

## ОРЕОЛЫ ЗВЕЗД В ПЕРВИЧНОМ ФОКУСЕ 6-МЕТРОВОГО ТЕЛЕСКОПА

Ореолы ярких звезд затрудняют фотометрию соседних слабосветящихся и малоконтрастных объектов. Особенно важен учет влияния ореолов для крупных телескопов, предназначенных для работ за атмосферой, и крупнейших наземных телескопов, где перепад яркости объектов достигает  $10^{10}$  или  $25^m$ . На 6-метровом телескопе БТА в первых фотографических наблюдениях зарегистрированы звезды до  $24^m$  [1], а в более поздних — электронно-графических — до  $26^m,2$  [2]. На предельных снимках БТА ореолы звезд  $3^m$ — $4^m$  прослеживаются до края (14 угло-

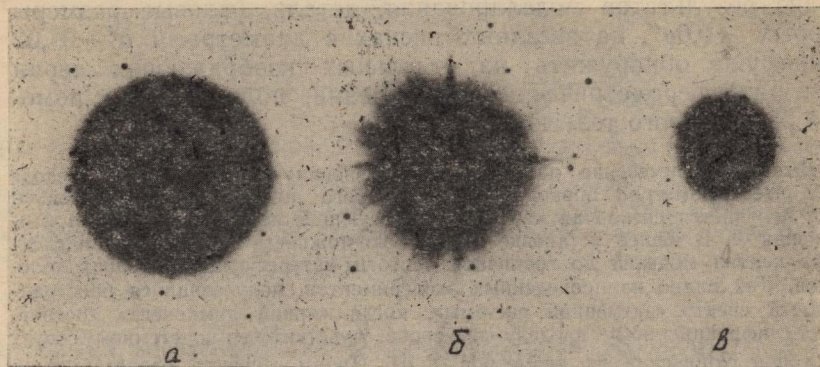


Рис. 1. Вега, фотопластинка 103aD с фильтром V-системы, экспозиция 1 мин (а); снимок звезды Вега  $0^m,14$ , фотопластинка 103aF без фильтра, экспозиция 2 мин (б); Вега, фотопластинка 103 aF с фильтром R-системы, экспозиция 8 мин (в)

вых минут) поля зрения в 24-метровом первичном фокусе. Сравнение ореолов на предельных снимках скопления NGC 2419 для БТА и 5-метрового Паломарского телескопа показало, что на 5-метровом телескопе ореолы в 1,5 раза протяженнее.

*Анализ наблюдательного материала; постоянная и переменная составляющие ореола.* Измерения снимков показали, что яркость, протяженность и геометрическая структура ореола зависят от состояния оптики, условий съемки и комбинации светофильтров и фотоэмульсий. На рис. 1 приведены изображения яркой звезды (Вега,  $0^m,14$ ). Изображен участок неба со стороной  $10'$ . Снимки не исчерпывают всего многообразия ореолов, однако дают наглядное представление об их яркости, протяженности и изменчивости. Отметим, что ореолы для первого 6-метрового зеркала, с которым мы работали до сентября



1979 г. и для второго зеркала БТА [3] сходны по структуре. Однако ореолы на первом зеркале имели большую яркость и протяженность.

Ореолы имеют постоянную и переменную составляющие. Первая обусловлена:

а) дифракций света на оправе зеркала и других деталях конструкции телескопа, экранирующих входной зрачок;

б) дифракцией и рассеянием света на микродефектах и пылинках рабочей поверхности зеркала.

Составляющая, обусловленная дифракцией на оправе зеркала и других деталях конструкции [4], быстро спадает с удалением от центра изображения, уменьшаясь в  $10^9$ — $10^{10}$  раз на радиусе 10 мм ( $1',5$ ). За пределами кружка в одну угловую минуту этой составляющей можно пренебречь.

Дифракция и рассеяние света на микродефектах и пылинках создают наиболее протяженный ореол. Он повышает яркость фона ночного неба, а при наличии ярких звезд вблизи краев поля зрения создает неравномерный фон. На зеркало 6-метрового телескопа могут светить звезды в поле диаметром около  $20''$ , где вероятность наличия звезды ярче  $3^m$  более 95%. Тысячной доли света такой звезды, рассеянного по всему  $14'$  полю зрения первичного фокуса БТА, достаточно, чтобы создать фон, по яркости равный  $25^m$  с квадратной угловой секунды.

