

УДК 523.68

НОВЫЙ ПОДХОД В ОПРЕДЕЛЕНИИ ЯРКОСТЕЙ МЕТЕОРОВ¹*Багров А. В.², Леонов В. А.³*

A NEW APPROACH TO METEOR PHOTOMETRY

Bagrov A. V., Leonov V. A.

Up today meteor observers use visible meteor brightness at its maximum as it seems to be equal to a star brightness that looks as bright as meteor. Besides that such estimation is subjective one, it has not real connection nor with photometric properties of meteor light event nor its energetic characteristics.

The care analysis of photometric information contained in these registration shows that valuable parameters are total radiated energy and its dependence on time. It is shown that visible meteor brightness determined as instant light flux in the registration point has errors up to 7^m as well as obtained by traditional methods meteor dependences on their brightness. Recommendations for meteor observations data are proposed.

Keywords: meteor, meteoroid, meteor brightness, meteor TV-observations.

1. Яркость метеоров

Основной задачей фотометрии метеоров является построение кривой блеска, на основании которой в дальнейшем вычисляются массы метеорных тел и определяется характер их абляции. При этом проводить фотометрическую обработку метеоров можно только с использованием оценки фотометрии звезд, зарегистрированных телевизионной системой на тех же кадрах, на которых зарегистрированы метеорные события.

В данной работе не ставится задача исследовать методику измерения звездных величин звезд сравнения, а рассматривается лишь вопрос о вычислении точных значений текущей яркости метеора в энергетических единицах и о получении наиболее оптимальных технических характеристик телевизионных цифровых систем. Статистические ошибки (флуктуации квантового потока, турбулентность атмосферы, внутренние шумы телевизионных систем) в данной работе не рассматриваются.

Пусть $i_m(t)$ — светимость метеора (фотон/с), $I_m(t)$ — освещенность от метеора (фотон/с см²), $R(t)$ — расстояние до метеора (см), ω_m — угловая скорость метеора (радиан/сек), τ_m — эффект. экспозиция одного метеора в элементе разрешения (сек), τ_* — экспозиция одного кадра (с), d — диаметр объекта (см), F — фокусное расстояние объекта (см), q — размер элемента разрешения приемника и объекта (см), — далее для простоты «пиксель».

Длина метеора в кадре, число элементов, из которых он состоит, и эффективная экспозиция метеорного изображения в элементе разрешения связаны между собой следующими простыми выражениями: $l = \tau_* \omega_m F$ — длина метеора в кадре, $n = \frac{\tau_* \omega_m F}{q}$ — число элементов, на которых отображается метеорный трек, $\tau_m = \frac{\tau_*}{n} = \frac{q}{\omega_m F}$ — эффективная экспозиция метеора в элементе разрешения.

Освещенность от источника, согласно определению, есть отношение светового по-

¹Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (11-02-00203, 12-02-31067) и Программы № 22 фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные проблемы исследований и освоения Солнечной системы».

²Багров Александр Викторович, д-р физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник отдела исследования Солнечной системы Института астрономии РАН; e-mail: abagrov@inasan.ru.

³Леонов Владислав Александрович, канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник отдела исследования Солнечной системы Института астрономии РАН; e-mail: leonov@inasan.ru.

тока, падающего на поверхность, к площади этой поверхности. В случае изотропного свечения метеора имеем:

$$I_m = \frac{i_m(t)}{4\pi R^2(t)}.$$

Световой поток A от метеора, собираемый объективом камеры, — это произведение освещенности от метеора (в полосе регистрации) на площадь апертуры телевизионной камеры S , т.е.

$$A = I_m S = I_m \frac{\pi d^2}{4} = \frac{i_m(t)}{4\pi R^2(t)} \frac{\pi d^2}{4} = \frac{i_m(t) d^2}{16R^2(t)}.$$

Число фотонов N_m , собранных на элемент разрешения (единичный пиксель) от метеора, есть произведение светового потока на время экспонирования метеора в пикселе

$$N_m = A\tau_m = I_m \frac{\pi d^2 \tau_m}{4} = \frac{I_m \pi d^2 \tau_m q}{4\omega_m F}.$$

