АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ВСЕСОЮЗНОЕ АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

И. Т. ЗОТКИН.

НАБЛЮДЕНИЯ МЕТЕОРОВ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА
1972

УДК 523. 531

Наблюдения метеоров. Зоткин И. Т. М. Изд-во «Наука», 1972, стр. 1—53.

Брошюра адресована, в основном, любителям астрономии. Она содержит рекомендации для наблюдателей-непрофессионалов. В ней описаны различные доступные для неспециализированных обсерваторий методы исследований метеоров: нахождение радиантов путем нанесения на карту, определение численности потоков путем счета метеоров, фотографирование, телескопические наблюдения, способы сбора сведений о болидах, регистрации дрейфа следов. Указываются некоторые приемы обработки наблюдательного материала.

Книга будет полезна народным обсерваториям, астрономическим кружкам, научным обществам, работникам планетариев, ведущим практические наблюдения.

Таблиц 6, иллюстраций 18, библ. 26 назв.

Ответственный редактор
член-корреспондент АН СССР
В.В. ФЕДЫНСКИЙ

2-6-4
455-72

§1. ОРГАНИЗАЦИЯ НАБЛЮДЕНИЙ МЕТЕОРОВ

Метеорные явления вызываются вторжением в атмосферу Земли с космической скоростью (11—72 *км/сек*) метеорных тел. Обычные метеоры 1—5 звездной величины порождаются телами с массой от 1 до 0,01 *г*. При полете тела через атмосферу происходит его бомбардировка молекулами и атомами воздуха, дробление, потеря массы (абляция) вплоть до полного испарения, возникает свечение и ионизация воздуха вдоль траектории, а в конце полета и значительное уменьшение скорости [1]. Метеорные явления происходят в основном на высоте 70—100 *км*.

Остатки крупных метеорных тел достигают поверхности Земли в виде метеоритов. Очень крупные метеориты с массой в тысячи тонн сохраняют свою космическую скорость до земли, при ударе взрываются и образуют метеоритные кратеры.

В межпланетном пространстве движется огромное количество метеорных частиц. Некоторые из них движутся в одиночку, другие объединяются в потоки. Происхождение, размеры и физические свойства метеорных тел весьма многообразны. Источником метеорных тел могут быть и малые планеты, и кометы, и продукты выбросов со спутников. Особый класс представляют собой метеоры, образуемые искусственными объектами, запущенными в космос.

Ежесуточно в атмосферу Земли влетает огромное количество метеорных тел. Относительно их общей массы, которая доходит до тысяч тонн, имеются различные оценки. Поэтому метеорная материя играет немалую роль в жизни нашей планеты. Метеорная бомбардировка существенно влияет на ионизацию верхней атмосферы. Поступающая из космоса пыль заметно действует на различные метеорологические процессы, а метеоритные кратеры, как это недавно выяснилось, сыграли заметную роль в формировании поверхности Земли.

Изучение метеорной материи, ее плотности, распределения и движения интересно не только для геофизики, но и для астрономии [2]. Ряд проблем космогонии, т. е. происхождения и развития планетной системы и Земли, связан с метеорами. Велико значение

[1] В этом разделе автором использованы рекомендации В. В. Мартыненко.

метеорной астрономии в астронавтике, так как встреча с метеорными телами представляет собой один из серьезных факторов при межпланетных перелетах.

Специфично для метеорной астрономии то, что она соприкасается с кратковременными и внезапными явлениями. Метеорные тела наблюдаются только в момент прекращения своего существования в течение десятых долей секунды на коротком участке орбиты. Долгое время глаз наблюдателя был единственным прибором, способным регистрировать метеоры. В настоящее время для наблюдений метеоров широко применяется фотографирование, радиолокация, фотоэлектрическая регистрация, инфразвуковые методы. Непосредственные удары метеорных частиц обнаруживаются с помощью различных датчиков на искусственных спутниках и космических станциях [3,26].

Сложные инструментальные методы исследований тем не менее не вытеснили визуальные и иные простые доступные любителям методы наблюдений. Успешный опыт многих отделений ВАГО показывает, что можно получить высокоценные научные материалы, используя самые скромные средства. Однако это возможно лишь при четкой и продуманной организации работы.

Наблюдатель должен ясно представлять себе **цель** данного вида наблюдений. Например, нанесение на карту делается для определения радиантов, счет — для определения численности метеоров, фотографирование — для нахождения точных радиантов, высот и скоростей. Планируя наблюдения, надо четко сформулировать задачу. Нельзя наблюдать метеоры «вообще», если наблюдатель хочет, чтобы его работа принесла пользу науке.

Ценность и возможности наблюдений возрастают, когда наблюдения ведутся **коллективно**. Многие виды наблюдений вообще нельзя вести в одиночку (базисное фотографирование, многократный счет и т. п.). Коллектив наблюдателей может обеспечить длинные **ряды** однородных наблюдений, что увеличивает ценность исследования. Группа наблюдателей может гораздо успешнее оборудовать наблюдательную станцию, чем любитель-одиночка [4].

Большое влияние на качество наблюдений оказывает оборудование наблюдательного пункта. Проведение систематической работы, особенно в зимний период, требует организации постоянной метеорной станции (рис. 1). Метеорная **станция** должна находиться вдали от источников сильного света, лучше всего за городом. В пределах и вблизи больших городов метеоры наблюдать нельзя.

Организуются основной пункт и один или два корреспондирующих на расстоянии 20—25 *км* друг от друга. На основном пункте устанавливаются рамки для счета метеоров, штативы с инструментами, размещаются топчаны, маты, спальные мешки для наблюдателей. Тут же устанавливается бинокуляр для наблюдений дрейфа следов, которым следует воспользоваться немедленно после пролета яркого метеора. На наблюдательном пункте надо иметь приемник для проверки часов по радиосигналам. Вблизи наблюдательной

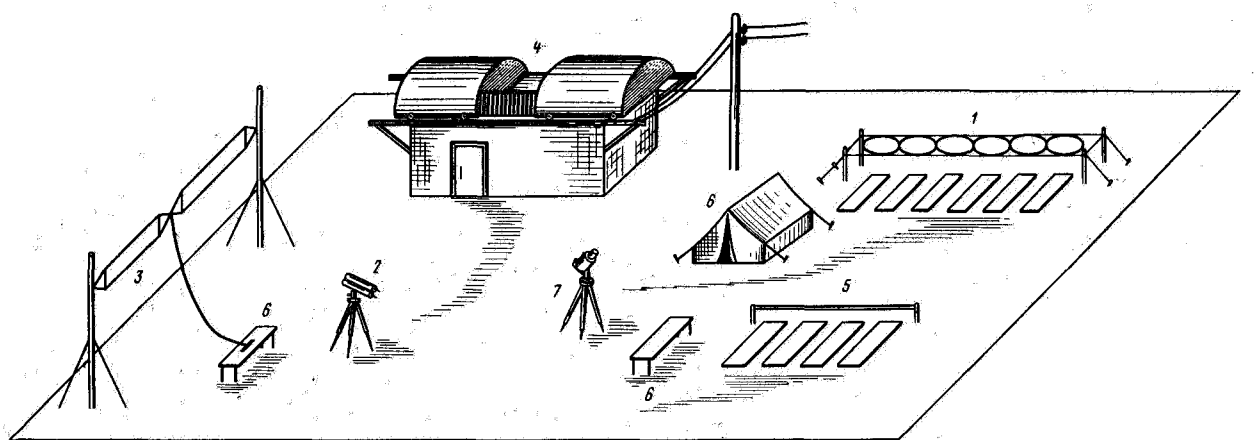

Рис. 1. Примерный вид метеорной станции

1 — рамки; *2* — бинокуляр; *3* — антенна радиоприемника; *4* — павильон с патрулем; *5* — топчаны для наблюдателей телеметеоров; *6* — место секретаря; *7* — фотокамера для следов

площадки должно быть теплое помещение, где наблюдатели отдыхают после работы и обогреваются. Постройка и обслуживание подобной станции по силам только большой группе астрономов-любителей. На первых порах можно ограничиться частью оборудования, чтобы впоследствии его пополнять.

Выбор **периода** наблюдений зависит от задач наблюдений. Изучение метеорной активности проводят круглый год, так как наиболее интересными являются ее годичные вариации. Радианты определяются в период действия данного потока. Периоды наблюдений метеоров тесно связаны с фазами Луны. Практически метеоры можно наблюдать в течение 15—20 безлунных ночей в месяц. Некоторые наблюдения, например, нанесение на карту, возможны и при Луне. Летом в северных широтах метеоры плохо видны из-за белых ночей.

Начинать наблюдения следует с интенсивных, хорошо изученных потоков, а затем переходить к непрерывным наблюдениям и наблюдениям неисследованных потоков.

Для **однородности** наблюдательного материала надо стараться выдерживать постоянное время, например с 22 до 2 часов. Тогда получатся сравнимые результаты для всего периода. Значительный интерес представляет изучение суточной вариации численности и направлений, поэтому наблюдения по возможности производят симметрично местной полуночи. Иногда время наблюдений диктуется определенным положением радианта или апекса.

Перед наблюдениями должна быть составлена, обсуждена и опробирована детальная **программа** проведения работы. В ней подробно рассматривают цель, методику, календарный план, материальное обеспечение, расписание дежурств и пр. [4]. Особо четко должны продумываться программы наблюдений ожидающихся интенсивных метеорных дождей. Большая интенсивность потока, доходящая до тысяч метеоров в час, требует специальных методов регистраций, записей, особых приспособлений к аппаратуре и др.

Важнейший элемент любых астрономических наблюдений — четкая **запись** результатов. Различные наблюдения требуют разных форм записи (см. ниже), но есть общие нормы, применимые ко всяким наблюдениям.

Запись ведется простым карандашом, так как чернила и химический карандаш от сырости расплываются. На всякий случай при себе надо иметь несколько карандашей. На следующее же утро рабочие записи переписываются чернилами в журнал или на чистые бланки. При этом надо делать записи настолько ясно, чтобы их без труда мог понять другой наблюдатель, не знакомый с данными наблюдениями.

Освещение оборудуется с таким расчетом, чтобы оно не ослепляло глаза при работе. Во всех возможных случаях при ночных наблюдениях надо избегать освещения совсем.

Перед записью результатов наблюдений всегда сначала указывают следующие **общие данные**:

а) дата (год, месяц, число), учитывая, что ночные наблюдения охватывают обычно конец одних и начало других суток;

б) поправка часов; время (мировое, московское и т. п.);

в) место наблюдений, название географического пункта;

г) фамилии и инициалы наблюдателей (разборчиво);

д) какие наблюдения проводятся, задача, цель;

е) характеристика применяемых инструментов (поле зрения, увеличение и т. д.).

После того, как эти сведения указаны, можно переходить к записи результатов наблюдений.

Полная **обработка** наблюдений требует, как правило, серьезного знания математики, физики, астрономии. Кроме того, многие виды обработки требуют применения измерительных приборов, счетных машин, атласов и справочников. Поэтому не всегда любитель может провести обработку полностью сам.

Однако он, хотя бы в общих чертах, должен представлять себе ход обработки и результаты, которые могут быть получены. Это гарантирует от грубых просчетов и упущений в наблюдениях. В обязанность наблюдателя входит также систематизация и хранение собранного материала. Если любитель не может самостоятельно провести обработку, то ему надо обратиться за консультацией к специалистам по метеорной астрономии или послать свои наблюдения на обсерватории, занимающиеся метеорами.

В нашей стране исследования по кометам и метеорам координируются Астросоветом АН СССР (Москва, 117312, ул. Вавилова, 20). Среди астрономов-любителей работу организует Астрономическая секция ВАГО и Метеорный отдел Московского отделения ВАГО (Москва, 103009, п/я 918). В Крыму расположена любительская Метеорная станция ВАГО (Симферополь, ул. Кирова, 51, Детский парк, Астрономическая обсерватория). Сведения о падениях метеоритов и полетах ярких болидов собирает Комитет по метеоритам АН СССР (Москва, 117313, ул. Марии Ульяновой, д. 3, корп. 1). В этих учреждениях можно получить соответствующую консультацию.

2. СВЕДЕНИЯ О ДВИЖЕНИИ И СВЕЧЕНИИ МЕТЕОРОВ

Метеорные тела движутся в атмосфере практически прямолинейно, искривление **траектории** заметно лишь для продолжительных и ярких болидов. Вследствие сопротивления воздуха скорость метеора v постоянно уменьшается; отрицательное ускорение w называется **торможением**. У границы атмосферы v асимптотически стремится к постоянной **доатмосферной** скорости v_∞.

Направление скорости метеора в метеорной астрономии принято определять **радиантом** R; это направление, обратное вектору скорости или точка пересечения обратного продолжения траектории метеора с небесной сферой. Радиант можно определить, либо наблю-

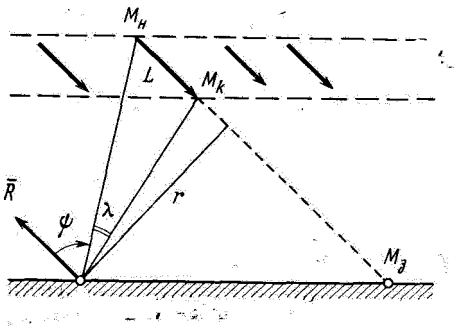

Рис. 2. Элементы траектории метеорного тела в атмосфере

Штрихами ограничен метеорный слой в атмосфере

дая один метеор из двух пунктов, что делается при базисных наблюдениях, либо наблюдая из одного пункта несколько параллельно движущихся метеоров, что бывает при наблюдениях метеорного потока.

Пусть $M_нM_к$ — путь метеора; R — направление на радиант; O — наблюдатель. Точку $M_н$ — назовем точкой появления, а $M_к$ — точкой **исчезновения**; пересечение траектории с плоскостью горизонта наблюдателя $M_з$ называется земной точкой. Как видно на рис. 2, **угловая** длина метеора λ зависит при прочих равных условиях от элонгации метеора от радианта. **Элонгация** любой точки обозначается буквой ψ. Из рис. 2 следует, что длина пути метеора

$$L = r\,(\operatorname{ctg}\psi_н - \operatorname{ctg}\psi_к), \qquad (1)$$

где r — наклонная дальность до линии $M_нM_з$. Метеоры с большой элонгацией — более длинные, а с меньшей — более короткие.

Угловая скорость метеора ω связана с элонгацией и скоростью v следующей формулой:

$$\omega = 57{,}30\,\frac{v}{r}\sin^2\psi\ (\textit{град/сек}). \qquad (2)$$

При малом ψ угловая скорость невелика, и наоборот — более далекие от радианта метеоры имеют большую угловую скорость. Когда метеор летит из радианта прямо на наблюдателя, его $\omega = 0$. Такой метеор называется **стационарным**.

Из наблюдений получают горизонтальные (a_R, z_R) или экваториальные (α_R, δ_R) координаты **видимого** радианта. На его положение оказывает влияние движение наблюдателя вследствие вращения Земли, в результате которого видимый радиант оказывается смещенным к точке востока на угол

$$\theta^\circ = \frac{26{,}62}{v_\infty} = \cos\varphi \sin \widehat{ER}, \qquad (3)$$

где v_∞ дано в *км/сек*, φ — широта места наблюдения, E и R — точки востока и исправленного радианта. Это смещение называется суточной **аберрацией**. Притяжение Земли также

возмущает движение метеорного тела. В непосредственной близости от Земли метеорное тело описывает вокруг ее центра гиперболу и увеличивает скорость. Неискаженная притяжением скорость встречи метеорного тела с Землей называется **геоцентрической** скоростью $\overline{v}_g$. Геоцентрическая скорость связана с доатмосферной скоростью следующей формулой:

$$v_\infty^2 - v_g^2 = (11{,}10\ км/сек)^2. \qquad (4)$$

Из (4), между прочим, следует, что скорость v_∞ всегда больше 11,1 *км/сек*.