Значительный вклад в ореол вносит многократное отражение и рассеяние света между поверхностью светофильтра и эмульсией, а также отражение света, прошедшего эмульсионный слой, от стеклянной подложки фотопластинки. Распределение яркости в этой составляющей зависит от взаимного расположения светофильтра и светоприемника, коэффициента отражения светоприемника (для фотоземлюльсий от 10 до 50%), полосы пропускания и конструкции фильтра.

На рис. 1, в представлено изображение, снятое через красный фильтр толщиной 3 мм, расположенный в 1 мм от фотоземлюльсии. Более 10% света проходит эмульсионный слой и многократно отражается между эмульсией и противоореальным слоем на стеклянной подложке фотопластинки. Первый кольцевой максимум яркости ореола наблюдается на радиальном расстоянии 1,7—1,9 толщины стекла от центра звезды. На радиусе 1,4—1,6 толщины стекла наблюдается первый минимум яркости ореола. Второе и последующие отражения дают другие минимумы и максимумы, менее заметные в общей структуре ореола. Противоореальный слой уменьшает яркость ореола в десятки раз. На фотопленке толщиной менее 0,1 мм с противоореальным слоем эта составляющая ореола практически незаметна. Рассеянием света в эмульсионном слое можно пренебречь [5]. Разумеется, при съемке необходимо принимать все возможные меры к устранению этой составляющей ореола.



Переменная составляющая ореола проявляется в перераспределении энергии в центральной зоне ореола и в появлении неправильной лучистой структуры на периферии. Относительная стабильность этой составляющей в течение нескольких часов, а иногда и суток, заставляет связать ее с температурными деформациями поверхности зеркала, время релаксации которых

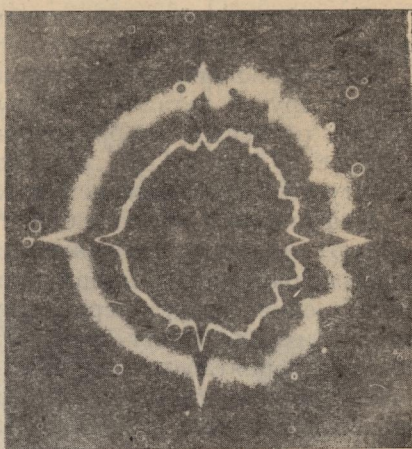
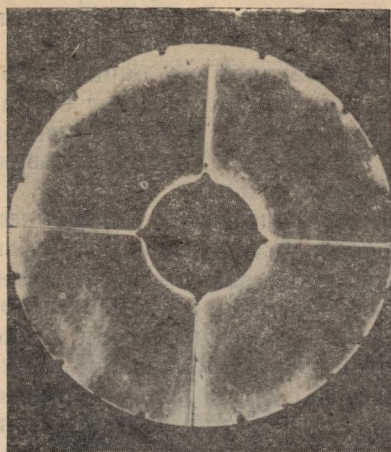


Рис. 2. Тенеграмма 6-метрового зеркала с круглой маской. Светлые участки дают фазовые искажения фронта волны. Светлая кайма на краю конструктивных элементов и пузырей — дифракция

Рис. 3. Протяженность ореола и его фотометрическая структура

порядка десятков часов. Эти деформации зеркала, достигая в максимуме одного-двух микронов, вносят заметные фазовые искажения в отраженный фронт волны.

Для подтверждения такой связи мы получили тенеграммы 6-метрового зеркала с маленьким круглым экраном вместо ножа Фуко и вслед за ними — снимки ореолов. Существует явная корреляция между протяженностью нерегулярной составляющей ореола и мощностью термических деформаций зеркала. В частности, тенеграмма (рис. 2) получена с экраном 1,2 мм (10") вместе со снимком (рис. 1, а). Самые светлые участки тенеграммы соответствуют наибольшим фазовым искажениям.

