

К вопросу об эффективности применения цифровых приёмников излучения к регистрации метеорных явлений.

А.А.Солодовник, А.О.Маугазина

Северо-Казахстанский государственный университет имени М.Козыбаева

Аннотация

Рассматривается задача регистрации метеоров в оптическом диапазоне. Показано, что наиболее эффективное её решение на базе современных приёмников излучения возможно при применении оптических усилителей изображения на микроканальных пластинах.

Метеорными телами или метеороидами называют межпланетные объекты, размеры которых не превышают первых десятков метров. Комплекс явлений (из них самым заметным является вспышка оптического излучения), сопровождающих движение в атмосфере метеорного тела массой от десятых долей до сотен грамм, имеющего начальную скорость в десятки км/с, называют метеором. Метеорные явления в основном происходят на высотах 70 - 100 км.

Метеоры яркостью не менее минус 4^m , т.е. ярче, чем Венера называют болидами. Наиболее яркие болиды видимы даже днем, их полет может сопровождаться отдельными яркими вспышками, дымным следом, а иногда и мощными звуковыми эффектами и даже механическим воздействием на наземные объекты ударной волны. Если яркость болида превышает минус 6^m , то не исключено выпадение на поверхность Земли твердого остатка - метеорита. При этом наиболее вероятными кандидатами на выпадение метеорита являются медленные болиды, не имеющие в конце траектории резкой вспышки, означающей разрушение метеороида. Метеоры и болиды, являются практически единственными источниками регулярной информации о малых телах, заканчивающих свой жизненный путь в земной атмосфере.

Огромное количество метеорных частиц движется в межпланетном пространстве, причём большинство из них входят в метеорные потоки. Происхождение, физические свойства и размеры метеорных тел многообразны. Источниками метеороидов могут быть кометы, малые планеты, некоторые спутники планет. К настоящему времени в исследованиях характеристик метеороидов достигнуты определенные успехи, однако полученные результаты недостаточны для решения не только ряда фундаментальных проблем, но и такой практически важной задачи, как учёт влияние метеороидов на безопасность космических полётов как пилотируемых, так и беспилотных [1-4].

Ключевой проблемой в изучении метеорных явлений была и остаётся их регистрация. Дело в том, что аппаратура, предназначенная для метеорных наблюдений должна отвечать совокупности малосовместимых между собой требований. Главное из них обеспечить достаточно большое (десятки градусов) поле зрения при хорошем (порядка минуты дуги) разрешении, а также максимально высокой световой чувствительности. Важным является и высокое временное разрешение систем регистрации, что особенно актуально для определения скорости метеоров. Из сказанного следует вывод, что при типичной протяженности метеорного трека в несколько градусов и длительности явления порядка десятых долей секунды на каждый элемент изображения приходится очень мало света. Поэтому регистрация метеоров, гораздо сложнее получения изображений звёзд.

Несмотря на то, что чувствительность фотографических эмульсий довольно мала по современным меркам, важнейшие результаты в области изучения физической природы метеорных явлений были получены благодаря применению этого метода ещё в прошлом веке. Правда у плёночных технологий есть важное преимущество – размеры приёмной площади

пластин и плёнок могут быть гораздо большими, по сравнению с размерами полупроводниковых матрицах, стоимость которых при тех же, что у фотоплёнки размерах просто запредельна.

В силу этих причин на рынке научного оборудования затруднительно найти готовое к применению и идеально подходящее для метеорных наблюдений оборудование. Поэтому исследователи, как правило, используют в этих целях либо стандартные астрономические ПЗС – камеры с соответствующей оптикой, либо качественные цифровые камеры с возможностью применения сменной оптики. Так при выполнении мониторинга метеорных явлений в ЦАИ применялась установка метеорный патруль, схема устройства которой и внешний вид показана на рисунке 1, она изготовлена на базе камер CANON 1000D. Оптические характеристики камеры приведены в таблице 1.

