данными только о 7 Геминидах и 18 невспыхивающих Персеидах, так что трудно говорить о реальности средних величин, помещенных в таблице 7. Тем не менее, некоторые из них косвенным образом подтверждаются наличием отмечавшихся в свое время зависимостей между t и скоростью v , между M и v и др. [5].

Некоторые из указанных связей можно проследить и по нашему материалу. Так, имеется слабая корреляция между геоцентрической скоростью v и максимальной яркостью метеора. Это видно из таблицы 8, где n означает число метеоров, по которому подсчитаны средние значения v и M_{\max} (звездные величины в максимуме блеска).

Таблица 8

v	M_{\max}	n
23 км/сек	m -2.2	18
38	2.9	15
57	3.8	20
65	-3.6	26

Продолжительность свечения t отчетливо связана со скоростью, что подтверждает таблица 9.

Таблица 9

v км/сек	t	n
20	25.8	10
28	14.3	10
37	14.0	10
50	8.6	9
59	8.8	14
62	7.8	11
67	7.4	15

Однако нам не удалось обнаружить никакой зависимости между r и v (за исключением разницы между r для Персеид и Геминид) и между M и r , которые были найдены по визуальным наблюдениям метеоров [5]. Для Персеид, по-видимому, имеет место корреляция между t и M_{\max} .

Таблица 10

M_{\max}	t	n
m -1.8	4.9	6
-3.3	7.7	6
-4.5	9.6	6

12 из 83 фотометрированных нами метеоров дают вспышки. Среди них аномальная кривая блеска у метеора № 39, где усиление блеска произошло почти на середине пути и блеск оставался постоянным вплоть до исчезновения метеора. В остальных случаях вспышки происходили в конце пути. У всех

метеоров, кроме № 23, этому предшествовало ослабление блеска, так что до вспышки наблюдался еще один максимум. В таблице II сопоставлены характеристики обычных и вспыхивающих метеоров.

Таблица II

	t	M_{\max}	$M_{\text{всп.}}$	A	$A_{\text{всп.}}$	p	$p_{\text{всп.}}$
Обычные	12.1	-3.3	m	1.1	m	0.67	
Вспыхив.	13.5	-4.7	-6.2	1.1	3.1	0.47	0.87

Данные таблицы II свидетельствуют о том, что вспыхивают относительно более продолжительные и яркие метеоры. Бросается в глаза тот факт, что первый максимум яркости вспыхивающих метеоров наступает значительно раньше, чем максимум яркости обычных метеоров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Visual Magnitudes of Bright Stars reduced to the Harvard Photovisual System, Harvard Observatory Mimeograms, Series III, № 2, 1938.
2. Сытинская Н. Н., Астроном. журн. 12, 174, 1935.
3. Иванков В. И., Бюлл. САО, № 15, 14, 1956.
4. Иванков В. И., Бюлл. САО, № 21, 3, 1957.
5. Астапович И. С., Метеорные явления в атмосфере Земли, М., 1958, стр. 280—294.

Н. С. КОМАРОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА МЕТЕОРА 12 АВГУСТА 1958 ГОДА

1. Введение

Спектр метеора был получен 12 августа 1958 года на метеорном спектральном патруле Одесской астрономической обсерватории. Метеорный патруль снабжен 4-мя камерами F-24 со светосилой 1:4.5 и с полем зрения в 60°. Фокусное расстояние каждой камеры 5 дюймов. На камеры поставлены призмы с преломляющими углами в 17°.

Спектр содержит 16 линий, причем первыми появляются самые интенсивные линии K и H Ca II. Немного позже с красной стороны спектра появляется полоса слившихся линий.

Данный метеор имеет базисные снимки, по которым были определены радиант и скорость. Радиант имеет координаты:

$$t = -03^{\text{h}} 40^{\text{m}} 59,2^{\text{s}}$$

$$\delta = +58^{\circ} 31' 14,5''$$

Средняя скорость метеора составляет 60 км в секунду.