Измерение распределения яркости ореола и возможности учета вносимых им фотометрических ошибок. Изофотограмма ореола снимка (рис. 1, б) представлена на рис. 3. Подобная картина наблюдается на предельных снимках для звезд ярче  $3^m$ — $4^m$  при яркости фона неба около  $22^m$  с квадратной угловой секундой. Изофота, соответствующая 10%-ному превышению над яркостью фона, достигает края поля. Используя большое число предельных снимков звездных скоплений, на фотопластинках Кодак 103аО мы измерили диаметры ореолов для звезд



от  $3^m,0$  до  $23^m,0$  по этой изофоте. Осредненные результаты и распределение яркости ореола звезды нулевой величины на предельном снимке представлены на рис. 4. Яркость и протяженность ореолов на конкретных снимках могут отличаться от осредненных зависимостей, приведенных на рис. 4, в 1,5—2 раза. Такой разброс связан с переменностью ореолов, отсутствием радиальной симметрии (см. рис. 3) и ошибками сведения по большому числу снимков, полученных в разных условиях.

На рис. 4 (кривая 1) видно, что для звезд ярче  $15^m$  протяженность ореола определяется яркостью звезды и фона неба, типом фотомульсии и наличием фильтра, крупномасштабными деформациями поверхности зеркала и наличием дефектов и пыли на нем. Для звезд слабее  $20^m$  определяющим становится атмосферное качество изображения и яркость фона. Диаметр слабой звезды для БТА за атмосферой на порядок меньше, чем наблюдаемый при лучшем качестве изображения на БТА [6].

Суммарная площадь ореолов для слабых звезд больше, чем для ярких. Так, для средней плотности звезд по небу в  $14'$  поле БТА с вероятностью 50% попадают: 1 звезда ярче  $11^m$ , 3 — ярче  $12^m$ , 7 —  $13^m$ , 42 —  $15^m$ , 270 —  $17^m$ , 800 —  $19^m$ , 2500 —  $21^m$  [7]. Ореолы звезд  $11^m$ — $12^m$  будут занимать лишь 1—2% площади поля, а звезд  $20^m$ — $21^m$  — уже 10—20% поля.

Анализ рис. 4 убеждает в необходимости учета влияния ореолов во всех случаях фотометрии слабых (слабее  $23^m$  с кв. угл. сек.) и слабоконтрастных объектов в соседстве с яркими звездами или протяженными объектами с большим перепадом яркости. Корректный учет фотометрических ошибок, вносимых ореолами, возможен на снимках лишь после построения модели ореола по звездам этого же снимка. Использование быстродействующих двухкоординатных микрофотометров типа «АМД-1» [8] с обработкой снимков на ЭВМ позволяет надеяться на успешное решение этой достаточно громоздкой задачи. В случае использования панорамных приемников типа ПЗС-матриц можно учитывать влияние ореолов в процессе экспозиции путем обработки регистрируемого изображения на

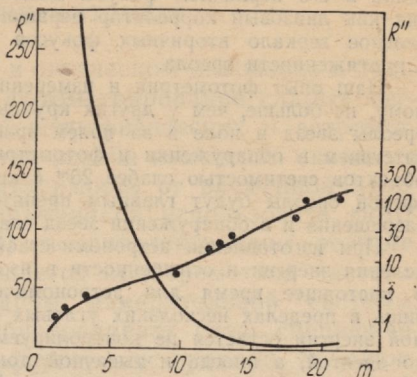


Рис. 4. Зависимость радиуса ореола на 10%-ном уровне от фона неба для предельных снимков БТА на фотопластинках 103аО (кривая 1), распределение яркости ореола нулевой величины, яркость —  $m$  в звездных величинах с кв. с. (кривая 2)



быстродействующей ЭВМ. Для одноэлементных фотометров и при спектрофотометрических наблюдениях учет влияния ореолов практически невозможен.

**Выводы.** Мы рассмотрели ореолы для 6-метрового зеркала и фотопластинки в его первичном фокусе. Введение других оптических элементов, таких как линзовый коррелятор первичного фокуса, гиперболическое и диагональное зеркало вторичных фокусов БТА, приводит к усилению яркости и протяженности ореола.