Аналогично для звезды число фотонов N_* , собранных на элемент разрешения (единичный пиксель), составит

$$N_* = A\tau_* = \frac{I_* \pi d^2 \tau_*}{4}.$$

Учитывая, что сигнал в пикселе приемника излучения пропорционален числу фотонов, получаем, что отношение интегральных яркостей для точки в метеорном следе, имеющем угловую скорость ω_m , и неподвижной звезды для некоторой телевизионной метеорной камеры со временем экспозиции, равным τ_* , будет

$$\frac{N_m}{N_*} = \frac{I_m}{I_*} \frac{q}{\omega_m F \tau_*}.$$

Таким образом, если в телевизионном кадре освещенности в пикселе от звезды и от метеора одинаковы ($N_m = N_*$), то яркость звезды⁴ оказывается выше яркости метеора в $q^{-1}\tau_*\omega_m F$ раз. Параметры $\{q, \tau_*, F\}$ являются параметрами регистрирующего фотоприемного устройства, а ω_m — индивидуальным параметром метеора (при $\omega_m = q(\tau_* F)^{-1}$ изображение метеора не выходит из элемента разрешения приемника, и весь коэффициент $q^{-1}\tau_*\omega_m F$ равен 1).

2. Методы наблюдения метеоров и возможные оценки их яркости

При визуальных наблюдениях метеоров можно рассматривать человеческий глаз в качестве «регистрирующего фотоприемного устройства». Для него можно принять $q/F \approx 1/1500$ (при условии, что угловое разрешение глаза $2'$ дуги), а $\tau_* \approx 0,06$ с. Эти параметры практически одинаковы у всех людей, поэтому при визуальных наблюдениях метеоров все наблюдатели одинаково оценивают яркость метеора по сравнению с окрестными звездами. Именно это обстоятельство дало основание принимать яркость метеора равной яркости рядом расположенной звезды, которая по ощущению наблюдателя имеет такую же яркость, как и метеор. В тех случаях, когда наблюдаются метеоры одного потока, их скорости тоже близки, и данные визуальных наблюдений позволяют получать характерные распределения численности метеоров по яркости. Но если сравнивать метеоры с разными угловыми скоростями, то получаемое для них распределение будет искажено ошибками измеренных яркостей. Вероятно, именно этим объясняется различие в распределениях численности спорадических (с самыми разными скоростями) и поточных (с одинаковыми скоростями) метеоров.

Несколько иная картина будет при оценке яркости метеора, зарегистрированного телевизионными камерами. В патрульных метеорных камерах, применяемых в ИНАСАН, используются сверхсветосильные объективы Computar HG0608AFCS-HSP ($F = 6$ мм) и ТВ камеры Wat-902H2 ULTIMATE ($q = 0,0085$ мм), для сочетания которых параметр $q/F \approx 1/700$, т.е. в 2 раза выше, чем у человеческого глаза. При стандартной кадровой частоте ($\tau_* \approx 0,04$ с) одинаковый сигнал в элементе разрешения от метеора и от звезды получается при яркости звезды в 6 раз большей, чем по такой же визуальной оценке. Иными словами, яркость метеора, оцениваемая по телевизионным регистрациям путем сравнения сигналов в изображении звезды и метеора, оказывается на $1-2^m$ более слабой, чем на самом деле. Поэтому оценки проникающей силы телевизи-

⁴Поскольку звезда рассматривается как эталон яркости, ее световой поток должен быть определен во всей спектральной полосе используемой при регистрации метеоров. Стандартное значение BVR при наблюдениях метеоров без фильтров применять нельзя. Задача составления опорного каталога звездных яркостей требует специального рассмотрения.

Таблица 1. Поправки, которые должны быть прибавлены к звездной величине опорных звезд, имеющих такой же отклик, как в метеорном треке, для оценки его яркости в звездных величинах