Вследствие движения по гиперболе наблюдаемое зенитное расстояние z всегда меньше, чем не искаженное влиянием Земли. Разница Δz называется **зенитным притяжением**. Для ее определения служит формула Скиапарелли

$$\operatorname{tg}\frac{\Delta z}{2} = \frac{v_\infty - v_g}{v_\infty + v_g}\operatorname{tg}\frac{z}{2}. \qquad (5)$$

Видимый радиант, исправленный за суточную аберрацию и зенитное притяжение, называется исправленным радиантом (геоцентрическим). Он определяет направление геоцентрической скорости [5].

Скорость движения метеорного тела относительно Солнца, т. е. **гелиоцентрическая** скорость v_h, представляет собою векторную сумму **орбитальной** скорости Земли v_t и геоцентрической скорости метеора

$$\mathbf{v}_h = \mathbf{v}_t + \mathbf{v}_g.$$

Скорость Земли в любой точке орбиты $v_t r = 29{,}80$ *км/сек*, где r — **радиус-вектор** Земли (в астрономических единицах). Точка A, куда направлена скорость Земли, называется **апексом**. Эта точка находится на эклиптике, ее долгота приблизительно на 90° меньше долготы Солнца в данный момент.

Угол между направлениями на апекс и радиант называется **элонгацией** радианта от апекса ε_g. Тогда величина гелиоцентрической скорости легко находится из треугольника, образованного векторами $\mathbf{v}_t$, $\mathbf{v}_g$ и $\mathbf{v}_h$:

$$v_h^2 = v_t^2 + v_g^2 - 2v_t v_g \cos\varepsilon_g. \qquad (6)$$

В соответствующих уководствах [5, 6] даются удобные формулы и вычислительные схемы для определения апекса, гелиоцентрического радианта R_h, для нахождения элонгации гелиоцентрического радианта от апекса ε_h, а также для введения поправок в координаты радианта за зенитное притяжение и суточную аберрацию.

Положение метеорного тела в момент его встречи известно по положению Земли, а скорость определяется величиной и направлением гелиоцентрической скорости. По законам небесной механики

можно вычислить его орбиту вокруг Солнца. Вид ее зависит от величины v_h. Если v_h больше некоторого предела, называемого **параболической** скоростью, то тело движется вокруг Солнца по разомкнутой **гиперболической** орбите, если же $v_h < v_p$, то орбита метеорного тела замкнутая, **эллиптическая**. Величина параболической скорости v_p определяется формулой

$$v_p \sqrt{r} = 42{,}14 \text{ км/сек}, \tag{7}$$

где r — расстояние от Солнца в астрономических единицах. Очевидно, что метеорное тело сталкивается с Землей либо в восходящем, либо в нисходящем **узле** орбиты. При $\varepsilon_h < 90°$ метеор **встречный**, если $\varepsilon_h > 90°$, то метеор **догоняющий**, или **догоняемый**.

Рой метеорных тел, двигающихся вокруг Солнца по примерно одинаковым орбитам, образует метеорный **поток**. Метеоры потока встречаются с Землей, имея одинаковую скорость и двигаясь приблизительно по параллельным путям. Ежегодно в определенные моменты Земля пересекает эти потоки. Известно около десятка крупных, богатых частицами потоков [2,26].

Наблюдая метеоры, движущиеся параллельно, наблюдатель, вследствие перспективы видит их исходящими из одной точки — **радианта потока**. Так как траектории метеоров только приблизительно параллельны и наблюдаются с известной ошибкой, то фактически обнаруживается некоторая площадь радиации. Длительно действующие метеорные потоки имеют перемещение видимого радианта по небесной сфере, связанное с изменением положения апекса. Для крупных потоков вычислены эфемериды радианта на каждые сутки [7].

Наиболее распространенным видом фотометрии метеоров является глазомерная оценка их звездных величин. Опытные наблюдатели, хорошо знающие звездное небо, определяют **блеск** метеора с точностью $\pm$ 0,5 звездной величины. При этом за блеск метеора выгодно принимать **максимум** его яркости. Для сравнения между собой метеоров, находящихся на разных расстояниях от наблюдателя, вводится **абсолютная** звездная величина метеора m в отличие от видимой m'. Это такой блеск, который имел бы метеор на расстоянии 100 *км*,

$$m = m' - 5 \lg d + 10, \tag{8}$$

где d — расстояние до метеора от наблюдателя, выраженное в километрах.

На блеск метеора оказывает влияние и поглощение в атмосфере. Для получения так называемой **заатмосферной** величины метеора надо наблюдаемой звездной величине придать поправку

$$\Delta m = \mu \sec z. \tag{9}$$

Коэффициент μ зависит от прозрачности в данную ночь, и в среднем равен 0^m2. Если блеск метеора определен сравнением с близлежащими звездами, то указанную поправку вводить не надо.

Фотометрирование фотоснимков и фотоэлектрическая регистрация метеора дает более подробные данные о свечении метеора. Измерение негативов требует сложной аппаратуры, однако получить снимок, пригодный для фотометрии, в любительских усл виях можно.

Звездная величина метеора находится сравнением на негативе изображений звезд и метеора. Но непосредственно приравнивать почернения нельзя, так как звезды и метеор движутся с различными угловыми скоростями. Считается, что ослабление движущегося объекта пропорционально логарифму отношения угловых скоростей звезды ω_* и метеора ω, т. е.

$$m - m_* = -k(\lg\omega - \lg\omega_*), \tag{10}$$

где m_* и m — величины звезды и метеора. Чтобы установить величину k на пленку, где снят метеор, впечатывают искусственную звезду, движущуюся с известной и переменной угловой скоростью. Конструкции подобного рода калибровочных установок многочисленны и разнообразны [6].

При сравнении фотографических и визуальных звездных величин метеоров надо еще учесть показатель цвета метеора, равный от 1,8 до 1,0 звездной величины для ярких и слабых метеоров соответственно.

Зная звездную величину метеора m, можно определить создаваемую им освещенность E, что необходимо для фотографирования и фотоэлектрической регистрации

$$-2{,}5\lg E = m + 14^m{,}2 \ [\textit{люкс}]. \tag{11}$$

Если известно расстояние до метеора d (метров), то легко найти силу света метеора $I = Ed^2$ (свечей). Сила света зависит от скорости и массы метеорного тела. Теория свечения метеоров [8] дает приближенную зависимость, по которой можно оценить массу метеорного тела M (*грамм*)

$$I \approx 0{,}5\, Mv^3 \cos z_R. \tag{12}$$

где скорость v выражается в *км/сек*. Из формул (11) и (12) следует, что тело в 1 *грамм* при вертикальном падении со скоростью 30—40 *км/сек* порождает метеор приблизительно нулевой звездной величины.

Выражение, показывающее количество метеоров данной звездной величины и ярче, приходящееся на единицу площади за единицу времени, называется **функцией светимости** $N = N(m)$. Наблюдения показывают, что функция светимости имеет приблизительно показательный характер

$$N(m) = N_0 \varkappa^m, \tag{13}$$

где N_0 число метеоров с $m \leqslant 0$. Коэффициент $\varkappa$ является фундаментальной величиной, характеризующей **крутизну** функции светимости. В среднем $\varkappa = 2{,}5$, однако сильно меняется для различных потоков; $N_0 \approx 10^{-4}$ *штук/час·км²*, определяется из наблюдений. Обозначим через $n(m)$ количество метеоров от $m - 0{,}5$ до $m + 0{,}5$ звездной величины. Можно показать, что

$$n(m+1) = \varkappa n(m), \tag{14}$$

т. е. количество метеоров, заключенных в интервале одной звездной величины, возрастает с увеличением m в геометрической прогрессии.

Из формул (12) и (13) можно вывести **закон распределения** метеорных тел по массе. Количество частиц, бóльших данной массы $N(M)$, зависит от массы частицы M

$$N(M) = N_1 M^{1-s} \text{ [грамм]}. \tag{15}$$

Показатель s равен 2—4, а количество метеорных тел, больших единичной массы N_1, подлежит определению из наблюдений. Приблизительно оно равно 10^{-8} *штук/час·км²* [2].

Обычно законы (13) и (15) пишутся в логарифмическом виде, так как они, очевидно, линейны в координатах $\lg m$, $\lg M$ и $\lg N$. Кроме того, логарифмические масштабы позволяют охватить большие интервалы изменения переменных.

3. НАНЕСЕНИЕ МЕТЕОРОВ НА КАРТУ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАНТОВ

Можно указать две основные задачи, ради которых следует производить нанесение метеоров на карту: 1) подтверждение теоретических кометных радиантов [9], 2) определение положения, смещения и относительной активности **слабых** малоизученных радиантов [10, 11]. Определять визуально положение и площади радиантов больших, хорошо изученных потоков сейчас имеет смысл лишь в учебных целях для тренировки наблюдателей, так как для них применимы гораздо более точные радиолокационный и фотографический методы. Мы не рассматриваем также и визуальную регистрацию положения метеоров с целью определения их высот, так как необходимую точность визуальные наблюдения обеспечить не могут и эту задачу лучше решать фотографическим путем.

Наблюдения кометных радиантов надо производить в эпоху их действия, которая приводится в соответствующих **каталогах**. Наблюдения слабых радиантов возможны практически в любой безлунный период, так как радиантов известно очень много. При этом не следует упускать возможности обнаружения нового, не занесенного в каталоги радианта. Через год необходимо повторить попытку вновь обнаружить наблюдавшийся радиант, что для слабых радиантов, дающих один или менее метеоров в час, представляет, вообще говоря, нелегкую задачу.

Метеоры летят в атмосфере практически по прямым линиям, поэтому их пути на небесную сферу проектируются в виде дуг **больших кругов**. В зависимости от картографической проекции большие круги могут изображаться различными линиями. Только на **гномонической** (центральной) проекции любой большой круг изображается прямой линией. Существуют звездные карты, вычерченные в этой проекции, но пользоваться ими при наблюдениях неудобно, так как на краях получаются сильные искажения, и поэтому при наблюдениях пользуются любой удобной для данной области неба картой (с масштабом не менее 2—4 *мм/град*), а последующую обработку уже производят на гномонической карте.

Для наблюдений можно использовать «Звездный атлас» (малый) А. А. Михайлова, «Атлас неба» А. Бечвара, звездные карты в приложениях к «Справочнику любителя астрономии» П. Г. Куликовского, «Учебный атлас» А. Д. Марленского [12—14], удобен старый (1923 г.) «Звездный атлас» К. Д. Покровского.

Чтобы не портить карты атласа, следует скопировать интересующую наблюдателя область неба на чистый лист бумаги и хорошо изучить расположение и блеск звезд. Обычно достаточно иметь область поперечником 80—100°, так как внешние части большей области будут наблюдаться уже боковым зрением. Карту надо наколоть на лист фанеры. Наблюдатель располагается в удобной позе, в зависимости от положения области наблюдений, **лежа** или сидя. Причем возможно два способа наблюдения: либо следить за одной и той же областью неба, поворачиваясь вслед за ее суточным вращением, либо смотреть в одном направлении. Во втором случае перед взором пройдет за ночь некоторый пояс звездного неба. Продолжительность чистого времени наблюдений в каждую ночь должна быть не менее 2 часов, так как при меньшем интервале слабые радианты себя не проявят. Особую ценность имеют наблюдения в течение нескольких ночей непрерывно. За это время можно проследить время существования, смещение и изменение активности радианта.

При нанесении метеоров на карту должны выполняться все общие правила визуальных наблюдений (см. § 1).

Цель наблюдений заключается в возможно более точном нанесении метеора на карту, поэтому **не нужно** стараться нанести непременно все наблюдавшиеся метеоры. Это все равно невозможно. При пролете метеора надо, некоторое время не сводя глаз с неба, запомнить: около каких звезд метеор начался и окончился, вдоль какой линии он летел. При этом можно пользоваться линейкой, которую наблюдатель держит в вытянутой руке параллельно метеору. После того как наблюдатель запомнил положение, он наносит метеор в виде стрелки на карту (рис. 3), ставит рядом с ним номер и производит записи в журнале:

1) номер метеора, который ставится на карту;
2) момент с точностью до минуты T;
3) звездная величина метеора m;
4) угловая длина метеора в градусах λ;

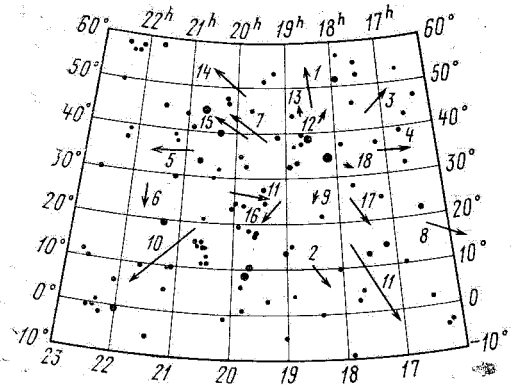

Рис. 3. Нанесение метеоров на карту атласа А. А. Михайлова

5) угловая скорость ω в условных обозначениях, см. § 4;
6) цвет в условных обозначениях *c*, см. § 4;
7) примечания о наличии следов, вспышек, дробления и др.

Запись в журнале может делать секретарь под диктовку наблюдателя. Бланк для записи имеет следующий вид.

Журнал для нанесения метеоров на карту

Общие данные о наблюдениях (см. § 1)

Номер	Момент *T*	*m*	λ, *град*	ω	Цвет *c*	Примечания
18	2 *час* 31 *мин*	3,5	12	6	*ж*	След 4 *сек*

Физические данные: *m*, λ, ω, *c* не имеют прямого отношения к определению радиантов, но они помогают определить принадлежность метеора к данному радианту. Если наблюдатель не сочтет это обременительным, то количество регистрируемых **физических** характеристик (см. § 4) можно увеличить.

Обработка наблюдательного материала начинается с перенесения зарисованных метеоров на карту с гномонической сеткой. Обычно при метеорных работах используют карту в гномонической проекции с касанием проективной плоскости к небесной сфере на склонении $\delta = 45°$ (сетка Лоренцони). На ней имеется и полюс и экватор (рис. 4). Точки пересечения линий продолжения метеоров назад могут, вообще говоря, быть радиантами. Однако всегда наблюдается значительный процент (более 50%) так называемых **спорадических** метеоров, не принадлежащих потокам. Образованные ими пересечения являются фиктивными радиантами.

В. В. Федынский и В. А. Мальцев предложили оправдывающийся на практике критерий, согласно которому радиант считается реальным, если выполняется одно из следующих условий:

1) в круге поперечником 1—2°: пересекаются пути не менее трех метеоров, наблюдавшихся в одну ночь или пяти метеоров в две смежные ночи, и отношение λ/ψ для всех метеоров приблизительно постоянно и меньше единицы, а физические свойства метеоров близки между собой;

2) из всех наблюденных в одну ночь метеоров в радианте пересекается следующее число продолженных путей метеоров: 4 из 10; 6 из 40; 7 из 60; 8 из 80 и 10 из 100;

3) убедительным доказательством существования радианта является стационарный метеор, летящий прямо на наблюдателя;

4) иногда радиант выявляется в процессе наблюдений, когда несколько метеоров в течение 1 *мин* вылетают из одной точки (полет «пачками»).