Наш опыт фотометрии и измерения ореолов на БТА, которые, по-видимому, не больше, чем у других крупных телескопов, показывает, что именно ореолы звезд в поле и за полем зрения телескопа являются главным препятствием в обнаружении и фотометрии звезд слабее  $24^m,0$  и протяженных объектов светимостью слабее  $25^m$  с кв. угл. сек. При наблюдениях за атмосферой ореолы будут главным препятствием в достижении дифракционного разрешения и в обнаружении звезд слабее  $25^m$ .

При изготовлении астрономической оптики необходим контроль распределения энергии и освещенности в изображении точки до края поля зрения. В настоящее время для астрономических зеркал эти измерения ведутся лишь в пределах нескольких угловых секунд и обычно более 1% рассеиваемой энергии остается не контролируемой [9]. Выше отмечено, что достаточно десятой, а иногда и тысячной доли процента рассеянного света яркого объекта, чтобы создать неравномерный фон и исказить фотометрию по всему полю зрения.

Подводя итог исследованию ореолов БТА, можно сделать следующие выводы:

1. При разности яркости объектов в  $10^9 \div 10^{10}$  раз ореолы ярких объектов простираются на десятки угловых минут, часто достигая края поля зрения телескопа. Неравномерный, трудноучитываемый фон ореолов является главным препятствием в обнаружении и фотометрии слабых объектов и в достижении дифракционного разрешения.

2. Основными причинами образования ореолов являются отражение и рассеяние света между светофильтром и фотозмульсией, отражение в стеклянной подложке фотопластинки, дифракция света на элементах конструкции телескопа, рассеяние и дифракция на микродефектах зеркала и пылинках. Есть возможности ослабления каждой из этих составляющих.

3. Переменная составляющая ореола возникает вследствие фазовых искажений волнового фронта на крупномасштабных термодетонациях 6-метрового зеркала и возможно ее устранить заменой зеркала на ситалловое.

**Список литературы:** 1. Коровяковский Ю. П., Шабанов М. Ф. Предварительные результаты определения проникающей силы БТА.—Оптико-мех. пром-сть, 1978, № 5, с. 21—23. 2. Караченцев И. Д. Результаты исследования методом Гартмана второго главного зеркала БТА.—Письма в Астрон. журн., 1980, № 1, с. 3—6. 3. Снежко Л. И. Подсчеты числа галактик до 25-й видимой звездной величины.—Письма в Астрон. журн., 1980, № 10, с. 667—670. 4. Брейдо И. И. Оценка роли рассеяния света фотографическим слоем в увеличении диаметра фотографического изображения ярких звезд на негативах 6-метрового телескопа.—Астрон. циркуляр, 1979, № 1073, с. 2—4. 5. Михельсон Н. Н. Оптические телескопы, теория и конструкция.—М.: Наука, 1976.—512 с. 6. Шабанов М. Ф., Тихонов Н. А. Информативность снимков первичного фокуса БТА.—Астрон. циркуляр, 1979, № 1085, с. 5—7. 7. Аллен К. У. Астрофизические величины.—М.: Мир, 1977.—448 с. 8. Назаренко А. Ф. Автоматизированная система обработки панорамных изображений.—Изв. САО, 1981, 13, с. 98—101. 9. Витриченко Э. А. Исследования астрономической оптики.—М.: Наука, 1980.—196 с.

Поступила в редколлегию 06.12.82.



А. Д. ЕГОРОВ, канд. физ.-мат. наук,  
Л. И. ЕЛЕНСКАЯ, И. Г. СКУРАТОВСКИЙ

### РЕГИСТРИРУЮЩИЙ ФОТОМЕТР

Астрономические наблюдения в оптическом диапазоне в большинстве случаев предполагают фотометрирование слабых световых потоков. Обширный класс астрофизических и астрометрических задач решается изучением закона изменения светового потока на входе фотометра в зависимости от временной координаты. Если в качестве светоприемников использовать фотоэлектронные умножители (ФЭУ) в одноэлектронном режиме, то задача фотометрирования решается прибором типа частотомера. Частотомер является ядром измерительной системы, а каждая конкретная задача обуславливает свою специфическую периферийную часть. Периферия, как правило, по сложности и объему составляет основную часть системы в целом.

Рассмотрим беспроцессорный комплекс регистрирующей аппаратуры, предназначенной для фотометрирования световых потоков и запоминания измеренной и сопутствующей информации. Он состоит из счетчика фотонов с внутренними часами и регистратора выходных данных. В качестве регистратора применяется кассетный магнитофон с оперативной памятью.