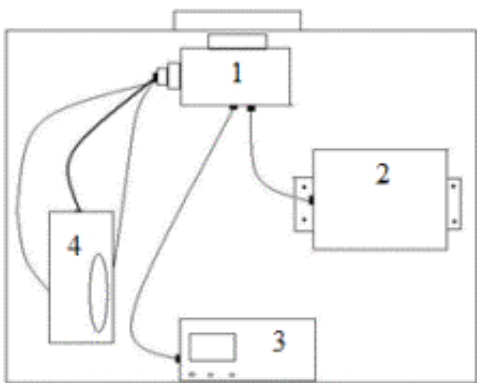


Рисунок 1. Схема устройства метеорного патруля обсерватории СКГУ:

- 1 – камера; 2 – блок управления экспозициями; 3 – термостат;
4 – запоминающее устройство

Таблица 1. Оптические характеристики камеры Canon 1000D

Характеристики	Описание
тип	цифровая однообъективная зеркальная камера с автофокусировкой
датчик изображения	однокристалльный датчик CMOS с высокой чувствительностью и разрешением
общее количество пикселей	10,50 млн. (3888 x 2592)
тип автофокусировки	регистрация вторичного изображения через объектив, определение фазы
объектив	EF – S 18 – 55 mm f/3,5 – 5,5 IS
минимальная диафрагма	f/22 - 36
чувствительность ISO	1) режимы базовой зоны: чувствительность ISO 100-800 устанавливается автоматически; 2) режимы творческой зона:ISO 100-1600
угол обзора	1) по диагонали 74°20' - 27°50'; 2) по горизонтали 64°30' - 23°20';

Метеорный патруль использовался для мониторинга метеорных явлений в период 2009 – 2011 годов. Анализ полученного при этом наблюдательного материала обнаружил низкую эффективность используемого метода. Так из 80 000 изображений метеорные треки были найдены только на 9 снимках. С учётом средней длительности экспозиции порядка 20 секунд, общее время наблюдений составило 450 часов. Разумеется, некоторые обстоятельства, отрицательно влияющие на результативность наблюдений, лежат на поверхности. Например, потери времени связанные с получением «темновых» кадров. Они в силу конструктивных особенностей камер достигают 50%. Снижает эффективность метеорных наблюдений наличие засветки от Луны и городского освещения (наблюдения велись в черте города). Поскольку среднее часовое число спорадических метеоров близко к 1 или 2, можно ожидать, что зафиксированное число событий должно было бы составлять несколько сотен! Расхождение ожидания с реальностью указывает на низкую эффективность метода наблюдений.

В то же время для детального изучения активности метеорных явлений (связанных, например, с некоторым потоком) и её изменения со временем необходимо иметь аппаратуру, способную регистрировать метеорные треки малой яркости. Для функции светимости метеоров характерно быстрое нарастание их числа с уменьшением блеска по степенному закону вида [1,2]:

$$F(m) = F(0)x^m$$

где $F(m)$ - число метеоров m -й звездной величины. Параметр x показывает, во сколько раз изменяется число метеоров при изменении блеска на одну звездную величину:

$$x = \frac{F(m-1)}{F(m)}.$$

В метеорной астрономии известен опыт применения для этой цели телевизионных приёмников излучения в сочетании с вакуумными электронно-оптическими преобразователями [1,5,6]. Определённое продвижение в деле регистрации слабых метеоров (вплоть до 7 звёздной величины) было достигнуто. Однако, серьёзным недостатком такого решения была и остаётся сложность изготовления и эксплуатации приборного комплекса – по сути его уникальность.

Прогресс электроники дал возможность применения в астрономии усилителей изображения устроенных на базе микроканальных пластин (МКП – в дальнейшем). В отличие от вакуумных приборов (ЭОП и телевизионных трубок) у них предельно малые габариты, они не требуют применения высоких напряжений питания, помехоустойчивы, имеют стабильные рабочие характеристики. Благодаря массовости производства такие приборы из области специализированного военного оборудования перешли в практику изготовления высококачественных приборов ночного видения, предназначенных для применения в самых различных условиях.