При нанесении метеоров на карту наблюдатель допускает несколько видов ошибок: удлинение или укорочение, перемещение вперед или назад, перемещение в сторону, поворот траектории. Ошибки приводят к тому, что площадь радианта преувеличивается. Нормальным считается, если пути метеоров пересекаются в кружке с радиусом 1,5—2°, а за радиант принимается центр тяжести площади пересечения.

Следует, однако, учитывать, что радианты крупных потоков, таких как Персеиды, Гемениды, δ-Аквариды и другие могут иметь тонкую структуру, т. е. несколько точек радиации, которые соответствуют нескольким ветвям потока.

Пересечения находятся на гномонической сетке обычно графически, но когда метеоров много, есть возможность определить радиант более точно — аналитически. На сетке Лоренцони строим прямоугольную систему координат с центром при $\delta = 45°$ и составляем для каждой линии метеора ее уравнение:

$$x\cos\theta + y\sin\theta = l, \tag{16}$$

где значения θ и l показаны на чертеже (рис. 4). Умножим каждое уравнение на некоторую величину (вес)

$$p = \sin\lambda\cos l^{\circ}, \tag{17}$$

где λ — угловая длина метеора, а угловая величина l снимается с сетки: от 0 надо отложить вдоль оси x линейную величину l и узнать, скольким градусам она соответствует. После этого система уравнений всех метеорных путей с двумя неизвестными решается методом наименьших квадратов. Найденные значения x и y соответствуют радианту (x_R, y_R). Точка строится на сетке, с которой снимаются сферические координаты радианта (α_R, δ_R). Эта точка — наилучшая с точки зрения теории вероятностей, т. е. сумма квадратов угловых расстояний от нее до всех метеорных кругов минимальна.

Полученные из наблюдений радианты следует занести в каталог, причем надо указать количество метеоров, эпоху и продолжитель-

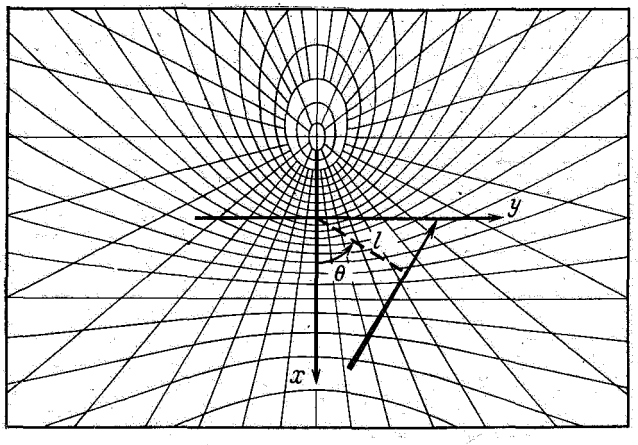

Рис. 4. Сетка Лоренцони. Параллели нанесены через 5°, меридианы через 10°

ность действия. Если радиант существовал долго, можно по наблюдениям в разные ночи установить его смещение.

Через год в тот же день, а точнее когда Солнце будет иметь ту же самую долготу $\lambda_\odot$, имеет смысл еще раз проверить радиант.

4. ПРОГРАММА-МАКСИМУМ

И. С. Астаповичем была разработана подробная система регистрации физических, кинематических и геометрических характеристик метеора, получившая название «программы-максимум» [15]. Такие наблюдения служат для определения статистическим путем высот, скоростей, радиантов, масс и закономерностей движения и свечения метеорных тел.

Программа-максимум требует очень высокой **квалификации** наблюдателя. Только имея практический опыт наблюдения нескольких тысяч метеоров и исследовав многочисленные личные ошибки, наблюдатель может надеяться на получение надежных данных. Наблюдателю необходимо также хорошее знакомство с каталогами радиантов.

Рассмотрим характеристики метеора, которые входят в программу-максимум.

1. **Момент пролета** Т. Момент должен быть зарегистрирован с такой точностью, которая соответствовала бы точности определения положения метеора. Положение метеора при наблюдениях невооруженным глазом определяется с точностью менее 15′ дуги, следовательно, момент должен отмечаться с точностью до 1 минуты. Время определяется по часам с известной поправкой и ходом. Особенно удобны для метеорных наблюдений часы со светящимися

стрелками, которые дают возможность работать без освещения. Запись момента так же, как и других характеристик, производится «слепым» методом, не отрывая глаз от неба, на полоске бумаги, свернутой гармошкой.

2. **Положение и направление** полета. Для определения координат начала и конца метеора наблюдатель должен очень хорошо знать звездное небо. Практически надо знать все звезды ярче 4 величины и часть звезд 5 величины, т. е. $\sim$ 500 звезд. Запись положения и направления метеора удобно вести так: если метеор появился около α Лиры и исчез у α Лебедя, то пишется: α Lyr $\rightarrow$ α Cyg, если метеор пролетел параллельно направлению α — δ Лебедя, но появился на 2° севернее α Лиры и на 3° не долетел до α Лебедя, то запись будет выглядеть так:

$$\alpha \overset{2^\circ}{\mathrm{Lyr}} \rightarrow 3^\circ\ \mathrm{Cyg} \parallel \alpha\delta\ \mathrm{Cyg}.$$

Наблюдателю в процессе работы следует выбрать опорные звезды, по которым он будет определять положение и направление метеора, равномерно распределив их по небу. При обработке наблюдений, со звездной карты снимают координаты начала и конца $\alpha_н$, $\delta_н$; $\alpha_к$, $\delta_к$. Наблюдателю необходимо исследовать также ошибки сноса и поворота.

3. **Угловая длина** λ пути метеора определяется независимо от положения начала и конца по сравнению с угловыми расстояниями между звездами. Удобными эталонами являются расстояния: $\alpha\beta$ Б. Медведицы (5°.2), $\alpha\beta$ Пегаса (13°) и т. п. Наблюдатель сам должен выбрать такие пары. Следует только помнить, что эталонные звезды должны лежать на той же высоте, что и метеор, так как вследствие сплюснутости небосвода у горизонта созвездия кажутся больше.

4. **Угловая скорость** ω определяется баллами в следующей шкале:

Стационарный	0	Довольно быстрый	5
Очень медленный	1	Быстрый	6
Медленный	2	Очень быстрый	7
Довольно медленный	3	Чрезвычайно-быстрый	8
Средний	4		

Лабораторные измерения показали, что эта эмпирическая шкала связана с угловой скоростью, выраженной в градусах в секунду степенной зависимостью. В среднем можно полагать, что баллы шкалы соответствуют следующим угловым скоростям:

Баллы	1	2	3	4	5	6	7	8
ω, *град/сек*	7	10	15	20	30	45	65	95

Сначала можно пользоваться не всеми баллами, а через один и с приобретением опыта переходить к промежуточным. В редких случаях приходится отмечать угловое торможение (6 $\rightarrow$ 4).

5. **Продолжительность** полета τ оценивается в секундах. Чтобы выработать у себя «чувство секунды», наблюдатель должен некоторое время потренироваться в отсчете малых промежутков времени с секундомером, хронометром, метрономом, или свободно падающим предметом. Постепенно у наблюдателя вырабатывается определенная шкала времени. Время τ, определяемое наблюдателем, связано с истинным временем t линейной зависимостью

$$t = a + b\tau, \tag{18}$$

причем a обычно мало, а b близко к единице.

6. **Звездная величина** метеора m находится сравнением со звездами. Для работы надо знать величины примерно 100 звезд, равномерно распределенных по небу. Достаточная точность оценок достигается опытом, и у опытных наблюдателей доходит до $\pm$ 0,25 звездной величины. Начинающий наблюдатель может записывать звездные величины метеоров с точностью до ± 1 звездной величины.

Для последующей теоретической интерпретации важно знать, к чему относится оценка: к среднему или к максимальному блеску. Лучше фиксировать максимум блеска, а если наблюдалась вспышка, отметить ее отдельно.

7. **Цвет метеора** c оценивается по глазомерной шкале Остгофа. Цвета можно определять только у ярких метеоров не слабее 3-звездной величины. Иногда цвет метеора меняется, и это также отмечается, например 0 → 4:

Голубой (с)	—2	Чисто желтый (ж)	4
Голубовато-белый	—1	Темно-желтый	5
Белый (б)	0	Красновато-желтый	6
Желтовато-белый	1	Оранжевый (о)	7
Беловато-желтый	2	Желтовато-красный	8
Светло-желтый	3	Красный (к)	9

В эту шкалу не входят редкие цвета метеоров: зеленые (*з*), фиолетовые (*ф*) и т. п., но их бывает очень мало.

8. **Очерченность** метеора o. Это понятие характеризует в условных баллах внешний вид метеора согласно следующей ниже шкале. Понятие очерченности, вероятно, связано с дроблением метеора:

Очень резко очерченный метеор	5
Резко очерченный метеор	4
Метеор средней очерченности	3
Метеор со слегка размытыми краями	2
Метеор явно размытый	1

9. **Положение максимума** блеска $M/5$ на траектории метеора, если он имел место, определяется следующим образом: весь метеор мысленно делят на 5 частей, если максимум был вначале, то пишут

1/5, если посредине, то 3/5, если в конце, то 5/5 и т. д. Если метеор замечен уверенно, наблюдатель может начертить на бумаге схематическую **кривую** изменения **блеска**. Случается, что метеор не имеет резко выраженного максимума яркости, «ровный».

10. **Плотность** метеора ν оценивается в пятибалльной шкале: балл 1 обозначает рыхлый тусклый метеор, балл 5 — плотный блестящий звездоподобный метеор. Субъективное понятие плотности, вероятно, связано с особенностями абляции метеора и дроблением его.

11. **Угловой поперечник** d'. Многие метеоры имеют заметно выраженную протяженность. Это явление связано как с реальными размерами газовой оболочки метеора, так и с иррадиацией. При наблюдениях отмечается кажущийся поперечник d' в угловых минутах, например, 3′.

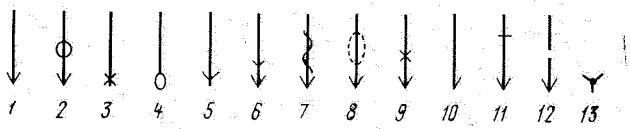

Рис. 5. Некоторые обозначения метеоров, употребляемые при зарисовках и краткой нотации

1 — обычный; *2* — телескопический; *3* — болид; *4* — метеорит; *5* — ярче 0^m; *6* — парный; *7*, *8* — со следом; *9* — вспышка; *10* — сомнительный, *11* — максимум блеска; *12* — с перерывом; *13* — стационарный

12. **Продолжительность** видимости следа τ_s. Если после полета метеора остался след, то по часам или секундомеру отмечают время его видимости невооруженным глазом с точностью до 1 секунды. Если желают пронаблюдать след более подробно, пользуются методикой наблюдений дрейфа следов.

13. **Плотность следа** ν_s представляет собою качественную оценку плотности светящегося вещества следа и оценивается в баллах. Яркий плотный след обозначается баллом 5; редкий полупрозрачный, размытый след — баллом 1, остальные баллы — промежуточные.

От положения метеора в поле зрения зависят некоторые тонкие эффекты видимости метеора. Опытные наблюдатели отмечают **положение** метеора в поле зрения глаз по системе «циферблата». Запись ведется, например, так: X — 35°; это означает, что метеор замечен в левом верхнем углу поля зрения на расстоянии 35° от центра.

Наблюдатель ведет наблюдения лежа и смотря вверх. Для отметки времени наблюдатель имеет при себе часы и секундомер. Запись при наблюдениях по программе-максимум ведется карандашом **слепым** методом, на ощупь, не отрывая взгляда от неба.

Часто употребляют различные сокращения (рис. 5). При этом запись имеет примерно такой вид (данные записаны в том порядке, в котором излагались выше):

№ 35; 23 час. 03 мин; 4° α Cas → δ Cep 1°; λ 18°; ω 4; τ 0.9;
m 0.5; *c* 3; *O* 5; 4/5; v 5; *d'* 2'; τ_s 10; v_s 4; IX—45°

В ближайшее же время после наблюдений рабочие записки надо расшифровать, метеоры нанести на карту и составить журнал наблюдений метеоров, где помимо общих данных должны быть указаны поправка часов, время начала и конца наблюдений, эпоха, к которой относятся координаты.

Журнал наблюдений по программе-максимум
(Общие сведения)

№	*T*	Начало		Конец		λ	ω	τ	*m*	*c*	*o*	*M*	v	τ_s	v_s	Примечания
		α	δ	α	δ											

Этот журнал вместе с картой составляет наблюдательный материал, который подвергается обработке различными способами [15]. Данные счета по программе-максимум используются для статистического определения высот, скоростей, радиантов, для изучения суточных и годичных вариаций параметров, корреляций метеорных характеристик с различными геофизическими явлениями. Систему программы-максимум можно применять при наблюдениях численности метеоров, при нанесении на карту, при наблюдениях телеметеоров, но в полном виде это делать затруднительно и практически возможно, лишь когда количество метеоров невелико.

5. РЕГИСТРАЦИЯ ЧИСЛЕННОСТИ МЕТЕОРОВ [1]

Счет метеоров служит для определения важнейших характеристик метеорной материи: 1) пространственной **плотности** метеорных потоков и 2) **функции светимости,** т. е. распределения метеоров по блеску. При систематических наблюдениях можно изучить структуру потока, т. е. распределение метеорных тел различной массы в потоке. Счет метеоров должен вестись на строго ограниченной площади неба и в течение вполне определенного интервала времени. Считать метеоры «вообще» — совершенно бессмысленно.

Один наблюдатель даже в небольшой области не может заметить все метеоры, так как внимание его не может быть непрерывным.

[1] Этот раздел написан по идеям, предложенным Р. Л. Хотинком.

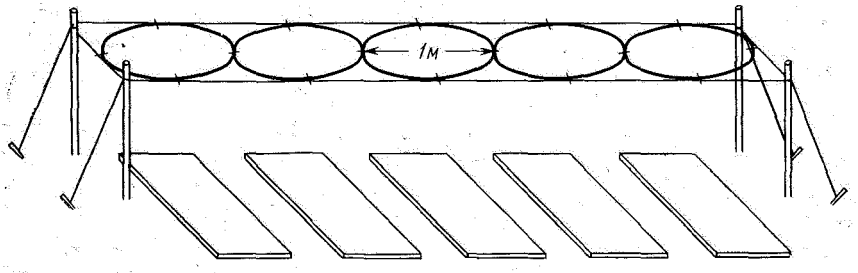

Рис. 6. Рамка для счета метеоров для пяти наблюдателей, располагающихся рядом

Диаметр колец 1 *м*

Чтобы характеризовать внимательность наблюдателя, вводится величина $p = n/N$, называемая **коэффициентом замечаемости** данного наблюдателя, это — вероятность заметить метеор, или отношение чисел замеченных и реально появившихся. Коэффициент замечаемости различен для метеоров различных звездных величин. Значения этого коэффициента приближенно следующие:

Блеск метеора m . .	0	1	2	3	4	5	6
Коэффициент p . .	1,00	0,95	0,80	0,50	0,25	0,05	0,001

Это — средние величины; у разных наблюдателей они сильно различаются и меняются со временем. Коэффициент внимания зависит от состояния неба, наблюдателя, погоды, условий наблюдения.