Регистрирующая система состоит из следующих компонентов: фотометра с фотоэлектрической головкой; устройства подготовки данных «Аккорд-06», состоящего из дисплейного модуля ДМ-500 и кассетного накопителя с контроллером; совокупности стыковочных узлов для реализации стандартного интерфейса при компоновке системы.

При разработке системы особое внимание обращалось на удовлетворение следующих требований:

регистрировать данные необходимо в таком виде, который обеспечил бы дальнейшую полную машинную обработку без затраты ручного труда;

стыковка компонентов должна производиться единообразно в соответствии с требованиями избранной системы.

Первое требование связано с тем, что каждую серию измерений обычно сопровождают служебные записи в аппаратном журнале, без привлечения которых полная машинная обработка данных эксперимента невозможна. Последующее занесение служебной информации на машиночитаемые носители сопряжена с дополнительной затратой ручного труда и увеличивает вероятность появления ошибок. Кроме того, часть служебной информации может быть считана автоматически с органов управления инструментом и измерительными приборами.



Второе требование обеспечивается единой системой сигналов и связей — единым интерфейсом. При его разработке за основу был взят интерфейс 2КС, т. е. интерфейс устройства «Аккорд-06». Каждое устройство имеет входной (выходной) регистр байтового формата (восемь информационных и один контрольный разряд). Регистры являются сдвигающими и обеспечивают как параллельную (по байтно), так и последовательную (по битно) передачу данных. Последовательная организация информационных потоков применяется при малых средних скоростях поступления информации. Она позволяет в значительной степени сократить количество информационных шин по сравнению с параллельным вариантом

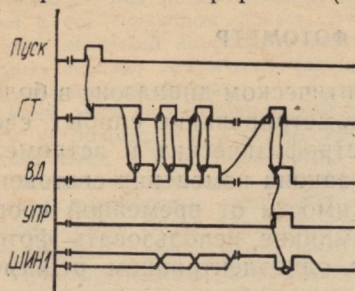


Рис. 1. Диаграмма работы интерфейса

и ее удобно применять при большом взаимном удалении компонентов.

В случае параллельной передачи данных используется восемь информационных шин, одна шина контроля и четыре служебные. В число служебных входят две линии управления — «ПУСК» и «УПР», а также две линии идентификации «ВД» (выдано) и «ГТ» (готовность). Диаграмма работы интерфейса представлена на рис. 1. Сигнал «ПУСК» от передатчика информации инициирует подключение к линии связи устройства записи и в случае готовности оно отвечает сигналом «ГТ». По этому сигналу передатчик выставляет на информационные шины байт данных, сопровождая его сигналом «ВД». По сигналу «ВД» устройство записи принимает байт информации и, приняв его, снимает сигнал «ГТ». Передатчик снимает сигнал «ВД» и информацию с шин. В ответ устройство выставляет сигнал «ГТ», т. е. оно готово к приему следующего байта. По окончании передачи передатчик выдает байт информации с младшим битом, равным 0, сопровождая его сигналами «ВД» и «УПР». В ответ будет сброшен сигнал «ГТ» и передача данных прекращается.

Ядром регистрирующей системы является фотометр со следующими техническими характеристиками: мертвое время счетчика равно 13 нс; время фотометрирования от  $2^{-4}$  до  $2^3$  с; количество регистрируемых двоичных разрядов равно 16. Фотометр состоит из двух блоков — фотоэлектрической головки (ФЭГ) и измерительного блока.

В состав фотоэлектрической головки входят: фотоэлектронный умножитель (ФЭУ-79), селектор одноэлектронных импульсов, быстрый счетчик и кабельный усилитель. Электрическая схема фотоэлектрической головки изображена на рис. 2. Функ-



ционирует она следующим образом. Импульсный сигнал с анода фотоумножителя ФЭУ-79 поступает на один из входов компаратора D1. Напряжение на втором входе компаратора заставлено источником тока на полевом транзисторе D1.