Скорость метеора →	2,5°/с	5°/с	7,5°/с	10°/с	12,5°/с	15°/с
Характеристики камеры ↓						
$q = 8,5$ мкм; $F = 3,8$ мм; $\tau_* = 0,04$ с	+0,0 ^m	-0,5 ^m	-0,9 ^m	-1,2 ^m	-1,5 ^m	-1,7 ^m
$q = 8,5$ мкм; $F = 4,0$ мм; $\tau_* = 0,04$ с	+0,0 ^m	-0,5 ^m	-1,0 ^m	-1,3 ^m	-1,6 ^m	-1,8 ^m
$q = 8,5$ мкм; $F = 4,5$ мм; $\tau_* = 0,04$ с	+0,0 ^m	-0,7 ^m	-1,1 ^m	-1,6 ^m	-1,7 ^m	-1,9 ^m
$q = 8,5$ мкм; $F = 6,0$ мм; $\tau_* = 0,04$ с	-0,2 ^m	-1,0 ^m	-1,4 ^m	-1,7 ^m	-2,0 ^m	-2,2 ^m
$q = 8,5$ мкм; $F = 8,0$ мм; $\tau_* = 0,04$ с	-0,5 ^m	-1,3 ^m	-1,7 ^m	-2,1 ^m	-2,3 ^m	-2,5 ^m
$q = 8,5$ мкм; $F = 12$ мм; $\tau_* = 0,04$ с	-1,0 ^m	-1,7 ^m	-2,1 ^m	-2,5 ^m	-2,7 ^m	-2,9 ^m
$q = 8,5$ мкм; $F = 25$ мм; $\tau_* = 0,04$ с	-1,8 ^m	-2,5 ^m	-3,0 ^m	-3,2 ^m	-3,5 ^m	-3,7 ^m
$q = 8,5$ мкм; $F = 50$ мм; $\tau_* = 0,04$ с	-2,5 ^m	-3,3 ^m	-3,7 ^m	-4,0 ^m	-4,3 ^m	-4,5 ^m
$q = 6,45$ мкм; $F = 40$ мм; $\tau_* = 0,13$ с	-3,9 ^m	-4,6 ^m	-5,0 ^m	-5,3 ^m	-5,6 ^m	-5,8 ^m
$q = 6,45$ мкм; $F = 85$ мм; $\tau_* = 0,13$ с	-4,7 ^m	-5,4 ^m	-5,8 ^m	-6,2 ^m	-6,4 ^m	-6,6 ^m
Невооруженный глаз	-1,5 ^m	-2,2 ^m	-2,7 ^m	-3,0 ^m	-3,2 ^m	-3,4 ^m

онных широкоугольных камер для метеоров, которые фигурируют в ежемесячных рапортах Международной метеорной организации (ИМО), в реальности заметно занижены [1].

Для сравнения различных камер, используемых разными исследователями, достаточно сопоставить их поправочные коэффициенты $(q/\tau_*F)^{-1}$, которые показывают завышение или занижение оценок яркости регистрируемых метеоров одной и той же угловой скорости. Эти коэффициенты с определяемыми ими поправками к звездной величине для всех камер, кроме последних трех, нами добавлены в последний столбец таблицы.

В ИНАСАН помимо описанной выше широкоугольной патрульной телекамеры применяются камеры, состоящие из сверхсветосильного объектива Canon EF-85 ($f/1,2$, $F = 85$ мм) и ПЗС-матрицы Sony ICX-285 AL с размерами пикселей $6,45 \times 6,45$ мкм. При экспозиции 0,129 с поправочный коэффициент для нее $(q/\tau_*F)^{-1}$ составляет ≈ 1700 , что смещает оценку яркости метеора на $3,2^m$.

В последней строке табл. 1 приведено значение коэффициента $(q/\tau_*F)^{-1}$ для невооруженного глаза. Если этот коэффициент для телевизионной камеры ниже чем для глаза, то оценка яркости метеора по отношению к звезде сравнения завышена относительно визуальной оценки, а если выше — метеор на самом деле слабее, чем по визуальной оценке. Следует помнить, что помимо этого быстрые метеоры кажутся более слабыми, а медленные — более яркими, чем похожие на них звезды.

Все объективы имеют важную для них характеристику — светосилу, которая определяется как отношение диаметра собирающей оптики к фокусному расстоянию. Светосила объектива будет тем выше, чем больше апертура объектива при том же фокусном расстоянии, и тем выше будет проникающая сила работающей с ним камеры. Законы оптики, однако, не позволяют конструировать объективы с высокой светосилой, поэтому короткофокусные объективы, даже самые светосильные, обладают небольшой апертурой, а оборудованные ими телекамеры — невысокой проникающей силой. При одинаковой же светосиле апертура объектива будет тем больше, чем больше его фокусное расстояние и, следовательно, тем выше проникающая сила камеры. Этот вывод без оговорок применим к наблюдению «неподвижных» звезд, но требует дополнительно учета скорости перемещения изображения метеоров при определении их яркости.