Чтобы учесть все метеоры, необходимо вести **многократный** счет. Многократный счет заключается в том, что несколько наблюдателей одновременно считают метеоры в одной и той же области и при этом регистрируют **общие** и **необщие** между наблюдателями метеоры. Из таких наблюдений, пользуясь законами математической статистики, можно определить истинное число пролетевших в наблюдаемой области метеоров, в том числе и тех, которых не видел ни один из наблюдателей [16, 17].

Для ограничения поля зрения и, следовательно, площади, на которой фиксируются метеоры, необходимо иметь **рамку**. Рекомендуется круглая рамка диаметром около 1 *м*, располагающаяся на высоте 1 *м* от глаз наблюдателя (рис. 6). В таком случае она вырезает на небесной сфере околозенитную область поперечником $\sim 55°$.

Наблюдатель располагается над рамкой лежа так, чтобы зенит был в центре поля зрения. Употреблять квадратную рамку или наблюдать в стороне от зенита не стоит, так как это создает дополнительные трудности в обработке. Рамка изготовляется из жесткой проволоки толщиной 5—8 *мм*. Она достаточно хорошо заметна на ночном фоне неба. Более широкая рамка отвлекает наблюдателя.

Для удобства наблюдателей под кругами размещаются топчаны, маты, спальные мешки. В холодную погоду и зимнее время следует

устроить ограждение от ветра. Совершенно необходимо рамку ориентировать по сторонам горизонта, для чего на кольцах укрепляются **марки**.

На рис. 5 изображена конструкция, при которой все наблюдатели располагаются рядом. Это облегчает определение общности метеоров, однако создает взаимные помехи. Для полной независимости, иногда целесообразно размещать наблюдателей поодиночке на некотором расстоянии друг от друга. Но в таком случае требуется электрическая сигнализация от наблюдателей к секретарю и какая-то специальная система регистрации, например, запись на магнитофон, что значительно усложняет работу, но делает ее статистически более корректной.

Техника многократного счета, в том случае, когда наблюдатели располагаются рядом, заключается в том, что заметивший метеор, наблюдатель быстро сообщает об этом факте секретарю и диктует параметры. Другие наблюдатели, которые видели этот же метеор, также сообщают об этом секретарю, исправляя при необходимости параметры. Секретарь (который сам не наблюдает) записывает данные о метеоре под общим для всех наблюдателей номером и моментом времени. Таким образом, общность метеора устанавливается в процессе наблюдения, ценой некоторого нарушения независимости.

Очевидно, что во время наблюдений должна соблюдаться тишина, реплики наблюдателей и секретаря должны быть четкими и лаконичными. Дисциплина во время работы позволит сохранить статистическую чистоту материала.

Возможны различные модификации организации работы, например, запись вслепую, с несколькими секретарями и т. п. [4]. Очень желательно применять при наблюдениях электрическую сигнализацию. При этом каждый наблюдатель имеет у себя кнопку, соединенную с пультом секретаря. На пульте монтируются сигнальные лампочки по числу наблюдателей. По одновременно вспыхнувшим сигналам секретарь устанавливает, какие наблюдатели заметили данный метеор. Параметры диктует самый опытный наблюдатель.

Момент пролета метеора при счете не играет существенной роли, и при обильных потоках его можно не записывать. При счете важен интервал **чистого времени**. Поэтому надо тщательно регистрировать момент начала и конца наблюдений и время перерывов для отдыха. Общее чистое время за ночь должно быть не менее 2—3 часов, иначе метеоров будет мало и статистические формулы станут неприменимы. Практически делают 10—15-минутные перерывы через 45—50 минут наблюдений.

Во время одной ночи изменения в составе группы недопустимы. Нежелательны они и вообще за период наблюдений.

Видимость метеоров, особенно слабых, сильно зависит от состояния неба. При наблюдениях метеоров состояние неба характеризуют **предельной** величиной звезд m_m, которые видны в наблюдаемой области. При сильной освещенности неба вблизи больших городов, в полнолуние и близкие к нему дни счет вести нельзя.

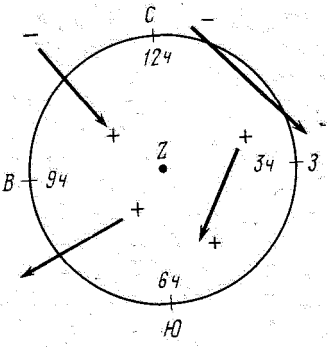

Рис. 7. Определение положения (+) и направления метеоров по «правилу циферблата»

Иногда приходится проводить счет метеоров при легких проходящих облаках. При этом степень закрытия области облаками определяют в процентах. Подобные наблюдения имеют небольшую ценность. При счете метеоров регистрируются следующие данные, помимо общих сведений:

1) общий для всей группы наблюдателей номер метеора за данную ночь (устанавливается секретарем);

2) момент пролета метеора с точностью до минуты (устанавливается секретарем);

3) звездная величина метеора (максимум яркости);

4) угловая скорость в условной шкале (см. § 4);

5) направление метеора, которое измеряется в часах циферблата, причем за 12 часов считается точка севера: 3 часа на западе и т. д. (рис. 7);

6) принадлежит ли метеор к потоку или он спорадический;

7) положение метеора относительно рамки: если начало и конец метеора лежат внутри рамки, то ставится знак (++), если начало вне, а конец внутри рамки, то (— +), если начало внутри, а конец вне рамки, то (+ —); реже будут встречаться метеоры, и начало и конец которых лежат вне рамки (— —) (рис. 7);

8) расстояние от зенита до метеора в градусах z;

9) в примечаниях отмечается наличие следа, вспышек и т. д.

Принадлежность метеора к потоку является важной, но в то же время трудной для определения характеристикой метеора. Принадлежность определяется по направлению полета, соотношению угловой длины и элонгации от радианта и комплексу физических свойств: цвета, очерченности, скорости и т. д. При известном навыке наблюдатель сразу определяет принадлежность метеора к потоку по этим признакам. Наблюдателю надо знать, какие потоки действуют в данную ночь и расположение их радиантов. Обычно стараются установить принадлежность к одному из следующих богатых ежегодных потоков: Квадрантиды, Лириды, η-Аквариды, δ-Аквариды, Персеиды, Ориониды, Тауриды, Леониды, Геминиды, Урсиды. Остальные метеоры рассматриваются как внепоточные, т. е. спорадические [11].

Данные пп. 2, 8, 7, 5, 4 не являются основными при многократном счете и в случае **метеорных дождей**, когда времени мало, можно их в крайнем случае отбрасывать в указанном порядке.

Следует особо отметить, что при обильных метеорных дождях 60-градусная рамка может оказаться слишком большой и наблюдатели не успеют уверенно регистрировать метеоры. В таком случае рамка уменьшается до 15 градусов. Ее конструкция должна предусматривать такую возможность. Малую рамку применяют также специально при изучении слабых метеоров, так как в 60-градусной области они замечаются неуверенно.

Ниже приводится примерная форма записи при счете метеоров, полученная под диктовку секретарем.

Журнал многократного счета метеоров

1. Место наблюдения: г. Симферополь.
2. Дата: 12/13 декабря 1972 г. (московского времени).
3. Время наблюдений: начало 0 *час* 31 *мин*, конец 3 *час* 05 *мин*.
4. Перерывы в наблюдениях: 1 *час* 20 *мин* — 1 *час* 30 *мин*, 2 *час* 25 *мин* — 2 *час* 35 *мин*.
5. Предельная звездная величина звезд: 5,4.
6. Наблюдатели: В. Мартыненко (ВМ), Р. Хотинок (РХ), И. Зоткин (ИЗ), В. Цветков (ВЦ), С. Макарова (СМ), А. Симоненко (АС), И. Гандель — секретарь.
7. Диаметр области 57°, центр в зените.

№	Момент	Направление	±	ω	z	Поток	Наблюдатели, *m*						Примечания
							ВМ	РХ	ИЗ	ВЦ	СМ	АС	
1	0 *час* 33 *мин*	11	++	2	0°	Г	3	2,5	?		3,5		
2	35	3	++	4	20	С			4		5	?	Вспышка
3	36	10	+−	2	35	Г	−1	1,5	−1	−1,5	−1	−1	

Примечание. Г — геменид, С — спорадический.

Если наблюдатель видел метеор, но не определил его блеск, то такой метеор отмечается знаком «?» и входит в счет. В журнале время от времени записывается состояние наблюдателей, так как холод, утомление оказывают влияние на наблюдения.

Обработка многократного счета может производиться различными методами с различных точек зрения. Мы укажем только на некоторые данные, которые можно получить.

Пусть группа из k наблюдателей заметила S различных метеоров, причем каждый наблюдатель заметил $n_1, n_2, \ldots, n_k$ метеоров; среди них есть, очевидно, общие. Теория вероятностей позволяет в таком случае вычислить **истинное**, наиболее вероятное число метеоров,

которое было в наблюдаемой области N. Это достигается решением уравнения, справедливого для метеоров с равным блеском,

$$(N - S)\, N^{k-1} = (N - n_1)(N - n_2) \ldots (N - n_k). \qquad (19)$$

Алгебраическое уравнение (19) степени $k - 1$ после логарифмирования нетрудно решить с точностью $\pm 0{,}1$ путем подбора. При двух наблюдателях ($k = 2$) уравнение (19) превращается в формулу **двукратного счета**, где n_{12} число общих метеоров.

$$N = \frac{n_1 n_2}{n_{12}}. \qquad (20)$$

Если для упрощения допустить, что в уравнении (19)

$$pkN = n_1 + n_2 + \ldots + n_k = \Sigma, \qquad (21)$$

т. е. все наблюдатели имеют одинаковый средний коэффициент внимания p, то выражение (19) преобразуется в формулу Квиза

$$\frac{1 - (1 - p)^k}{kp} = \frac{S}{\Sigma}. \qquad (22)$$

Для нахождения p из (22) составлены подробные таблицы [16]; решить это уравнение нетрудно и подбором. С известным p вероятное число метеоров N определяется по формуле (21).

Существуют и другие принципиально отличные методы вычисления истинного (вероятного) числа метеоров по наблюденному [18, 2].

Разделив N на чистое время наблюдений t, получим **часовое число** метеоров N_h, которое характеризует интенсивность падения метеоров. Можно рассмотреть отдельно часовое число спорадических метеоров и метеоров, принадлежащих к потоку, если он действовал во время наблюдений.

Спорадические метеоры, образующие метеорный фон, в течение года падают более или менее равномерно, поэтому надежным индексом, определяющим населенность метеорного потока, является отношение наблюденного числа поточных метеоров S_n к числу всех метеоров S:

$$i\,\% = \frac{S_n}{S}\, 100\,\%. \qquad (23)$$

Эта величина называется **относительной активностью** потока. Она меняется, достигая максимума в момент максимума потока, поэтому ее следует определять для каждой ночи. Если наблюдений много, то можно подсчитать $i\%$ для каждой звездной величины в отдельности.

Количество метеоров данного потока, попадающих на площадку неба в зените, зависит от высоты радианта над горизонтом, которая

в течение ночи меняется.

$$N = N_0 \cos z_R. \tag{24}$$

Величина N_0 связана с числом частиц в потоке.

Зная площадь наблюдаемой площадки σ ($км^2$), время t ($сек$), в течение которого замечено N поточных метеоров и скорость v_9 ($км/сек$), с которой метеоры данного потока встречают Землю, можно подсчитать пространственную **плотность** потока ρ

$$\rho\sigma v_g t \cos z_R = N, \tag{25}$$

величина $\cos z_R$ принимается средней за интервал наблюдений, ρ — количество частиц в единице объема (в 1 $км^3$). Предполагая, что частицы распределены в потоке равномерно, можно определить среднее расстояние между ними r ($км$) из следующей формулы:

$$\rho r^3 = 1. \tag{26}$$

Определение положения метеоров относительно рамки ($\pm$) дает возможность определить отношение средних высот появления (начала) $H_н$ и исчезновения (конца) $H_к$ метеоров

$$H_н \sqrt{N_к} = H_к \sqrt{N_н}, \tag{27}$$

где $N_н$ и $N_к$ — числа метеоров, появившихся и исчезнувших внутри рамки, соответственно (формула Тейхгребера).

В подробных руководствах [16, 17] рассматривается вопрос об обработке наблюдений спорадических метеоров, получении распределения метеорных частиц по массам и т. д. на основе результатов счета метеоров.

6. НАБЛЮДЕНИЯ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИХ МЕТЕОРОВ [1]

Кроме метеоров, видимых на небе невооруженным глазом, существуют очень слабые метеоры, которые можно наблюдать только при помощи оптических средств. Эти метеоры и получили название **телескопических**. К классу телеметеоров относятся метеоры с блеском слабее 6^m звездной величины.

При наблюдениях телеметеоров могут ставиться различные задачи: 1) уточнение радиантов больших метеорных потоков, в которых обнаруживается присутствие мелких частиц; 2) определение самостоятельных телеметеорных радиантов и распределения их по небу; 3) определение численности телеметеоров в диапазоне от 6 до **16** звездной величины; 4) определение высот телеметеоров, их вариаций и связи с различными геофизическими явлениями.

Для астрономов-любителей здесь открывается обширное поле деятельности. Но необходимо предупредить начинающих наблюда-

[1] При составлении этого параграфа использованы рекомендации К. А. Любарского.

телей, что эти наблюдения больше, чем какие-либо другие, требуют терпения и настойчивости. Иногда можно наблюдать один-два часа и не увидеть ни одного телеметеора.

Инструмент для наблюдений телеметеоров должен иметь достаточное **поле зрения** и большую светосилу. Если D — диаметр объектива, то наиболее рациональное увеличение K по С. В. Орлову определится соотношением: $6{,}7K = D$ *мм*. **Проницающая сила** трубы должна быть не менее 11—12 звездной величины. Инструмент должен быть обязательно бинокулярным и желательно не с зеркальным изображением. Хорошие результаты дают: 10-кратные бинокли, трубы ТЗК, бинокуляры Цейсса 20 × 80, различные кометоискатели. В хороших инструментах субъективное поле зрения равняется диаметру области ясного зрения: $K\rho^\circ \approx 50^\circ$, где ρ° — объективное поле зрения в градусах. Инструмент должен быть тщательно отфокусирован, а оптика вычищена.

Подходящими картами для наблюдений являются: «Атлас BD», «Атлас неба» А. Бечвара, «Звездный атлас» А. А. Михайлова. Необходимые участки звездных карт перечерчиваются, увеличиваются до удобного масштаба и наклеиваются на картон. Учитывая, что наблюдения телеметеоров очень утомительны, следует позаботиться о создании максимальных удобств наблюдателю, в первую очередь, защите от холода, ветра и света.

Наблюдать телеметеоры можно лишь при небольшой фазе луны.

При наблюдениях телеметеоров в больших потоках выбирается область в 3—5° от действующего радианта и наблюдатель держит эту область в поле зрения в течение всего периода наблюдений не менее 3—4 часов в одну ночь. Во избежание фиктивных радиантов необходимо соблюдать условия, описанные в § 3. Время действия телескопического радианта определяется как середина интервала наблюдений первого и последнего метеора в сотых долях суток по мировому времени, с указанием эпохи, к которой отнесены координаты радианта.

При поисках самостоятельных телескопических радиантов выбирается какая-либо область неба, причем не ниже $z = 60$—70°, так как при больших зенитных расстояниях истинные телеметеоры не видны в результате большого поглощения света в атмосфере. Следует особо обратить внимание на слабую изученность радиантов южного неба. Поэтому наблюдателям южной полосы СССР желательно использовать свое удобное географическое положение.