Одним из наиболее качественных образцов оборудования такого типа является модульный ночной наблюдательный прибор "МПН-8КМ" – изготавливаемый Новосибирским приборостроительным заводом, который был приобретен для нужд ЦАИ СКГУ (рис. 2). Он предназначен для наблюдения объектов в темное время суток, как при естественной освещенности от Луны и звёзд, так и в полной темноте при включенном инфракрасном осветителе, встроенном в корпус. Сменные объективы позволяют менять увеличение от 1^x до 4^x . Электронной схемой прибора предусмотрена защита ЭОП от кратковременных засветок интенсивными источниками. Прибор может работать при температурном режиме $\pm 40^\circ\text{C}$.



Рисунок 2. Общий вид прибора МПН-8КМ.

Важными конструктивными особенностями прибора, определяющими перспективу его применения для метеорных наблюдений, являются использование ЭОП поколения 2+ (на базе микроканального усилителя яркости изображения), а также наличие набора адаптеров для присоединения объективов фото- и видеокамер. Технические характеристики прибора МПН-8КМ приведены в таблице 2.

Таблица 2. Технические характеристики прибора МПН-8КМ.

Поколение ЭОПа	2+
Усиление ЭОПа	20000-30000
Увеличение, крат	1
Угол поля зрения, град	36°
Диоптрийная настройка, дптр	±5
Источник питания	ААх2шт; 3В
Время непрерывной работы, час	16
Габариты (ДхШхВ)	169х67х80
Вес, кг	0,5
Предел разрешения, штр. мм.	30-38
Рабочая температура, град	±40
Относительная влажность, %	97
Штатный объектив: Диаметр, мм Увеличение, крат Угол поля зрения, град Фокус, мм	32 1 36 27
Дополнительный объектив: Диаметр, мм Увеличение, крат Угол поля зрения, град Фокус, мм	60 4 10 100

Наиболее привлекает высокое усиление яркости изображения. Если подходить к системе идеализировано, то усиление в 20 000 раз должно быть эквивалентно применению телескопа с апертурой в 140 раз большей, чем диаметр объектива (порядка 420 см). И это при поле в 36°! Разумеется, с учётом потерь в оптическом тракте эти ожидания следует в несколько раз умерить. И, тем не менее, перспектива налицо.

Важно учесть и влияние углового разрешения прибора на качество изображения. Согласно паспортным данным оно составляет при использовании базового объектива 5 минут дуги. При этом можно уверенно регистрировать даже сравнительно короткие метеорные треки (порядка 1 - 2°), что при наблюдениях в направлении радианта потока (в том числе и стационарных метеоров) очень важно.

Оптические параметры системы могут быть изменены за счёт применения более мощного объектива. При этом увеличение системы достигает 4^x , повышается проникающая способность благодаря большей апертуре, сокращается до 10° поле зрения и улучшается примерно до одной минуты разрешающая способность. Мы можем ожидать при этом такой эффективности системы, как при использовании телескопа с объективом не менее метра-полутора, но при очень большом поле зрения. Актуальной тогда представляется постановка задачи наблюдения метеороидов крупных размеров на подлёте к Земле.

Однако, эти предварительные выводы нуждаются в экспериментальной проверке. В настоящее время проводится цикл наблюдений звёздных полей и метеоров с применением усилителя изображений и сопряженной с ним цифровой камеры. Анализ результатов эксперимента будет рассмотрен в следующих статьях.

Литература:

1. Бабаджанов П.Б. «Метеоры и их наблюдение». М.: Наука, 1987. 192с.
2. Бронштэн В.А. «Метеоры, метеориты, метеориды», М.: Наука, 1987. 39-40с.
3. Зоткин И.Т. «Наблюдения метеоров», М.: Наука, 1972 г. 3-4с.
4. Астапович И.С. «Метеорные явления в атмосфере Земли». М.: Физматгиз, 1958. 640с.
5. Багров А.В., Болгова Г.Т., Леонов В.А. «Телевизионный мониторинг метеорных явлений для изучения эволюции метеорных потоков // Кинематика и физика небесных тел». 2003. №4. 265-268с.
6. Багров А.В., Леонов В.А., Перков А.В. Результаты телевизионного мониторинга метеорных событий за 2002-2003гг // Тез. докл. Всероссийской астроном. конф. ВАК-2004 «Горизонты Вселенной» // Тр. Гос. астроном. ин-та им. П.К. Штернберга, 2004. Т.LXXV. 72с.