Если какая-то конкретная телевизионная камера имеет проникающую силу по звездам $m_{* \text{lim}}$, то минимальный световой сигнал от нее составляет $N_{* \text{lim}}$, и таким же будет минимальный сигнал N_m , который камера в состоянии зарегистрировать от любого другого источника, в том числе от метеора. Яркость метеора, создающего такой сигнал в элементе разрешения телекамеры, должна быть в $\frac{q}{\omega_m \tau_* F}$ выше, чем у предельно слабой звезды. Величина $\frac{q}{\tau_* F}$ является приборным параметром конкретной камеры, а проникающая

сила камеры по метеорам будет зависеть еще и от угловой скорости метеоров ω_m .

При анализе телевизионных регистраций угловая скорость метеора ω_m может быть измерена точно (без элементов субъективности, свойственных визуальным оценкам), так что поправочный коэффициент $\frac{q}{\omega_m \tau_* F}$ может быть вычислен с точностью, намного более высокой, чем получаемая оценка яркости метеора. Измеряя N_m и N_* в телевизионных кадрах, и зная N_* из фотометрического каталога, мы можем вычислить освещенность $i_m(t)$ для любой точки метеорного трека и его светимость $i_m(t)$, если известна дальность до метеора (например, из базисных наблюдений).

Поскольку фотометрической характеристикой метеора является именно его светимость как функция времени $i_m(t)$, в отличие от «абсолютной» яркости метеора, которая была введена в эпоху визуальных метеорных наблюдений как оценочный аналог $i_m(t)$, — эта величина и должна приводиться наблюдателями.

Телескопические наблюдения метеоров можно рассматривать как прямое продолжение визуальных методов наблюдений, только с несколько иными свойствами светоприемника. Разрешающая способность глаза (размер элемента разрешения на сетчатке глаза) не меняется, но использование бинокля или бинокюля приводит к увеличению эквивалентного фокусного расстояния F . Если наблюдатель использовал, к примеру, 8-кратный бинокль, то отношение q/F уменьшается в 8 раз, и применение «стандартной» методики оценки яркости метеора приведет к систематической ошибке на уровне $2,2^m$.

Классик метеорной астрономии И.А. Астапович, подробно рассматривая технику телескопических наблюдений, предполагал, что повышение проникающей силы визуального наблюдателя с помощью бинокля или телескопа автоматически повысит проникающую силу и в отношении метеоров [2]. Как мы видим, это было ошибочное мнение.

Гибридные телевизионные системы принципиально отличаются от обычных приемников. Во всех обычных приемниках свет, собранный объективом, попадает в элемент разрешения и вызывает соответствующий отклик. Несколько десятилетий назад, когда квантовый выход светоприемников был на уровне 1%, применение промежуточных уси-

лителей яркости давало заметный эффект для регистрации слабых объектов на имеющихся приемниках. Усилители яркости поднимали лишь чувствительность регистратора, и никак не меняли входной световой сигнал. Поэтому повышение квантового выхода оптоэлектронных приемников до 50% и выше сделало применение усилителей яркости бессмысленным для большинства астрономических наблюдений. Но для метеорных наблюдений гибридные системы обладают еще одной особенностью, связанной с разделением оптического сигнала и его регистратора: они допускают масштабирование изображения. За счет такого масштабирования (не важно в электронной оптике или в системе оптического переноса) эквивалентный фокус регистрирующей системы может быть понижен в несколько раз, а отношение q/F заметно вырасти. В гибридной камере FAVOR [3] функции питающей оптики выполняет светосильный линзовый объектив с апертурой 150 мм и фокусным расстоянием 180 мм (светосила 1:1.2). В его фокальной плоскости размещается входное окно ЭОПа первого поколения, который обеспечивает масштабное уменьшение изображения в 4,5 раза, что сокращает эквивалентное фокусное расстояние до 40 мм и доводит «эффективную светосилу» до 1:0.27. При размере пикселей $6,45 \times 6,45$ мкм и экспозиции 129 мсек поправочный коэффициент $(q/\tau_* F)$ камеры FAVOR составляет $1/800$, т.е. примерно в четыре раза меньше, чем для визуальных наблюдений, для которых эта величина составляет $1/180$. Это значит, что оцениваемая по сравнению с соседними звездами яркость метеора оказывается заниженной всего на $1,5^m$. Если на снимке метеора, полученном камерой FAVOR, метеор имеет такой же вид, как звезда $8,5^m$, то его яркость составляет 7^m (без учета его угловой скорости).