Программа наблюдений численности телеметеоров мало отличается от подобных наблюдений (§ 5) обычных метеоров. Разница состоит в том, что роль рамки будет осуществлять поле зрения и часовые числа будут меньшими. Очень большую ценность представляют **совместные** глазомерные и телескопические определения численности. Они дают возможность построить функцию светимости на большом интервале звездных величин.

Попутно с вопросами численности решаются и другие задачи, например, изменение часовых чисел телеметеоров в течение суток,

года, т. е. суточная и годичная **вариации**. Наблюдения в зенитной области (где азимуты направлений полета получаются в чистом виде) дают возможность установить преобладающее направление движения телеметеоров, что очень важно. Интересно проследить одновременно суточную вариацию направлений движения и суточную и азимутальную вариацию среднего блеска телескопических метеоров, откуда можно сделать вывод о том, из каких областей и какие метеоры попадают к нам в течение суток.

Запись наблюдений телеметеоров, проводимых с целью определения радиантов, численности и вариаций различных параметров, имеет следующую форму:

Журнал наблюдений телеметеоров
(Общие сведения)

1. Дата: 1969 г., 17—18 июля.
2. Время: начало 21 *час* 30 *мин*, конец 0 *час* 30 *мин* (декретное время).
3. Перерывы: 23 *час* 15 *мин* — 23 *час* 30 *мин*; 22 *час* 20 *мин* — 22 *час* 30 *мин*.
4. Интервал чистого времени 2,58 часа.
5. Предельная видимость звезд: 11,5 звездной величины.

№	T	m	τ	c	o	ω	λ	P	M	$\pm$	$\alpha_н$	$\delta_н$	$\alpha_к$	$\delta_к$	m_s	τ_s	λ_s	Z	Примечания

Характеристики c, ω, o оцениваются в баллах (§ 4). Момент полета фиксируется с точностью 1 *мин*; блеск желательно определять с точностью 0^m5. Особое внимание нужно уделить оценкам продолжительности полета τ, так как телеметеоры кратковременны. Длина λ определяется в десятых долях диаметра поля зрения, а затем переводится в градусы. Позиционный угол P отсчитывается по «правилу циферблата», при обработке переводится в азимуты.

Особый интерес представляют высоты телеметеоров. Высоты исследуются с помощью **базисных** наблюдений, для чего на концах базиса размещаются два наблюдателя с двумя однотипными инструментами. Азимут базиса выгодно проложить вблизи направления СВ → ЮЗ. Он измеряется с точностью $\pm 1°$. Длину базиса целесообразно выбрать из соотношения

$$20 < Kb\,(км) < 1{,}7K\rho°, \qquad (28)$$

где K — увеличение, b — базис в *км*, $\rho°$ — поле зрения в градусах. При увеличении 20X и поле зрения 2°,5 базис будет заключаться между 1 и 4 *км*. Точность измерения базиса составляет $\pm$ 10 *м*. Необходимо также знать географические координаты (φ, λ) обеих **корреспондирующих** пунктов A и B.

Наблюдать высоты телеметеоров надо в зените, но поля зрения каждого инструмента необходимо, очевидно, сместить навстречу друг другу, вдоль **параллактического круга**, так, чтобы оптические оси обеих инструментов пересекались на высоте около 100 *км* (средняя высота телеметеоров). Величина смещения от зенита составляет (в минутах)

$$\pi'_{ср} = 17',2b\ (км). \qquad (29)$$

Наведение инструментов производится по звездам в заранее избранные моменты. Для этого, а также для нанесения метеоров обоим наблюдателям необходимо иметь размеченную карту (рис. 8). Так как наблюдения производятся близ зенита, то потребуется полоса карты шириной $\rho^\circ + \pi_{ср}$ с центральной линией $\delta = \varphi$. Участки с прямым восхождением α будут равномерно проходить в поле зрения. Необходимо с учетом прецессии вычислить ряд зенитных точек, например, через 20^m. Через каждую зенитную точку под углом, равным азимуту базиса, проводится параллактический круг и на нем откладываются отрезки $\pi_{ср}$. Концы отрезков соответствуют центрам полей пунктов A и B.

Сами наблюдения производятся по согласованному между наблюдателями расписанию и заключаются в предельно внимательном и равномерном осмотре поля зрения. Заметив метеор, наблюдатель некоторое время запоминает его положение и параметры, а затем наносит его на карту и производит записи в журнале. Параметры таковы: №, T, m, ω, λ, τ, $(\pm)$, o, τ_s, m_s, z, примечания. Они не нуждаются в пояснениях (см. § 4), кроме Z — расстояние от точки фиксации глаза до метеора в момент его появления по перпендикуляру.

При наблюдениях следует соблюдать все общие правила организации наблюдений: правильное освещение, чередовать работу с отдыхом, тепло одеваться, иметь запасные принадлежности, часы и т. д.

Каждую десятую ночь наблюдатели с пунктов A и B проводят совместные наблюдения для исследования ошибок в нанесении, определении блеска, продолжительности и т. п. Время от времени наблюдатели меняются пунктами.

Первичная обработка наблюдений заключается в определении координат начала и концов метеора, отождествления метеоров, замеченных на пунктах A и B, перевода условных единиц параметров в абсолютные, измерения по карте параллакса метеора и составления каталога. Очевидно, что после определения параллакса π высота H находится так

$$\pi H = b. \qquad (30)$$

О дальнейшей интерпретации наблюдений рассказывается в более подробных руководствах [18].

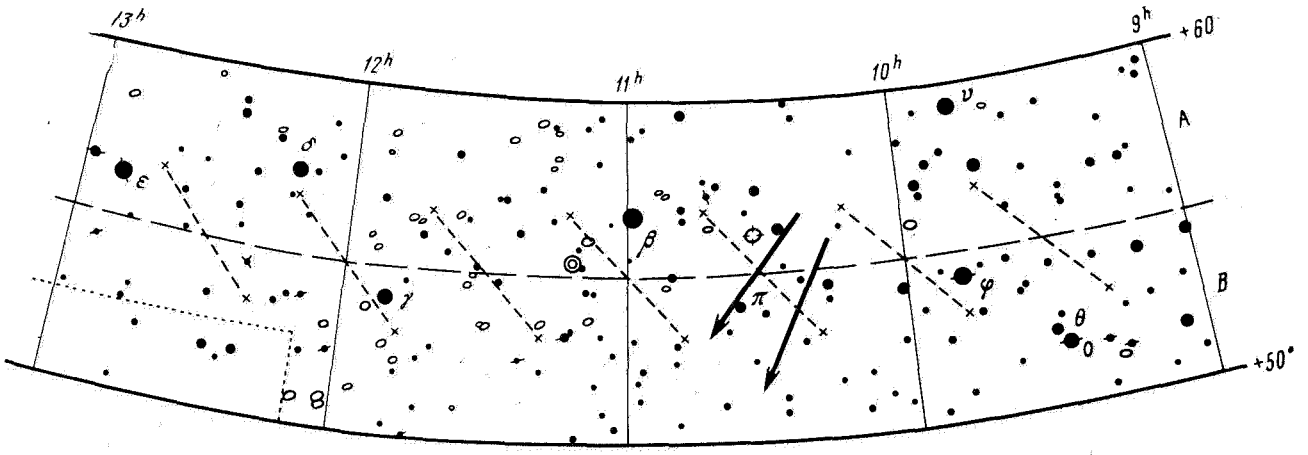

Рис. 8. Полоса карты для наблюдений высот телеметеоров. Атлас А. Бечвара. Область Большой Медведицы

7. НАБЛЮДЕНИЯ ДРЕЙФА МЕТЕОРНЫХ СЛЕДОВ

При полете ярких метеоров в атмосфере иногда остается светящийся **след** — состоящий из ионизованных газов. Простым глазом, след бывает, как правило, виден 2—3 секунды, но в бинокль или небольшой телескоп длительность следа доходит до нескольких минут. В течение этого времени след заметно смещается и теряет свою яркость. Смещение — **дрейф** следа — происходит под действием ветров в стратосфере и позволяет изучить их направление и скорость.

Метеорные следы можно наблюдать в любые светосильные трубы, имеющие большое (несколько градусов) поле зрения и небольшое (до 20 раз) увеличение. Хорошо зарекомендовали себя 10-кратный полевой бинокль, бинокуляр «Асемби», трубы ТЗК. Предназначенная для наблюдений следов труба должна быть установлена на прочном, удобном азимутальном штативе [19].

Техника наблюдений состоит в следующем. В момент пролета метеора наблюдатель замечает время и ищет след, начиная с наиболее яркой, обычно конечной точки. Это надо осуществить за 5—8 секунд. Как только след найден, наблюдатель осматривает его, замечает какой-нибудь узелок, ставит его в центр поля зрения и начинает следить за перемещением и изменением формы следа. Одновременно наблюдатель или его помощник должен заметить точку неба, на которую наведен инструмент. Это можно сделать двумя способами: сразу отметить азимут и зенитное расстояние; для этого инструмент должен быть снабжен кругами и отнивелирован, или запомнить звезды, видимые в поле зрения трубы, тогда азимут и зенитное расстояние можно будет впоследствии рассчитать. Первый способ проще, но требует дополнительного оборудования инструмента.

Опытные наблюдатели, хорошо ориентирующиеся в звездном небе, регистрируют дрейф следа, зарисовывая его через 20—25 секунд на звездной карте. Для этой цели необходим звездный атлас со звездами до 7—8 величины, например, большой «Звездный атлас» А. А. Михайлова, или атлас А. Бечвара. Однако операции со звездной картой в момент наблюдения требуют света, что отрицательно сказывается на зрении.

Рациональнее отмечать положение следа относительно центра поля зрения инструмента (рис. 9). Расстояние следа от центра L выражается в десятых долях поля зрения, а положение — позиционным углом P, который отсчитывается от вертикала центра поля зрения по часовой стрелке (для земного окуляра, дающего прямое изображение).

К записям прикладываются **зарисовки** следа, если они сделаны; в примечаниях указывается типичная форма следа.

Согласно А. П. Саврухину [20] существуют следующие основные формы следов: S — спиральный, C — искривленный, R — кольцо, L — полоска, B — сгусток-облачко, T — трубчатый. Особо

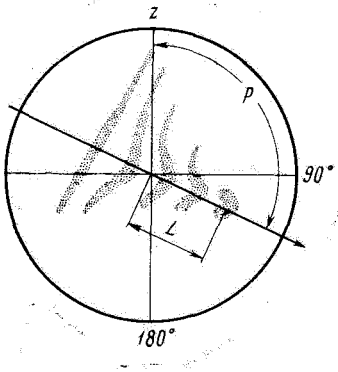

Рис. 9. Дрейф следа метеора относительно поля зрения трубы

отся турбулентные явления, резкие изгибы и изменения ления движения.

мя каждой отметки положения следа или каждого рисунка ге регистрируется по секундомеру, который был пущен в мо- юлета метеора, с точностью до 1 секунды. Наблюдения про- ются до момента исчезновения следа или до исчезновения его ицей поля зрения. Если желательно продолжить наблюдения, ду надо подвинуть за следом, строго отметив, на какую вели- в каком направлении она сдвинута, иначе измерения, сделан- сле сдвига, нельзя будет привязать к предыдущим. Пример- рма записи дрейфа следа показана ниже.

Наблюдения дрейфа следов метеоров

Общие сведения

Момент T	m	Поток	Положения центра поля зрения	P	L	Ширина следа	n_S	Примечания
мин 00 *сек*	—2	Персеид	2h 33m	+54°	250°	0,0	20	5	Трубчатый, в конце сгусток
10					250	0,2	25	5	
25					250	0,4	30	4	
40					250	0,6	35	4	

еорные следы можно наблюдать не только визуально, но и афировать малоформатными камерами на 35-миллиметровую . Особенно подходят для этой цели камеры с курковым взво- ом «Зенит-7», «Киев-5» и др. Камеру надо снабдить свето- м телеобъективом и установить на удобном штативе. Обяза- следует пользоваться тросиком и диоптром для быстрого ия. Экспозиция в зависимости от яркости следов и условий т 5—15 секунд при высокочувствительной пленке и должна пределена практически.

езультате наблюдений получается направление на след в на- й момент (азимут a и зенитное расстояние z) и румб дрейфа.

следа, определяемый позиционным углом P. Из этих данных можно определить направление и скорость дрейфа следа в атмосфере. При односторонних наблюдениях остается неизвестной высота следа H, поэтому ее обычно полагают равной 87 *км* (наиболее яркая часть). Дрейф следа при этом считается горизонтальным, что в общем верно для средних широт.

Направление и скорость дрейфа характеризуют западной v_w и южной v_s компонентами скорости. Они находятся следующим образом. Вычисляют сначала радиальную x и тангенциальную y составляющую скорости дрейфа по формулам

$$x = -H\Omega \frac{\cos P}{\cos^2 z}; \qquad y = H\Omega \frac{\sin P}{\cos z}, \tag{31}$$

где $H = 87$ *км*, Ω — **угловое** перемещение следа, выраженное в радианах в секунду.

Южная и западная компоненты получаются затем следующим образом:

$$v_s = x\cos a - y\sin a; \qquad v_w = x\sin a + y\cos a \tag{32}$$

Очевидно, что результирующая скорость дрейфа по обеим осям

$$v = \sqrt{v_s^2 + v_w^2} = \sqrt{x^2 + y^2}\ [км/сек]. \tag{33}$$

Существенный недостаток одностороннего метода наблюдения следов — неопределенность высоты, которая берется априорно, а также предположение о горизонтальности дрейфа, поэтому особую ценность имеют наблюдения следов одновременно с базисным фотографированием. Фотоснимок метеора дает положение и высоту траектории, к которой можно привязать наблюдения следов.

Имея много наблюдений дрейфа следов, можно построить диаграмму — «розу ветров», которая будет характеризовать распределение скоростей и направлений ветров в стратосфере над пунктом наблюдений за данный промежуток времени. Весьма важным является изучение ветров в стратосфере в течение круглого года, а также их суточного и широтного изменения [21].

8. ФОТОГРАФИРОВАНИЕ МЕТЕОРОВ

Фотографический метод дает наиболее точные данные о направлении, высоте, торможении, из которых можно получить данные об орбите и о свойствах метеора и атмосферы. Поэтому именно путем фотографических наблюдений можно получить весьма ценный научный материал. Всесторонняя обработка фотографий метеоров достаточно сложна, но нет необходимости производить ее самостоятельно. Полученный по правилам снимок может быть обработан специалистами. Получить фотографию метеора с одного пункта

тельно нетрудно, но гораздо более сложно получить полно-
), пригодную для обработки фотографию. Ниже мы рассмот-
тографирование метеоров из двух пунктов, на одном из кото-
тановлен **обтюратор** [6].

еор — очень быстро движущийся объект. С обычной аппа-
й можно снимать только сравнительно яркие метеоры, при-
до + 2 величины. Для фотографирования метеоров следует
ять светосильные камеры: с относительным отверстием не
1 : 2; 1 : 3, самые высокочувствительные фотопленки: 250—
ниц ГОСТ и наиболее энергичные проявители. Важной ха-
истикой объектива является его фокусное расстояние, от
висит масштаб изображения и, следовательно, точность из-
й. Наиболее целесообразны фокусные расстояния около
см.

бы сравнить достоинства объективов, можно пользоваться
ом эффективности фотокамеры для метеоров D^2/F, где D —
ие, а F — фокус объектива. При прочих равных условиях
тот объектив, у которого индекс больше. Кроме того, объек-
лжен быть достаточно широкоугольным, поле его изображе-
лжно быть не менее чем 45×45 градусов.