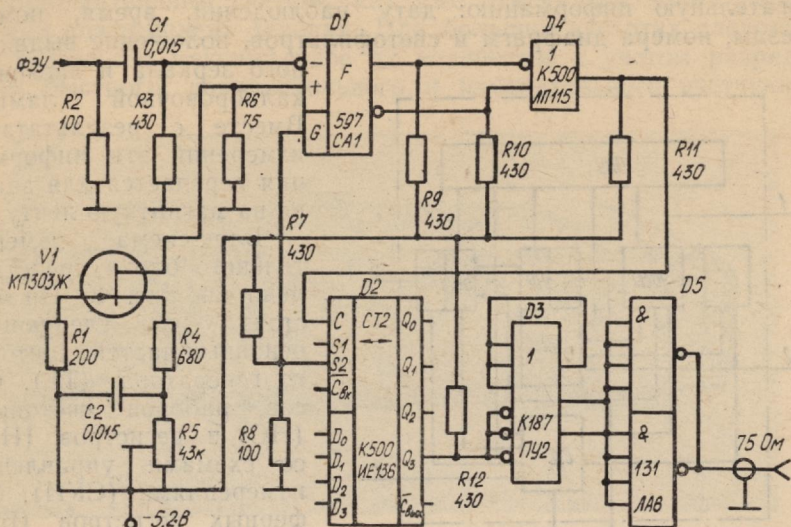


Рис. 2. Схема фотоэлектрической головки

С выхода компаратора через развязывающий элемент D4 импульсы поступают на четырехразрядный быстрый счетчик D2 и далее через преобразователь уровней D3 и кабельный усилитель D5 на выход.

С фотоэлектрической головки импульсы подаются на измерительный блок, где производится их счет. Среднее количество импульсов пропорционально световому потоку на фотокатоде ФЭУ за время измерения. Результаты измерений отображаются на индикаторной панели и одновременно выдаются на выход блока для записи на магнитную ленту для последующей обработки на ЭВМ.

Количество импульсов, зарегистрированных измерительным блоком, определяют по формуле  $x = M_1 M_2 K$ , где  $M_1$  — модуль пересчета быстрого счетчика фотоэлектрической головки;  $M_2$  — модуль пересчета дополнительного счетчика;  $K$  — показание шкалы прибора.

$M_1 = 16$ , а  $M_2$  может принимать шесть значений (1, 2, 4, 8, 16, 32), которые устанавливаются переключателем на передней панели прибора. Показание шкалы  $K$  может принимать значения от 0 до 65535. Время счета импульсов может меняться пропорционально целой степени двойки от 1/16 до 8 с переключением.



чателем на передней панели прибора. Максимальная величина относительной погрешности прибора равна  $\pm(10^{-5} + \frac{1}{K})$ .

Прибор индицирует на передней панели следующую вспомогательную информацию: дату наблюдений, время, номер звезды, номера диафрагм и светофильтров, положение выдвижного зеркала и заслонки калибровочной лампы. Вместе с результатами измерений эта информация передается для записи на магнитную ленту.

Блок-схема измерительного блока представлена на рис. 3. Он состоит из следующих основных частей: тактового генератора (ТГ), часов, наборов счетчиков (НС) и регистров (НР) со схемами управления измерениями (СУИ), буферных регистров (БР) с согласующими схемами (СКС), схемами управления и синхронизации (СУС), панели индикации и управления (ПИУ).

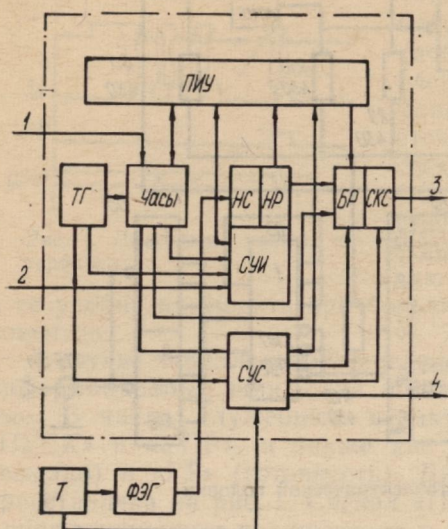


Рис. 3. Измерительный блок:  
1 — «пуск» часов; 2 — «пуск» измерений; 3 — информационные шины; 4 — шины идентификаторов

Тактовый генератор ТГ содержит кварцевый генератор на 1 МГц и формирователь серии

различных импульсов, используемых для синхронизации работы всех устройств блока.