Можно оценить диапазон возникающих при фотометрии метеоров ошибок для рассмотренных телевизионных камер с учетом реально наблюдаемых угловых скоростей метеоров. Наши наблюдения показывают [4], что в подавляющем числе случаев скорости метеоров лежат в пределах от $2,5^\circ/\text{с}$ до $15^\circ/\text{с}$. Поскольку время «экспонирования» метеора в элементе разрешения глаза существенно меньше, чем 0,06 с, метеор должен казаться слабее, чем на самом деле. Так, «медленный» метеор, имеющий скорость $2,5^\circ/\text{с}$, за $1/15$ с пройдет через 5 элементов разрешения гла-

Таблица 2. Характеристики некоторых объективов, рассчитанных на формат матрицы $1/2''$ или больше, и проникающая сила m_{*lim} телекамер, работающих с этими объективами

Объектив	D (см) / S (см ²)	Минимальный поток (фотон/с)	m_{*lim}
$F = 2,7$ мм; $F/D = 1,8$ (FE185C086HA-1) all-sky	0,015 / 0,00017	$7,3 \cdot 10^6$	-2,2
$F = 3,6$ мм; $F/D = 1,6$ (Computar HG3616FCS)	0,225 / 0,04	$3,1 \cdot 10^4$	+3,8
$F = 3,8$ мм; $F/D = 0,8$ (Computar HG3808FCS-HSP)	0,475 / 0,18	$2,8 \cdot 10^4$	+5,4
$F=3,8$ мм; $F/D = 1,2$	0,475 / 0,08	$6,2 \cdot 10^4$	+4,5
$F=6$ мм; $F/D = 0,8$ (Computar HG0608FCS-HSP)	0,75 / 0,44	$1,1 \cdot 10^4$	+6,3
$F=6$ мм; $F/D = 1,2$ (AVENIR HTCH0612)	0,5 / 0,2	$2,5 \cdot 10^4$	+5,5
$F=8$ мм; $F/D = 0,8$ (Computar HG0808FCS-HSP)	1,0 / 0,8	$6,3 \cdot 10^3$	+7,0
$F=12$ мм; $F/D = 0,8$ (Computar HG1208FCS-HSP)	1,5 / 1,8	$2,8 \cdot 10^3$	+7,9
$F=12$ мм; $F/D = 1,4$ (Computar H1214FICS-3)	0,86 / 0,6	$8,3 \cdot 10^3$	+6,7
$F=25$ мм; $F/D = 0,95$ (Voigtlander Nokton 25 mm $f/0.95$)	2,6 / 5,4	925	+9,0
$F=50$ мм; $F/D = 1,3$ (Computar V5013)	3,8 / 11,6	430	+9,9
$F=40$ мм; $F/D = 0,28$ (камера FAVOR)	14,3 / 160	31	+12,8
$F=85$ мм; $F/D = 1,2$ (CANON EF 85 mm $f/1.2L$ USM)	7,0 / 39,4	127	+11,2
$F=85$ мм; $F/D = 1,8$ (CANON EF 85 mm $f/1.8$ USM)	4,7 / 17,5	286	+10,4
Невооруженный глаз	0,6 / 0,28	$1,8 \cdot 10^4$	+5,9

за, и для того чтобы его яркость казалась равной яркости звезды, она должна быть в 5 раз выше нее.

В табл. 1 приведены поправки, с учетом которых должны быть скорректированы звездные величины опорных звезд, имеющих такой же отклик, как и в метеорном треке, чтобы получить его яркость в звездных величинах. Важно отметить, что только в случае самых короткофокусных телекамер и только для самых медленных метеоров эти поправки оказываются нулевыми, поскольку за время экспозиции эти метеоры не успевают выйти из элемента разрешения и экспонируются такое же время, как и звезды сравнения.

При визуальных наблюдениях всегда имеет место субъективное занижение реальной яркости метеора, которое тем больше, чем быстрее метеор. Эта величина находится в пределах от $-1,5^m$ до $-3,4^m$.

Телевизионные наблюдения метеоров с короткофокусными камерами, при которых оценка яркости ведется через сравнение откликов в изображениях метеорного трека и звезды сравнения, также приводят к занижению реальной яркости метеора, но оно оказывается меньше, чем при наблюдениях невооруженным глазом. Из табл. 1 видно, что телевизионная камера Watec с объективом $F = 20$ мм давала бы тот же уровень систематических ошибок в определении яркости метеоров, что и их визуальные наблюдения.