метеорной практике применяются аэрофотокамеры с объек-
«Ксенон», «Уран», «Гоир» любительские камеры типа «Люби-
«Салют». Аэрофотосъемочные камеры работают на рулонной
. Для любительской практики целесообразно переделать

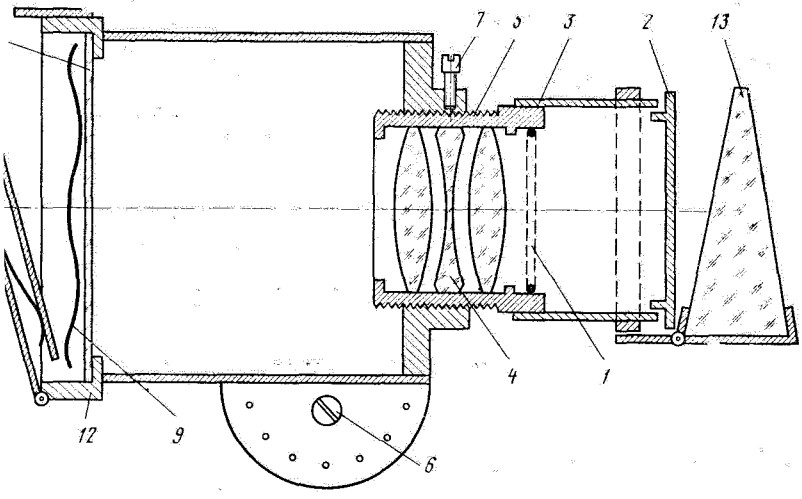

Схема устройства камеры для фотографирования метеоров

ода подогрева; *2* — крышка; *3* — противороспик; *4* — объектив; *5* — резьба
вки; *6* — винт крепления; *7* — стопор; *8* — прижимное стекло; *9* — фотоплен
прижимная пластинка; *11* — защелка крышки кассеты; *12* — корпус кассеты;
мная объективная призма

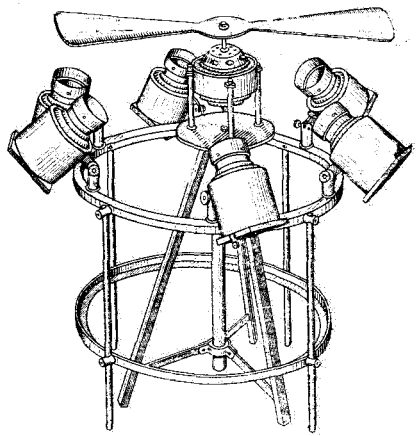

Рис. 11. Устройство фотографического метеорного патруля. Симферопольская метеорная станция

кассетную часть камеры под плоскую пленку и сделать постоянно закрепленную на камере кассету. Зарядку пленки в таком случае приходится вести в темном мешке, надеваемом на камеру. Рулонная пленка удобна, если есть оборудование для ее проявления.

Камера должна иметь прочные винты крепления, чтобы исключить возможность перемещения во время экспозиции. Фотокамера обязательно снабжается **противоросником**, который предохраняет от рассеянного света, и до некоторой степени от росы (рис. 10). При сильной влажности воздуха объективы запотевают. Чтобы этого не было, из подогревают. Система **подогрева** осуществляется в виде нескольких тонких параллельных проволочек, натянутых перед линзами объектива, по которым пускается низковольтный ток, или термостойких резисторов на несколько ватт. Особое внимание при подготовке следует уделить фокусировке камер.

Обработка негативных пленок (проявление, фиксирование и т. д.) производится обычным порядком. Обычно применяются энергичные проявители, например, проявитель Чибисова. Подготовку реактивов и весь процесс фотографической обработки необходимо вести со всей тщательностью.

Практика показывает, что один метеор можно заснять примерно за 5 часов экспозиции. Чтобы увеличить количество метеоров, фотографирование ведут одновременно на нескольких камерах, объединенных в **метеорный патруль**, устройство которого ясно на рис. 11. В патруле может быть 2, 4, 6 камер, при большем количестве камер, если они не автоматизированы, обслуживание их становится обременительным. Такой же патруль устанавливается и на **базисном** пункте.

Чтобы определить скорость метеора, фотографирование производится через **обтюратор**, т. е. вращающийся перед объективом сектор (рис. 12), на короткие промежутки закрывающий объективы камер. Метеор при этом получается с **перерывами**. Скорость враще-

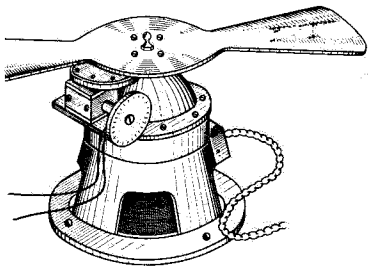

Рис. 12. Обтюратор со счетчиком числа оборотов

Через каждые 100 оборотов счетчик замыкает электрическую цепь. Интервалы между сигналами измеряются секундомером

оличество лопастей должны быть такими, чтобы обтюратор
)—75 перерывов в секунду. Рекомендуется делать обтюратор
астным, тогда вал обтюратора должен давать около
/*мин*, и перерывы будут резче.

нейшая задача — надежный **контроль** числа оборотов, так
должительность одного перерыва — основа для определения
и метеора. Постоянство скорости достигается включением
мотора через стабилизатор напряжения. Скорость враще-
кно определять различными способами. Например, на вал
ора надевается ротор генератора,— а частота тока измеряет-
ышленным измерителем частоты. Имеются стробоскопиче-
стотомеры, основанные на освещении вращающихся деталей
ременными вспышками газосветных ламп с известной ча-
Подобного типа стробоскоп легко изготовить и самостоя-
Наиболее надежным является счетчик оборотов, присоеди-
к валу обтюратора через 50—100-кратный редуктор. Счетчик
ределенное количество оборотов замыкает контакт сигналь-
пы, промежутки между вспышками измеряются секундоме-

ота обтюратора должна быть известна с точностью не менее
онтролироваться не менее двух раз за экспозицию.

определения высоты метеоров необходимо фотографировать
ух пунктов — A и B. Точность определения высоты зависит от
ы **базиса**: чем больше базис, тем больше **параллактический**
который входит в формулу определения высоты точек ме-
Практически лучше иметь базис, равный 20—25 *км*. При
авняется нескольким градусам. Важную роль играет направ-
азиса; выгоднее всего, когда метеоры летят перпендикулярно
му. Один базис не может быть пригодным для наблюдения
еорных потоков и возникает необходимость иметь несколько

овные сведения, которые надо знать о базисе, следующие:
еографические координаты: широту φ и долготу λ для обоих
A и B, с точностью до 2—3″;
ысоты над уровнем моря H_A, H_B;
зимут a_b и зенитное расстояние z_b направлений AB и BA,
стью до 1′;

4) длину базиса b с точностью до 0,1%.

Перечисленные сведения определяются методами геодезии.

В оборудование наблюдательного пункта должны, очевидно, входить помещения для хранения патруля и размещения электрооборудования, фотолаборатория, теплое помещение для наблюдателей, подводка тока (на обтюраторном пункте) и т. п. Метеорный патруль может иметь и переносную установку. Однако при систематических наблюдениях возникает необходимость в специальном павильоне (рис. 13). Лаборантское помещение может быть теплым, оно не должно сообщаться с отделением, где стоит патруль. Обтюратор и фотокамеры устанавливаются на разных фундаментах, чтобы избежать передачи вибрации. Камеры с обтюратором несколько приподнимаются над уровнем почвы, что предохраняет их от росы.

Организация фотографических наблюдений слагается из следующих мероприятий. Согласовываются направления камер, установленных на пунктах A и B, чтобы поля корреспондирующих камер покрывали одну и ту же площадь на высоте 100 *км*. Направления оптических осей камер должны быть согласованы тщательно, иначе **парных** фотографий не получится. Заметим, что камеры лучше направлять не в зенит, а наклонно, тогда площадь фотографируемого метеорного слоя будет больше. Согласовываются моменты начал, концов и продолжительности экспозиций, производящихся на пунктах A и B. Обычно одна пленка экспозируется 1—2 часа, в зависимости от яркости ночного неба. Более длительная экспозиция вызывает вуаль. Перезарядка камер длится несколько минут. За ночь, таким образом, можно сделать 3—4 экспозиции. Интервалы, когда камеры открыты, на пунктах A и B должны быть одни и те же.

Во время экспозиции через каждые 20—30 минут камеры перекрываются на 20—30 секунд, моменты начала и конца каждого пе-

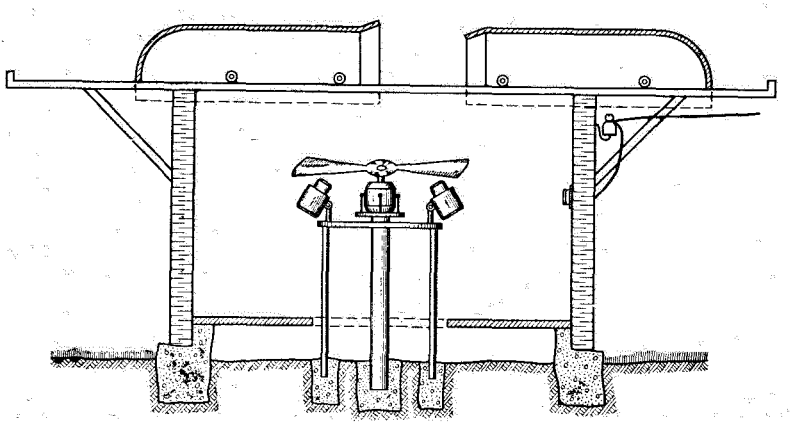

Рис. 13. Схема устройства павильона для метеорного патруля

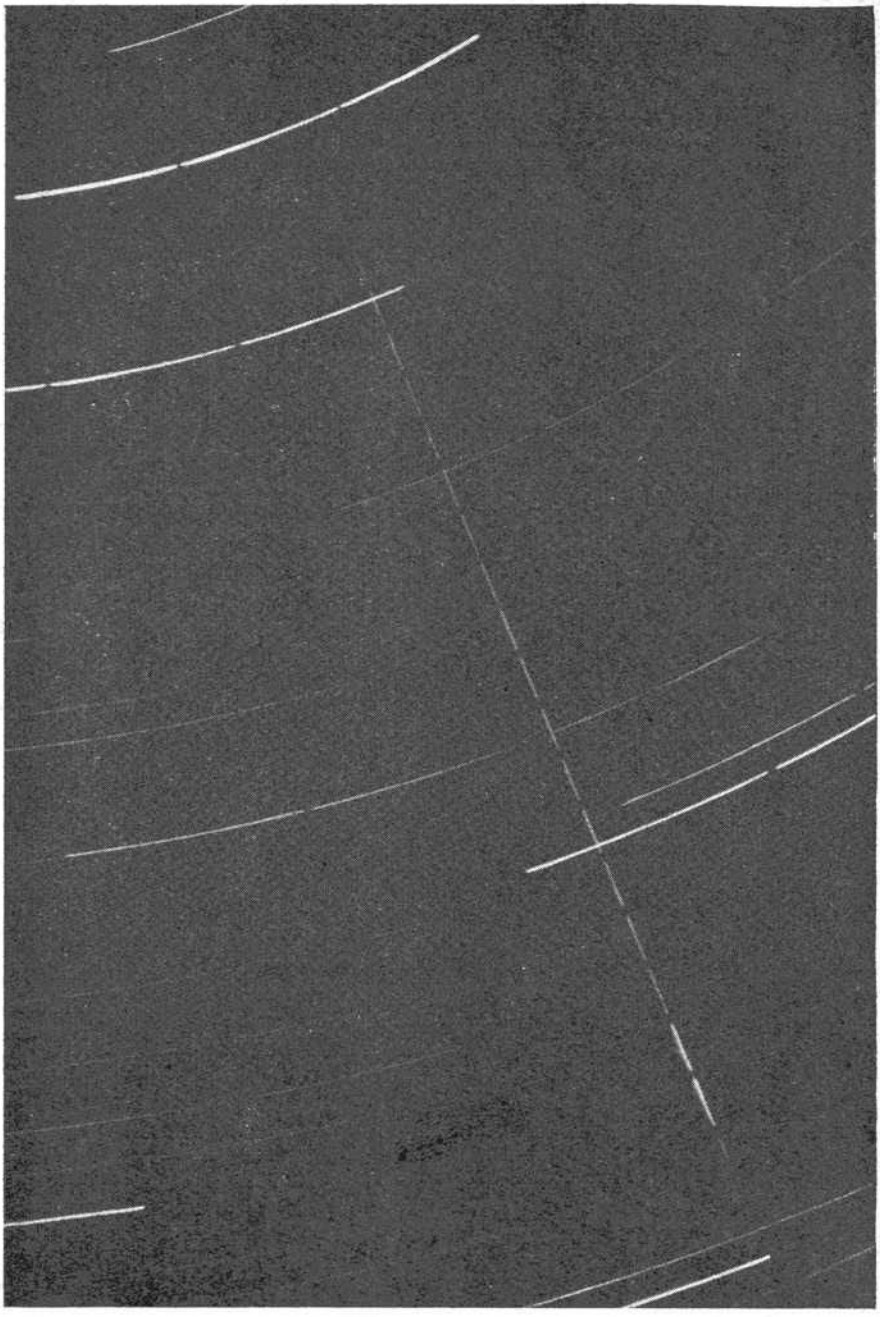

Рис. 14. Базисный фотоснимок метеора. Крымская станция ВАГО

рерыва тщательно регистрируются по часам с точностью до 1 секунды. При этом на фотографии на дугах звезд также получаются перерывы; они служат опорными точками при измерении негативов. Перекрывать надо сразу все камеры патруля; обычно это делается листом фанеры или специальными затворами. Перерывы на пунктах A и B производятся в одно и то же время.

Важнейшая проблема при фотографировании метеоров — определение **момента** пролета метеора. Если момент пролета неизвестен, то из фотографии нельзя будет получить положение метеора в экваториальной системе координат (α, δ), найти радиант и вычислить орбиту, однако высоты в этом случае определять можно. Момент T регистрируется наблюдателем, который непрерывно контролирует во время экспозиции фотографируемую область, отмечая момент, с точностью до секунды, и приблизительное положение всех ярких ($m < +1$) метеоров. Если камер много, контролировать должны несколько человек.

Е. Н. Крамер для определения момента предложил так называемый обтюратор переменного сечения. В нем имеется дополнительная подвижная лопасть, которая в течение экспозиции меняет свое положение относительно основных лопастей. Поэтому в каждый момент времени на снимке метеора бывает вполне определенный рисунок перерывов.

Еще одним способом определения момента является установка второй параллельной фотокамеры, медленно вращающейся около своей оптической оси с помощью часового механизма со скоростью примерно один оборот за экспозицию. Этот способ конечно требует удвоения числа камер в патруле и специальных монтировок.

Негативы, которых при работе патруля получается много, требуют четкой **маркировки**, во избежание путаницы при обработке. Мы рекомендуем на фотопленке с краю, перед ее закладкой в камеру или сразу же при разрядке делать простым мягким карандашом следующие записи: 1) пункт A или B, 2) дата ночи наблюдения, 3) номер экспозиции за ночь, 4) номер камеры.

После проявления и сушки на негативе тушью делается более подробная запись со ссылкой на журнал наблюдений. Журнал фотографирования, помимо общих сведений о наблюдениях, содержит данные, касающиеся самого фотографирования.