Часы производят отсчет по шкале гражданского и звездного времени. Имеется возможность предварительной установки времени, пуска и останова часов с передней панели прибора и пуска от внешнего синхросигнала.

Набор счетчиков НС содержит три счетчика: двоичный, десятичный и дополнительный.

Двоичный и десятичный счетчики являются измерительными. Они работают параллельно и передают результаты счета в набор НР, откуда десятичные данные поступают на переднюю панель блока ПИУ, а двоичные — в буферный регистр БР для записи на промежуточный носитель.

Разрядность двоичного счетчика равна 16, а десятичный счетчик содержит пять декад. Переполнение разрядной сетки регистрируется по двоичному счетчику, поэтому максимальное



число, которое регистрируют измерительные счетчики, составляет 65535. Переполнение индицируется кодом 99 999 на панели индикации и единицами во всех разрядах в буферном регистре для записи на промежуточный носитель.

Дополнительный счетчик, как уже отмечалось, имеет переменный коэффициент деления. При больших частотах следования импульсов максимальное их количество с учетом разрядности быстрого, дополнительного и измерительного счетчиков

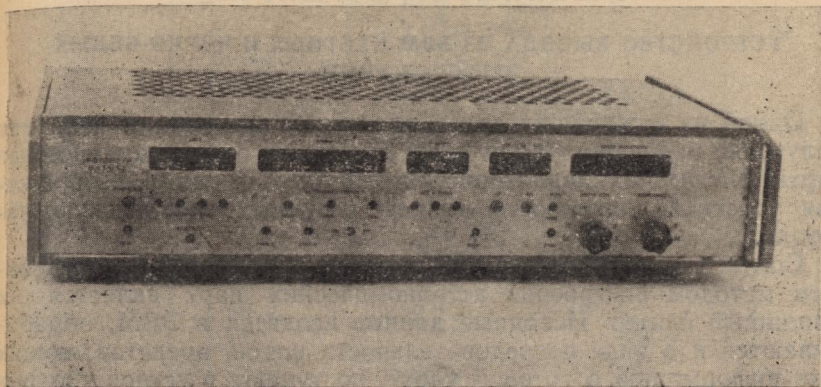


Рис. 4. Фотометр

составляет  $2^5$  за один отсчет. В предположении пуассоновского распределения импульсов достаточно регистрировать только половину разрядной сетки счетчика, т. е. 13 двоичных разрядов. Это с запасом обеспечивается 16-разрядным измерительным счетчиком. В случае слабых потоков становятся существенными потери от округления за счет отсутствия возможности снять информацию с быстрого 4-разрядного счетчика фотоэлектрической головки. Эти потери становятся ощутимыми при регистрации  $2^8$  импульсов на отсчет и меньше. При этом коэффициент деления дополнительного счетчика должен быть равным единице.

СУИ по сигналам с ПИУ задает время измерения, производит «ПУСК» и «ОСТАНОВ» измерений. СУИ позволяет производить «ПУСК» измерений от внешнего синхросигнала, она регистрирует переполнение и формирует коды переполнения. БР служит для промежуточного хранения измерительной и вспомогательной информации при передаче ее для записи на промежуточный носитель. СКС обеспечивают последовательно-параллельную передачу информации и согласование с линией связи. СУС синхронизируют работу всех устройств блока, проводят начальную установку всех схем при включении питания, управляют передачей информации и обеспечивают взаимодействие с устройствами хранения информации. ПИУ отображают всю



измерительную и вспомогательную информацию. На ней сосредоточены все органы управления измерительным блоком. Внешний вид фотометра представлен на рис. 4.

Фотометр изготовлен в трех экземплярах, испытан в лабораторных условиях и в настоящее время монтируется на телескопе.

УДК 520.82

С. А. КАНЫГИН, В. Д. ШАРЫИ

### УСТРОЙСТВО ВЫВОДА ИЗ ЭВМ ЦВЕТНЫХ И ЧЕРНО-БЕЛЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Одной из важнейших задач планетной астрономии является получение различного рода карт. Это могут быть традиционные карты оптических характеристик или же объемные изображения участков поверхности планет, несущие тематическую нагрузку.