Более короткофокусные камеры приводят к меньшим систематическим ошибкам, а для болидных широкоугольных камер они вообще могут упасть до нуля. Объяснение для этого простое: угловой размер элемента разрешения у этих камер таков, что за время экспозиции кадра метеор не успевает выйти из него, так что и метеор, и звезда сравнения экспонируются одинаковое время. Впрочем, это благоприятное обстоятельство имеет место только для самых медленных метеоров.

Табл. 1 определяет, насколько предельная звездная величина в кадре, определенная по звездам, отличается от предельной звездной величины для метеоров. Это отличие является аппаратной характеристикой камеры, благодаря которой можно оценить проникающую силу телевизионной системы по метеорам, если известна ее проникающая сила по звездам.

Пределы чувствительности телевизионных камер несложно вычислить, если задаться ее главными характеристиками. В табл. 2 приводятся характеристики некоторых объективов, рассчитанных на формат матрицы $1/2''$ или больше. Для каждого из них оценен диаметр апертуры и вычислена ее площадь. В последних столбцах таблицы приводятся минимальные (пороговые) значения освещенности от источников и их звездная величина.

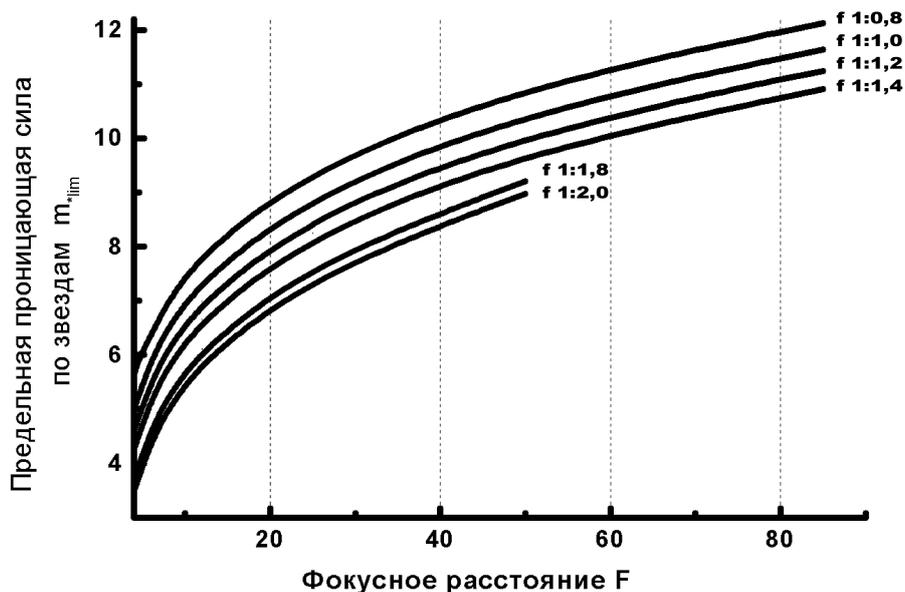


Рис. 1. Предельная проникающая сила телекамеры типа WATEC по звездам при кадровой частоте 25 кадр/сек и использовании объективов с разными характеристиками

Приведенные в табл. 2 значения проникающей силы камер являются предельными величинами, поскольку вычислены в предположении, что элемент разрешения оптики точно соответствует размеру элемента разрешения приемника. В реальности проникающая сила камеры FAVOR составляет немного больше 11^m , а в патрульных метеорных камерах она не превышает 6^m . Иногда при наблюдениях метеоров длиннофокусными камерами ширина метеорного трека превышает размеры элемента разрешения; в таких случаях предельная звездная величина метеора оказывается ниже, чем указано в табл. 1. Для наглядности результаты проведенных оценок представлены на рис. 1.

Таким образом, чтобы оценить проникающую силу камер по метеорам, достаточно к значениям $m_{* \text{lim}}$ прибавить поправки, указанные в табл. 1. На рис. 2 показана зависимость проникающей силы телекамеры от фокусного расстояния и светосилы объектива для скорости метеора $5^\circ/\text{с}$. Графики показывают, что существует экстремум в области значений $F \approx 35 \div 70$ мм. При более коротких фокусах объективов проникающая сила камер падает вследствие малости входной апертуры, а при больших значениях фокусного расстояния проникающая сила для метеоров падает из-за сокращения времени экспонирования в элементе разрешения.