Практика показывает, что патруль из четырех-пяти камер могут обслужить два наблюдателя. Они перезаряжают камеры, начинают и кончают по согласованной программе экспозиции, производят перерывы, следят за скоростью обтюратора, подогревом камер и во время экспозиции контролируют область фотографирования. Оборудование пункта должно предусматривать возможность, чтобы во время контролирования наблюдатели находились в удобном положении, лучше всего лежа.

Одним из видов фотографических наблюдений метеоров является получение их спектров. Изучение и интерпретация метеорных спектров — задача очень сложная, но получение высококачествен-

Журнал фотографирования метеоров, пункт А

Дата 10 августа 1970 г.

Экспозиция № 4

начало: 2 *час* 30 *мин* 00 *сек*

конец: 4 *час* 31 мин 30 *сек*
(поправка часов + 45 *сек*)

Скорость обтюратора:

2 *час* 30 *мин* — 945 *об/мин*;
3 *час* 00 *мин* — 950 *об/мин*

Перерывы

1) от 3 *час* до 00 *мин*
до 3 *час* 00 *мин* 30 *сек*
2) от 3 *час* 29 *мин* 00 *сек*
до 3 *час* 29 *мин* 30 *сек*
3) от 4 *час* 01 *мин* 30 *сек*
до 4 *час* 02 *мин* 00 *сек*
4) от . . . . до . . . . .

Пролетевшие в области яркие метеоры

Момент T	m	Созвездие	№ камеры	Примечание
3 *час* 24 *мин* 17 *сек*	—2,5	Б. Медведица	3	Вспышка в конце

ного спектра доступно любителям. Спектр метеора получают при помощи **объективной призмы**, укрепленной перед объективом камеры. Одновременно с ним получаются спектры звезд, которые затем используются как эталонные спектры. Спектрографировать можно только метеоры, ярче 0^m величины.

Для спектрографирования метеоров применяются призмы с небольшими (от 10 до 30°) преломляющими углами, так как большой дисперсии у спектров метеоров получить нельзя вследствие их малой яркости и длительности. Вместо призм лучше применять для спектров метеоров дифракционные решетки или их реплики, так как они дают возможность получить одновременно со спектром и прямое изображение метеора.

Существенным при спектрографировании метеоров является ориентировка призмы или решетки. Очевидно, что наилучший спектр получится тогда, когда метеор пролетит параллельно преломляющему ребру призмы; тогда направление дисперсии будет перпендикулярно к линии полета метеора. Следовательно, ребро призмы надо располагать параллельно наиболее вероятному направлению полета метеоров, например, параллельно направлению на радиант. Однако при этом надо позаботиться также и о том, чтобы дисперсия была хотя бы приблизительно перпендикулярна к суточным параллелям звезд, чтобы и спектры звезд получились достаточно хорошими.

Камеры с призмами лучше всего расположить параллельно камерам патруля, чтобы получить фотографию и метеора и его спектра. Техника фокусировки, съемки, обработки и маркировки спектров та же, что и для обычных снимков метеоров.

9. ОБРАБОТКА ФОТОГРАФИЙ МЕТЕОРОВ[1]

Рассмотрим обработку фотографий метеоров с целью получения радианта, высот траектории, скорости и торможения. Ограничимся случаем, когда фотографии получены двумя неподвижными камерами с концов базиса, а момент известен из визуальных наблюдений. В более подробных руководствах рассматриваются более точные способы обработки [6, 22].

На каждой из парных фотографий, снятых из пунктов A и B, выбираются **опорные** звезды так, чтобы суточные дуги звезд пересекали фотографический след метеора или его продолжение. На фотографии, снятой с обтюратором (пункт A), берутся 5—6 звезд, на корреспондирующей фотографии — минимум 3 звезды. Опорные звезды сначала отождествляются по звездному атласу и затем их координаты α и δ берутся из какого-либо каталога [25].

Координаты опорных звезд, заимствованные из каталога, должны быть приведены к началу года наблюдений путем исправления за собственное движение и прецессию, а затем к моменту наблюдений по известным формулам сферической астрономии. Видимые координаты звезд на данный момент можно взять и из «Астрономического ежегодника СССР».

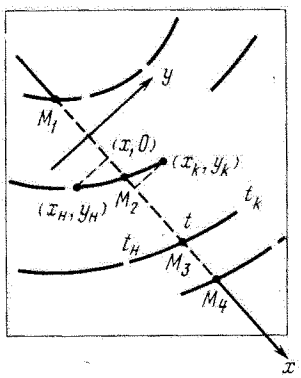

Рис. 15. Измерение фотографии метеора и определение координат опорных точек

Измерение фотографий метеора производится на измерительном приборе с двумя измерительными винтами. Ось x совмещается с фотографическим следом метеора. Измеряются концы обтюраторных отрезков метеора, начала и концы дуг суточных параллелей звезд и точки пересечения путей звезд со следом метеора. Эти точки на пути метеора называются **опорными** точками M_1, M_2, M_3, M_4 и т. д. (рис. 15). Для большей точности на каждую точку делается несколько наведений, из которых берется среднее. Можно производить измерение фотографии метеора линейкой или палеткой на увеличенном отпечатке (в 8—10 раз), но такие измерения менее точны.

[1] В этом параграфе использованы рекомендации А. Н. Симоненко.

Склонение δ опорной точки на пути метеора находится непосредственно, так как оно равно склонению звезды, пересекающей метеор. Часовой угол t находится следующим образом. Сначала вычисляются часовые углы начала $t_н$ и конца $t_к$ суточной параллели звезды. Это можно сделать, если известны моменты перерывов в экспозиции. При этом существенно, чтобы часовые углы на обеих пластинках A и B были отнесены к одной и той же системе координат: либо пункта A, либо пункта B. Очевидно, что системы часовых углов в пунктах A и B различаются на разность долгот.

Для определения часового угла опорной точки пользуются линейной интерполяционной формулой

$$\frac{t_н - t}{t - t_к} = \frac{x_н - x}{x - x_к} = \frac{y_н}{y_к}, \tag{34}$$

где $(x_н, y_н)$, $(x_к, y_к)$, $(x, 0)$ — измеренные на снимке координаты начала и конца суточной параллели и опорной точки.

Для дальнейшего выгодно по известным формулам сферической тригонометрии перевести экваториальные координаты опорных точек t и δ в горизонтальные: азимут a и зенитное расстояние z. При этом существенно, чтобы a и z опорных точек на обоих снимках были отнесены к системе координат какого-либо **одного** пункта, например A, и все дальнейшие подсчеты вести следует также относительно горизонта и зенита этого пункта.

По двум любым точкам метеора M_1 и M_2 можно написать уравнение большого круга, по которому по небесной сфере двигался метеор

$$\operatorname{ctg} z_2 \sin(a_1 - a) + \operatorname{ctg} z_1 \sin(a - a_2) + \operatorname{ctg} z \sin(a_2 - a_1) = 0. \tag{35}$$

Оно полезно как контроль правильности нахождения опорных точек.

Радиант метеора представляет собой точку пересечения больших кругов этого метеора на фотографиях A и B. Для его нахождения надо решить систему двух уравнений больших кругов пути метеора, видимого из пунктов A и B. Для облегчения вычислений приведем уравнение (35) к линейному виду. Введем вспомогательные координаты (параметры)

$$p = \operatorname{tg} z \cos a, \quad q = \operatorname{tg} z \sin a. \tag{36}$$

Тогда система уравнений больших кругов метеоров запишется так:

$$\begin{aligned} p(q_2 - q_1) - q(p_2 - p_1) &= p_1 q_2 - q_1 p_2, \\ p(q'_2 - q'_1) - q(p'_2 - p'_1) &= p'_1 q'_2 - q'_1 p'_2 \end{aligned} \tag{37}$$

где p_i и q_i соответствуют опорным точкам на фотографии A, а p'_i и q'_i — на фотографии B. Найдя $p = p_R$ и $q = q_R$, по формулам (36) определяем горизонтальные координаты радианта a_R и z_R и, если необходимо, экваториальные t_R и δ_R. Если известен момент пролета

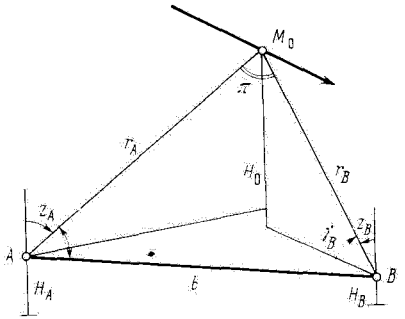

Рис. 16. Определение высоты некоторой точки на траектории метеора

метеора (по звездному времени) s, то можно найти прямое восхождение радианта $\alpha_R = s - t_R$. Отметим, что время s берется для того пункта, к системе которого относятся a и z, участвующие в уравнениях (37).

Возьмем на фотографии метеора из пункта A некоторую точку M_A с координатами (a_A, z_A) или (p_A, q_A) и найдем **одновременную** точку M_B на фотографии, снятой с пункта B. Очевидно, что параллактическое смещение происходит по большому кругу, плоскость которого проходит через концы базиса и точку M_A. Направление базиса $A \rightarrow B$ характеризуется точкой на небесной сфере M_b с координатами (a_b, z_b) или (p_b, q_b). Напишем уравнения параллактического круга, проходящего через точки M_A и M_b, и большого круга метеора, наблюдающегося из пункта B:

$$p(q_A - q_b) - q(p_A - p_b) = p_b q_A - q_b p_A,$$
$$p(q'_2 - q'_1) - q(p'_2 - p'_1) = p'_1 q'_2 - q'_1 p'_2. \qquad (38)$$

Точка пересечения этих больших кругов будет искомой точкой M_B с координатами $p = p_B$, $q = q_B$ или (a_B, z_B). Таким образом, мы нашли направление на опорную точку из пункта B.

Пусть на рис. 16 A и B — пункты наблюдения, расстояние $AB = b$ — базис. Пункты находятся на некоторых высотах над уровнем моря H_A и H_B. Величина H_0 — высота опорной нулевой точки траектории метеора над плоскостью горизонта пункта A. Координаты направлений AM_0 и BM_0 мы уже нашли.

Определим параллактический угол π и вспомогательные углы γ_A и γ_A, необходимые для нахождения высоты H_0

$$\cos\gamma_A = \cos z_A \cos z_b + \sin z_A \sin z_b \cos(a_A - a_b),$$
$$-\cos\gamma_B = \cos z_B \cos z_b + \sin z_B \sin z_b \cos(a_B - a_b),$$
$$\pi = 180^\circ - \gamma_A - \gamma_B. \qquad (39)$$

Находим r_A и r_B расстояния до точки M_0 от пунктов A и B

$$r_A \sin\pi = b \sin\gamma_B, \qquad r_B \sin\pi = b \sin\gamma_A. \qquad (40)$$

После этого, обозначив $H_B - H_A = \Delta H$, имеем с контролем

$$H_0 = r_A \cos z_A = r_B \cos z_b + \Delta H. \qquad (41)$$

К. П. Станюковичем и В. В. Федынским было показано, что высоту любой точки метеора H_i можно найти по следующей формуле: характерному для снимков дробнолинейному соотношению

$$\frac{H_i}{H_0} = \frac{p_0 - p_R}{p_i - p_R} = \frac{q_0 - q_R}{q_i - q_R}, \qquad (42)$$

где p_0, q_0 — вспомогательные координаты точки M_0, высота которой H_0, p_R, q_R — параметры, соответствующие радианту, p_i, q_i — параметры произвольной точки метеора на фотоснимке с одного из пунктов. Обычно определяются высоты точек обтюраторных перерывов. Так как число перерывов бывает велико, то непосредственное определение q_i и p_i для каждого перерыва без счетной машины становится трудоемкой задачей. Для ее облегчения составляется интерполяционная формула p, $q = f(x)$, которая дает функциональную зависимость между измеренной вдоль фотографического следа координатой x и параметром (на снимке A). Достаточно применять квадратичную интерполяционную формулу, хотя можно взять полином и более высокой степени

$$p, q = f(x) = a + bx + cx^2 + dx^3 + \ldots \qquad (43)$$

Значения x и $f(x)$ известны для нескольких опорных точек вдоль метеора, поэтому, составив систему условных уравнений и решив ее **методом наименьших квадратов** относительно a, b, c, . . ., можно определить эти числовые коэффициенты. Можно интерполяционную функцию задать в дробнолинейном виде или представить графически.

Найденные затем по формуле (42) высоты относятся к горизонту пункта A. Чтобы найти высоту над уровнем моря, надо к найденным значениям H прибавить H_A и поправку на **кривизну** Земли, которая находится по формуле

$$\delta H = \frac{(r \sin z)^2}{2 \cdot 6375} \text{ [км]}, \qquad (44)$$

где $r \sin z$ — проекция расстояния r до некоторой точки метеора на плоскость горизонта, а 6375 *км* — средний радиус Земли. Строго говоря, δH надо определять для каждой точки метеора, но можно ограничиться вычислением ее для нулевой точки M_0, так как проекция траектории метеора на земную поверхность редко превышает 25—30 *км*.

Зная высоты перерывов, находим длину l_i каждого отрезка. Если период, в течение которого обтюратор делает один перерыв, известен и равен τ *сек*, то скорость на данном отрезке равна v_i

$$l_i = (H_i - H_{i+1}) \sec z_R = v_i \tau. \qquad (45)$$

По приведенной выше схеме мы имеем возможность построить график **зависимости скорости от высоты**, что является в данном случае конечным итогом обработки [22]. Эта зависимость представляет собой важную и ценную геофизическую характеристику. Торможение метеора в атмосфере можно найти, вычислив первые разности скорости в зависимости от времени. Из полученных данных определяются параметры атмосферы и вычисляются орбиты метеорного тела, его масса, плотность и др.

Изложенный выше метод обработки метеорных фотографий не единственный. Возможны отличные схемы измерений и вычислений. Иногда могут возникать и другие случаи обработки фотографий, например, обработка снимков, сделанных **подвижными** камерами, **односторонних** снимков и т. д. С ними можно ознакомиться в подробных руководствах [15, 6, 22].

10. НАБЛЮДЕНИЯ БОЛИДОВ

Болидом называется очень яркий метеор, условно ярче — 5^m, который имеет вид **огненного шара**, при полете привлекает внимание случайных очевидцев, ночью сильно освещает местность. Часто болид заканчивается взрывообразным дроблением. За болидом обычно тянется мощный пылевой след. Спустя некоторое время после пролета наблюдатель слышит гул, грохот, удары; иногда ощущается сотрясение почвы. Все это — результат действия **баллистической** волны, вызванной сверхзвуковым движением крупного тела в атмосфере. Мощные болиды заканчиваются падением **метеоритов.** Исследование обстоятельств падения метеоритов на землю является самостоятельной задачей, и мы ее здесь не рассматриваем [23].

Характерным для наблюдений болидов является то, что их свидетелями оказываются случайные неподготовленные **очевидцы** и сбор наблюдательного материала сводится к **опросу** свидетелей. Территория, на которой виден яркий болид, имеет зачастую поперечник 400—500 *км*. Это делает вопрос свидетелей трудной задачей. Самым надежным способом сбора сведений является личный опрос очевидцев на месте наблюдения, но технически это полностью невыполнимо. Поэтому выявление наблюдателей и получение от них материалов частично производится путем переписки; привлекаются печать, радио, почта, местные научные организации. Необходимые для переписки с местными корреспондентами анкеты, инструкции, листовки можно получить в Комитете по метеоритам АН СССР.

Вопросы наблюдателям приходится ставить развернуто, подробно иногда в косвенной форме, учитывая **психологию** свидетельских показаний. Из каждого пункта наблюдений желательно получить следующие сведения о видимой траектории болида.