2. Отождествление метеорного спектра

При отождествлении линий метеорного спектра применялся следующий упрощенный способ построения дисперсионной кривой непосредственно по исследуемой спектрограмме. Результаты измерений метеорной спектрограммы наносятся на миллиметровую бумагу в произвольном масштабе по оси Y и через эти точки проводятся линии, параллельные оси X. По оси X наносятся длины волн наиболее часто встречающихся линий метеорных спектров и через эти точки также проводятся линии, параллельные оси Y. Затем из всех точек пересечения выбираются такие, которые лежат на плавной кривой. Эту плавную кривую можно в первом приближении принять за дисперсионную и по ней определить длины волн всех остальных линий.

На этой кривой были выбраны три точки (рис. 1)

$$\begin{aligned} n_1 &= 0.346 & n_2 &= 0.000 & n_3 &= -0.454 \\ \lambda_1 &= 3934 \text{ \AA} & \lambda_2 &= 4481 \text{ \AA} & \lambda_3 &= 5890 \text{ \AA} \end{aligned}$$

и вычислены постоянные известной формулы Гартмана:

$$\lambda_0 = \frac{\frac{n_1}{n_2}(\lambda_2 - \lambda_0)\lambda_1 - (\lambda_2 - \lambda_1)\lambda_3}{\frac{n_1}{n_2}(\lambda_2 - \lambda_3) - (\lambda_2 - \lambda_1)}$$

$$n_0 = \frac{-n_1}{\frac{\lambda_2 - \lambda_0}{\lambda_1 - \lambda_0} - 1} = \frac{-n_2}{\frac{\lambda_2 - \lambda_0}{\lambda_3 - \lambda_0} - 1}$$

$$c = (\lambda_1 - \lambda_0)(n_0 - n_1) = (\lambda_2 - \lambda_0)n_0 = (\lambda_3 - \lambda_0)(n_0 - n_3)$$

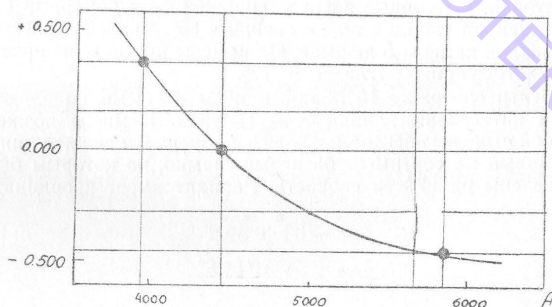


Рис. 1.

В результате получено:

$$\lambda_0 = 1903, \quad n_0 = -1.285, \quad c = -3313,$$

что позволило определить длины волн всех остальных линий метеорного спектра.

Введение такой методики связано с отсутствием на спектрах нуля-пункта. Этот метод эффективен при малой дисперсии. Задача намного облегчается, если удается найти какую-нибудь характерную линию. Далее, как показала практика, для выбора часто встречающихся линий полезно учитывать «фамильное» сходство метеорных спектров одного потока [1].

Результаты определения длин волн и отождествления линий метеорного спектра приведены в таблице 1.

3. Фотометрирование метеорного спектра

Трудность данной части работы состояла в том, что проявленная пленка, на которой имелся спектр метеора, не была протандартизирована и прокальбрована. К счастью, поблизости от спектра метеора находился спектр звезды α Лиры класса A0 удовлетворительного качества, который позволил получить некоторые качественные данные о метеоре.

Прежде всего были получены регистрограммы спектра метеора в четырех положениях и спектра α Лиры на саморегистрирующем микрофотометре МФ-4. Запись производилась параллельно направлению дисперсии при 21-кратном увеличении и масштабе 25:1.