Заключение

Таким образом, описанная выше методика дает возможность сформулировать предположения по унификации представления результатов телевизионных метеорных регистраций для корректного проведения фотометрических оценок. Вместе с тем приходится признать, что имеющиеся представления о метеорном веществе требуют глубокого пересмотра, поскольку при вычислении фотометрических масс метеороидов используются фотометрические оценки яркостей метеоров, не учитывающие описанный в данной работе подход.

Литература

1. Всемирный Интернет-форум исследователей метеоров (GMOF). [URL]: <http://lists.meteorobs.org/mailman/listinfo/meteorobs/>
2. Астапович И. С. Метеорные явления в атмосфере Земли. М.: Физматгиз, 1958. 640 с.
3. Багров А. В., Бескин Г. М., Бирюков А. В., Бондарь С. Ф., Золотухин И. Ю., Карпов С. В., Иванов Е. И., Позаненко А. С. Широкоугольная высокоскоростная оптическая камера для обнаружения вспыхивающих и движущихся объектов // Тр. Конф. «Околоземная Астрономия – 2003». СПб.: ВВМ, 2003. С. 101–106.

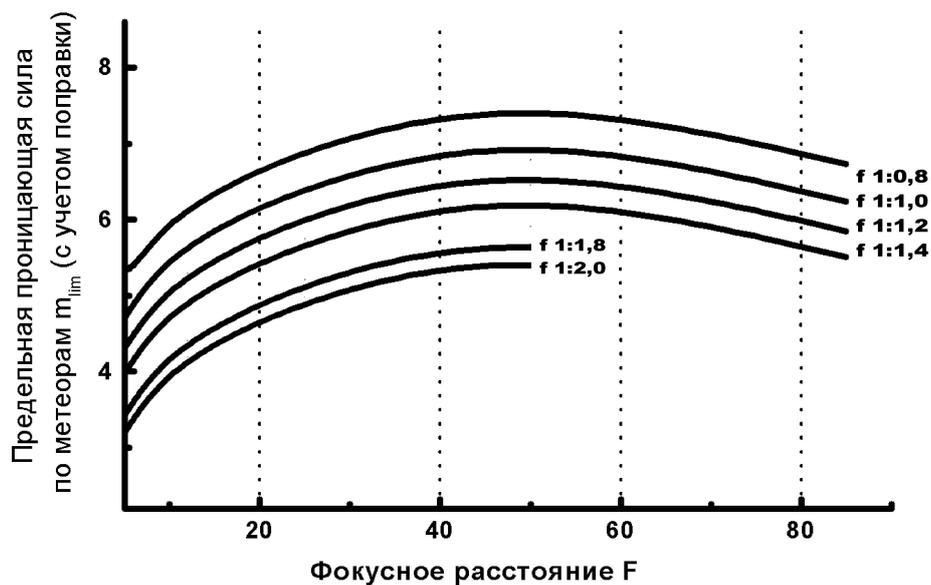


Рис. 2. Зависимость проникающей силы той же телекамеры по метеорам от фокусного расстояния и светосилы объектива при скорости метеора $5^\circ/\text{с}$

4. Багров А. В., Болгова Г. Т., Бондарь С. Ф., Карпов С. В., Карташова А. П., Каткова Е. В., Леонов В. А., Терентев Д. А. Каталог телевизионных метеоров яркостью до $+8^m$, зарегистрированных камерой FAVOR в 2006 г. // Тр. Международной конф. «Астрономия и мировое наследие: через время и континенты». Казань: Казан. гос. ун-т, 2009. С. 113.
5. Jenniskens P. Meteor Showers and their Parent Comets // Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2006. 790 p.
6. Rendtel J. Handbook for Photographic Meteor Observations // Edegem: Andre Gabriel Print, 1993. 8 p.
7. Trigo-Rodriguez J.M. et al. Advances in Meteoroid and Meteor Science // Earth, Moon and Planet. 2008. Vol. 102. P. 1–4.

Ключевые слова: метеор, яркость метеора, телевизионные наблюдения метеоров.

Статья поступила 28 ноября 2013 г.
 Институт астрономии РАН, г. Москва
 © Багров А. В., Леонов В. А., 2013