Прежде всего устанавливаются дата, время и продолжительность полета болида; какое время употребляется, какова точность

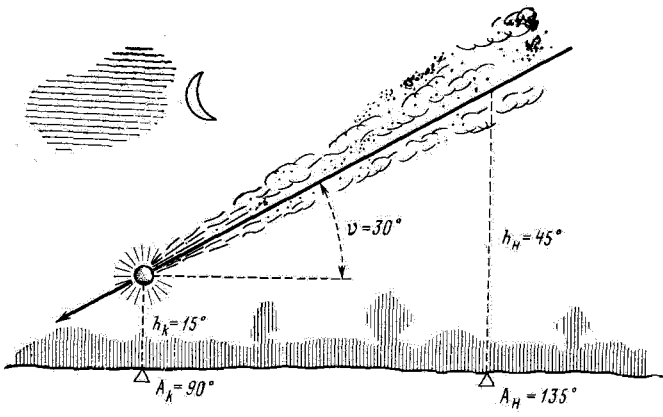

Рис. 17. Элементы видимой траектории болида

оценки момента; каким образом оценена продолжительность движения. При этом следует учитывать, что очевидцы лучше запоминают день недели, чем число месяца. Выясняя длительность, следует попросить свидетеля повторить свои действия в момент наблюдения и заново их прохронометрировать.

Для определения траектории болида необходимо знать положение **видимой** на небе **траектории** из каждого пункта. Выгодно, чтобы пункты наблюдения охватывали траекторию болида со всех сторон. Видимый путь болида определяется или горизонтальными координатами точек начала и конца ($a_н$, $h_н$), ($a_к$, $h_к$), или положением одной точки и наклоном (υ) видимой траектории к горизонту (рис. 17). При личном опросе эти величины можно замерить по показаниям свидетелей эклиметром и компасом. Когда опрос ведется заочно, следует просить наблюдателя выслать чертеж, подобный рис. 17, с указанием на нем точек горизонта и угловых высот; необходимо также указать **справа налево**, или наоборот, летел болид. Существенно, чтобы наблюдатель отметил, видел ли он начало и конец болида, или они экранировались местными предметами.

Наиболее распространенными **ошибками** очевидцев являются измерение угловых величин в линейных мерах, интуитивные оценки высоты болида, азимута его движения (курса), расстояния до болида. Следует отметить, что обычно наблюдатели точно запоминают наклоны υ, хуже угловые высоты и совсем плохо азимуты. Очень надежно регистрируется случай, когда болид движется вертикально.

Представляет интерес оценка формы и угловых размеров головы болида, так как голова болида, по-видимому, определяется не только иррадиацией, но и величиной светящейся части ударной волны.

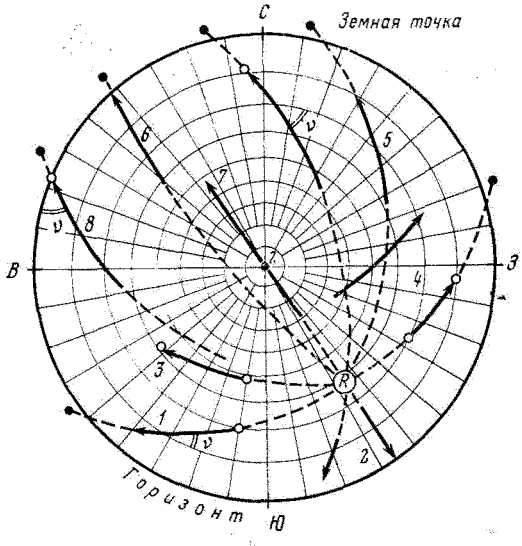

Рис. 18. Построение траекторий болида и нахождение радианта R и земных точек на стереографической сетке

Определяя физические характеристики болида, следует обратить внимание на следующие факты: имел ли болид хвост, отделялись ли в процессе полета искры, произошли ли вспышки и дробление в конце.

Очень важно тем или иным способом, хотя бы грубо, оценить яркость болида, чтобы затем по формулам (11), (12) ориентировочно прикинуть массу метеорного тела. Болид сравнивается с Солнцем, Луной, Венерой, лампами известной мощности. Порядок освещенности указывают подвижные тени от болида и освещение местности. Иногда наблюдатели ощущают тепловое излучение болида. Цвет болида сравнивается с цветом зари, Солнца, электросварки и т. п.

О расстоянии и о высоте болида свидетельствуют сопровождающие его **звуковые** явления. Двигаясь со скоростью звука, баллистическая волна достигает наблюдателя обычно через несколько минут после видимости болида. Это время желательно определить.

Следует также хотя бы качественно оценить интенсивность звуков и выяснить наличие **механических** явлений: сотрясений почвы, построек, дребезжания стекол и т. п.

В редких случаях одновременно с полетом болида наблюдаются электрофонные звуки: гудение, жужжание, шипение, свист. Эти звуки, по-видимому, вызываются электростатическим зарядом, наведенным мощным метеором.

После болида остается продолжительным пылевой след, образующий обычно характерное облачко в **точке задержки**. Для следа определяют продолжительность его существования, которая может превышать час, а также направления дрейфа, цвет, характерные изменения формы.

В случае падения метеорита предпринимаются самые энергичные меры к выявлению, сбору и сохранению космического вещества. О случившемся необходимо срочно сообщить в Комитет по метеоритам Академии наук СССР.

Рассмотрим методику определения траектории болида [24], которую важно знать, чтобы определить место предполагаемого падения метеоритов и выяснить потенциальные пункты наблюдения. Нахождение траектории сводится к определению: 1) радианта, 2) земной точки и 3) точки задержки.

Для нахождения радианта на **стереографической** сетке строятся большие круги траекторий, видимых из разных пунктов (рис. 18). Стереографическая сетка в этом случае выгоднее гномонической, так как изображает всю полусферу от зенита до горизонта и сохраняет углы без искажения. Большие круги на ней изображаются окружностями.

Видимые траектории можно построить (см. рис. 18) либо по двум точкам (№ 3, 4), либо по точке и наклону (№ 1, 8), либо по азимуту при вертикальном движении у горизонта (№ 2, 7), либо по направлению и указанию о пролете через зенит (№ 6, 7). Ввиду малой точности наблюдений можно считать, что замеры в разных пунктах отнесены к одному зениту и меридиану. По этой же причине не следует смущаться очень большими невязками. Случайные наблюдатели могут давать грубые ошибки.

За радиант следует принять центр площади пересечений продолжения видимых траекторий. Графическое построение обычно полностью исчерпывает точность наблюдений и проводить уравнительные вычисления не имеет смысла. Они целесообразны, если только число наблюдений превышает сто, или если речь идет об определении радианта метеорита.

Для нахождения земной точки продолжим на стереографической сетке (рис. 17) траектории до пересечения с горизонтом (№ 4, 5) и измерим азимуты $a_з$ этих точек. Нетрудно показать, что эти азимуты являются направлениями из каждого пункта на точку траектории с высотой $H = 0$, т. е. на земную точку. Строго говоря, за счет кривизны земной поверхности эти направления располагаются несколько ниже горизонта, но это надо учитывать только при очень ответственных, или многочисленных наблюдениях.

Если на плане местности из каждого пункта наблюдений провести направления $a_з$, то место их пересечения в пределах точности наблюдений определит искомую земную точку. Разброс за счет ошибок обычно бывает довольно значительным. В случае необходимости земная точка находится методом наименьших квадратов. Кстати, по радианту и земной точке, на стереографической сетке

можно построить **теоретические** видимые траектории для каждого пункта и сравнить их с наблюденными.

Построив на карте местности **проекцию** траектории, можно приступить к отысканию каких-либо интересных точек на траектории болида. В подавляющем числе случаев очевидцы уверенно замечают точку задержки, где происходит дробление и остается долгоживущий сгусток следа. Азимуты этих точек снимаются со стереографической сетки и строятся на плане местности. Полученные таким образом засечки на проекции траектории дают представление о положении точки задержки.

Предполагаемое место падения метеоритов должно лежать между земной точкой и проекцией точки задержки. Поэтому необходимо навести справки в расположенных там населенных пунктах о возможных находках метеоритов.

Главные метеорные потоки северного полушария

Поток	Дата максимума	Координаты радианта		Длительность (сутки)	v_g (км/сек)	N_h
		α	δ			
Квадрантиды	3.I	15^h4	+50°	4	41	50
Южн. Короиды	16.III	16,3	—48	5	—	5
Виргиниды	20.III	12,7	0	25	30	5
Лириды	21.IV	18,1	+32	6	48	5
η-Аквариды	4.V	22,4	0	20	64	20
Офиухиды	20.VI	17,3	—20	10	—	20
Каприкорниды	25.VII	21,0	—15	25	—	20
β-Кассиопеиды	27.VII	23,7	+60	7	—	10
Южн. δ-Аквариды	29.VII	22,6	—17	25	41	20
Сев. δ-Аквариды	29.VII	22,6	0	30	41	10
Южн.-Писциды	30.VII	22,7	—30	35	—	20
Каприкорниды	1.VIII	20,6	—10	35	23	5
Южн. *i*-Аквариды	5.VIII	22,5	—15	30	35	10
Сев. *i*-Аквариды	5.VIII	20,0	— 6	30	30	10
Персеиды	12.VIII	3,1	+58	20	60	50
κ-Цигниды	20.VIII	19,3	+55	5	26	5
Ориониды	21.X	6,3	+15	8	66	20
Южн. Тауриды	1.XI	3,5	+14	30	29	5
Сев. Тауриды	1.XI	3,6	+21	40	30	5
Леониды	16.XI	10,1	+22	7	72	5
Гемениды	13.XII	7,5	+32	7	35	50
Урсиды	22.XII	14,5	+80	7	34	15

N_h — примерное часовое число в максимуме.

Анкета наблюдения болида

1. Дата: год, месяц, число, день недели и время (указать московское или местное) . . . . . .
2. Место наблюдения: область, район, населенный пункт . . . . . .
3. Наблюдатель: фамилия, имя, отчество (разборчиво), профессия . . .
4. Почтовый адрес наблюдателя . . . . . .
5. Продолжительность полета . . . . . .
6. Движение болида по небу, где появился и исчез (на юге, севере, юго-востоке и т. п., каков азимут и угловая высота начала и конца) . . .

Рисунок видимого пути болида по небу

7. Угловые размеры головы болида по сравнению с Луной, Солнцем. Форма головы болида, ее изменения (нарисуйте рисунок головы) . .

Рисунок головы болида

8. Дробление и искры . . . . . .
9. Цвет болида . . . . . .
10. Яркость болида по сравнению со звездами, Луной, Солнцем, освещение местности . . . . . .
11. След болида: цвет, изменения, длительность . . . . . .
12. Звуковые явления . . . . . .
13. Состояние погоды, облачность . . . . . .
14. Дополнительные сведения . . . . . .

Подпись . . . . . .

Заполненную анкету надлежит послать по адресу:

Москва, 117313, ул. Марии Ульяновой, д. 3, корп. 1, Комитет по метеоритам Академии наук СССР

ЛИТЕРАТУРА

1. *В. В. Федынский.* Метеоры. Гостехиздат, 1956.
2. *Б. Ловелл.* Метеорная астрономия. Физматгиз, 1958.
3. *Д. Мак-Кинли.* Методы метеорной астрономии. Изд-во «Мир», 1964.
4. *В. В. Мартыненко.* Задачи и методы любительских наблюдений метеоров. Изд-во «Наука», 1967.
5. *А. Д. Дубяго.* Определение орбит. Гостехиздат, 1949.
6. *Л. А. Катасев.* Исследования метеоров в атмосфере Земли фотографическим методом. Гидрометеоиздат, 1966.
7. *П. Г. Куликовский.* Справочник любителя астрономии. Изд-во Наука», 1971.
8. *Б. Ю. Левин.* Физическая теория метеоров и метеорное вещество в Солнечной системе. Изд-во АН СССР, 1956.
9. *Е. Н. Крамер.* Кометные радианты и связь метеорных потоков с кометами.— Изв. Астр. обсерв. Одесского ун-та, 1953, т. III.
10. *И. С. Астапович.* Основной каталог метеорных радиантов XIX века. Изд-во АН Туркм. ССР, 1956.
11. Астрономический календарь (постоянная часть), изд. 5. Физматгиз, 1962.
12. *А. Бечвар.* Атлас неба 1950. Прага, 1957.
13. *А. Д. Марленский.* Учебный звездный атлас. Изд-во «Просвещение», 1971.
14. *А. А. Михайлов.* Звездный атлас (до $5^m.5$). Изд-во АН СССР, 1965.
15. *И. С. Астапович.* Метеорные явления в атмосфере Земли. Физматгиз, 1958.
16. *Р. Л. Хотинок.* О наблюдениях численности метеоров.— Астрон. календарь, 1958; Астрон. календарь, 1963.
17. *А. Н. Чигорин, В. И. Цветков.* Определение плотности метеорного потока Дельта-Акварид.— Бюлл. ВАГО, 1964, № 35.
18. *К. А. Любарский, И. Н. Латышев.* Телеметеоры.— Труды Физико-техн. ин-та АН Туркм. ССР, 1963, т. VIII.
19. *В. П. Цесевич.* Что и как наблюдать на небе. Физматгиз, 1963.
20. *А. П. Саврухин.* Морфология метеорных следов.— Бюлл. ВАГО, 1964, № 35.
21. *В. В. Федынский.* Результаты наблюдений метеорных следов.— Астрон. журнал, 1944, 21, № 6.
22. *А. Н. Симоненко.* Обработка фотографий метеоров. Изд-во АН СССР, 1963.
23. *Е. Л. Кринов.* Инструкция по наблюдению падений, поискам и сбору метеоритов. Изд-во АН СССР, 1950.
24. *И. Т. Зоткин.* Определение траекторий болидов.— Бюлл. ВАГО, 1960, № 26(33).
25. *А. А. Михайлов.* Звездный атлас (до $8^m.25$). Изд-во «Наука», 1969.
26. *Б. Л. Кащеев, В. Н. Лебединец, М. Ф. Лагутин.* Метеорные явления в атмосфере Земли. Изд-во «Наука», 1967.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Организация наблюдений метеоров 3
2. Сведения о движении и свечении метеоров 7
3. Нанесение метеоров на карту и определение радиантов 12
4. Программа-максимум 16
5. Регистрация численности метеоров 20
6. Наблюдения телескопических метеоров 26
7. Наблюдения дрейфа метеорных следов 31
8. Фотографирование метеоров 33
9. Обработка фотографий метеоров 42
10. Наблюдения болидов 46

Приложения

Главные метеорные потоки северного полушария 51
Анкета наблюдений болида 52

Литература 53

Игорь Тимофеевич Зоткин

НАБЛЮДЕНИЯ МЕТЕОРОВ

Утверждено к печати
Центральным советом Всесоюзного
астрономо-геодезического общества
при Академии наук СССР

Редактор *Л. В. Кудрявцева*
Художник *А. А. Кущенко*
Технические редакторы *А. М. Сатарова*,
Л. Н. Золотухина

Сдано в набор 26/IV 1972 г. Подписано к печати
20/VII 1972 г. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага № 1.
Усл. печ. л. 3,5. Уч.-изд. л. 3,2. Тираж 3350.
Т-13015. Тип. зак. 512. Цена 22 коп.

Издательство «Наука»
Москва К-62, Подсосенский пер., 21

2-я типография издательства «Наука»
Москва Г-99, Шубинский пер., 10