Цвет метеора определялся по отношению к звезде α Лиры. С этой целью находились эффективные длины волн λ_e^* и λ_e^n . λ_e^* находилось из распределения энергии для средней звезды класса A0[2]. В результате обычных вычислений для α Лиры в фотографической области получена эффективная длина волны $\lambda_e^* = 3926 \text{ \AA}$. По регистрограмме мы можем определить некоторые λ^* и λ^n , которые будут характеризовать цвет звезды и метеора в совокупности с фактором чувствительности цветовой системы от длины волны (атмосферы, призмы, объектива и пленки). Считая, что чувствительность цветовой системы не зависит от снимаемого объекта, а также то, что почернения соответствуют нормальному участку характеристической кривой, можно записать очевидное равенство:

$$\lambda_e^* - \lambda^* = \lambda_e^n - \lambda^n.$$

Откуда находим:

$$\lambda_e^n = \lambda_e^* - \lambda^* + \lambda^n.$$

В результате вычислений получено:

1. Из регистрограммы α Лиры $\lambda^* = 4264 \text{ \AA}$.

2. Из регистрограммы метеора после II вспышки $\lambda_1^n = 4086 \text{ \AA}$.

3. Из регистрограммы II метеорной вспышки $\lambda_2^n = 4119 \text{ \AA}$.

4. Из регистрограммы метеора до II вспышки $\lambda_3^n = 4513 \text{ \AA}$.

5. Из регистрограммы I метеорной вспышки $\lambda_4^n = 4346 \text{ \AA}$.

Учтя, что эффективная длина волны α Лиры $\lambda_e^* = 3926 \text{ \AA}$, получаем соответственно эффективные длины волн излучения метеора в четырех положениях:

$$\lambda_{e_1}^n = 3748 \text{ \AA}, \quad \lambda_{e_2}^n = 3781 \text{ \AA}, \quad \lambda_{e_3}^n = 4175 \text{ \AA}, \quad \lambda_{e_4}^n = 4008 \text{ \AA}.$$

Итак, легко видеть, что во время полета метеора эффективная длина волны излучения сдвигается в фиолетовую

вую сторону, причем цвет метеора соответствует цвету быстрых метеоров [3].

Для определения относительных интенсивностей линий метеорного спектра необходимо найти спектральную чувствительность системы. С этой целью были вычислены отношения J_λ/D_λ в зависимости от λ , где J_λ — распределение энергии в спектре α Леры, а D_λ — соответствующие почернения. Принятая интенсивность линии K ионизированного кальция во 2 вспышке за единицу, можно для прямолинейного участка характеристической кривой определить относительные интенсивности других линий. Таким образом, были найдены относительные интенсивности линий K и H Ca II, Na I, Mg II, Mg I, Fe (3850 Å) и относительная интенсивность трех плохо разделимых линий Fe I + Si II + H (среднее λ 6437 Å) в различных участках пути метеора. Интенсивности линий Mg II и Mg I несколько завышены, так как почернения, соответствующие им, находятся в области недодержек.

Соответствующие результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

№	λ , Å	Элемент	Табл. λ , Å	Табличная интенсивность дуга	Потенц. возб. eV	Определенная интенсивность				
						I	II	III	IV	
1	3847	Fe I	3850	7	4	4.23	0.312	0.848	0.207	0.418
2	3895	Fe I	3896	5	3	3.29	—	—	—	—
3	3934	K Ca II	3934	10 R	10	3.15	.622	1.000	.441	.876
4	3970	H Ca II	3969	10 R	10	3.12	.421	0.788	.293	.627
5	4070	Fe I	4072	7	8	4.65	—	—	—	—
6	4122	Fe I	4122	4	1	5.83	—	—	—	—
7	4196	Fe I	4198	6	3	5.35	—	—	—	—
8	4344	Fe I	4344	2	—	?	—	—	—	—
9	4453	Mn, Ti	4453	7	3	5.72	—	—	—	—
10	4481	Mg II	4481	10d	6	11.63	.049	.277	.058	.117
11	5172	Mg I	5173	10R	10	5.11	.020	.105	.042	.041
12	5890	Na I	5890	10R	10	2.11	.032	.075	.049	.067
13	6118	Ca I	6122	8R	8	3.91	—	—	—	—
14	6251	Fe I	6252	4	2	4.39	—	—	—	—
15	6356	Si II	6359	—	—	10.67	0.045	0.099	0.041	0.086
16	6561	H	6563	—	—	12.09	—	—	—	—

Второй столбец содержит измеренные длины волн; третий столбец — атом или ион; четвертый столбец — лабораторные длины волн; пятый столбец — интенсивности линий (дуга, искра); шестой столбец — потенциалы возбуждения; седьмой, восьмой, девятый, десятый столбцы — измеренные относительные интенсивности в разных положениях метеорного спектра (I — после 2-й вспышки, II — 3-я вспышка, III — до 2-й вспышки, IV — 1-я вспышка).

Из таблицы видно, что интенсивность линий метеорного спектра K Ca II, Fe I, Fe I + Si II + H увеличивается во время вспышек (рис. 2), причем в коротковолновой области в большей степени, чем в длинноволновой; другими словами, во время вспышек метеор голубеет (рис. 3).

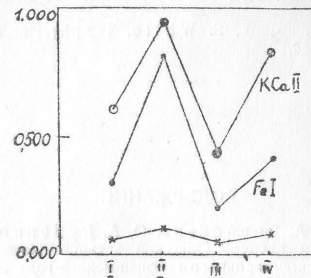


Рис. 2.

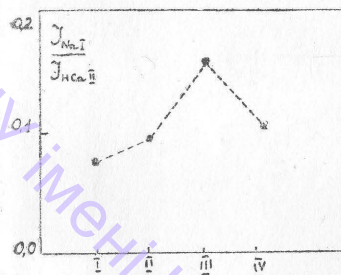


Рис. 3.

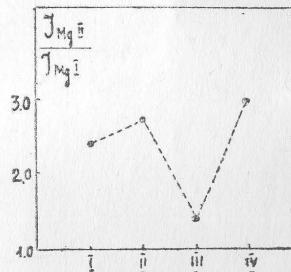


Рис. 4.

Если бы явление свечения метеора происходило в условиях термодинамического равновесия, то описанное поведение линий свидетельствовало бы о повышении эффективной температуры во время вспышек [4].

В заключение были вычислены отношения интенсивностей линий ионизированного и нейтрального магния. Из рис. 4 видно, что, по-видимому, степень ионизации увеличивается во время вспышек. Можно отметить, что отсутствие резонансной линии Ca I (λ 4227 Å) при значительной интенсивности Ca II говорит о том, что весь кальций практически ионизован во время полета метеора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астапович И. С., Метеорные явления в атмосфере Земли, Москва, 1958.
2. Landolt-Börnstein, Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, 1954.
3. Jасchia L. G., On the "Color Index" of Meteors, AJ, 62, 10, 360—362, 1957.
4. R. N. Thomas, W. S. White, The physical Theory of Meteors Ap. J., 118, № 3, 1953.

СОДЕРЖАНИЕ

- Е. Н. Крамер, В. А. Воробьева, О. А. Руденко, Опыт работы на метеорном патруле Одесской астрономической обсерватории во время Международного геофизического года 5
- Р. Б. Теплицкая, Н. Н. Израецкая, Фотометрия метеоров (Эффективные звездные величины 83 метеоров) 65
- Н. С. Комаров, Исследование спектра метеора 12 августа 1958 года 83

Редактор *Е. М. Миронец*

Техредактор *Е. И. Мавергоз*

Корректор *Л. К. Дехтяр*

БФ 29504.

Подписано к печати 2-X-1963 г.

Формат бумаги 60×92¹/₁₆. Печ. л. 5,5. Учетно-издат. листов 5,5.
Зак. 1329. Тираж 700. Цена 40 коп.

Типография Одесского госуниверситета им. И. И. Мечникова, Щепкина, 12.