Согласно литературным данным [1, 2] наиболее перспективным методом построения астрономических карт является их машинный синтез. Исходные данные вводятся в ЭВМ, обрабатываются и в виде последовательности кодов, представляющих уже информацию о готовой карте, поступают в устройство вывода, которое преобразует цифровую информацию в собственно карту.

Наша промышленность выпускает вполне пригодные для синтеза астрономических карт ЭВМ, но устройства вывода пока отсутствуют. Такие устройства создаются чаще всего на базе фототелевизионного оборудования [1, 2] или с использованием оптико-механических узлов станций факсимильной связи [1—3]. Последний путь, как показывает опыт, предпочтительнее, так как механика факсимильных аппаратов обеспечивает более высокую точность выводимых карт.

В Институте радиофизики и электроники АН УССР было разработано и изготовлено устройство вывода синтезированных на ЭВМ изображений, описываемое в статье. Устройство создано на базе приемного факсимильного аппарата «Нева». Оно позволяет выводить на ЭВМ ЕС 1020 цветные и черно-белые изображения и успешно используется для получения планетных карт. Формат выводимого изображения  $20 \times 25$  см<sup>2</sup>, оно состоит из  $1024 \times 1280$  элементов. Яркость или цветность каждого элемента представлена одним байтом выводимой из ЭВМ информации. Если изображение черно-белое, воспроизводится 256 градаций яркости, а если цветное — 256 цветов. В устройстве используется плоская пленка формата  $24 \times 30$  см<sup>2</sup>. Для цветных карт — типа ЦНЛ-32, а для черно-белых — «Фото-65».

Функциональная схема устройства приведена на рис. 1. Доработка механики аппарата «Нева» свелась к замене черно-



белого светооптического узла на цветной и установке датчика угла поворота барабана. Электродвигатель ЭД через редуктор вращает развертывающий барабан с закрепленной на нем фотопленкой со скоростью 2 об/с и микрометрический винт со

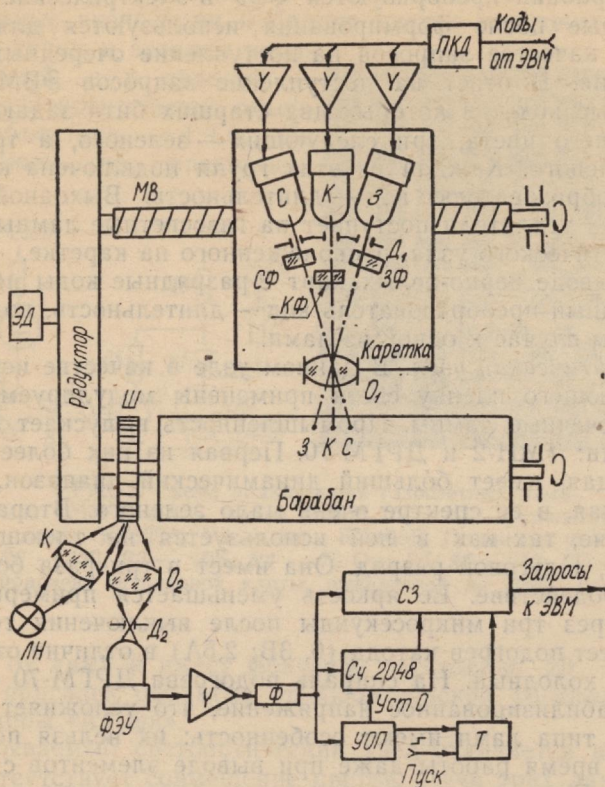


Рис. 1. Функциональная схема устройства вывода: ЭД — электродвигатель ГСД-321; МВ — микрометрический винт; У — усилитель; ПКД — блок преобразования код—длительность; С, З, К — газосветные лампы синего, зеленого, красного каналов, а также лучи света соответствующих цветов; СФ, КФ, ЗФ — синий, красный, зеленый фильтры; Д1 — диафрагма светооптического узла; Д2 — диафрагма датчика угла поворота; О1 — объектив светооптического узла; О2 — объектив датчика угла поворота; ЛН — лампа накаливания СЦ-80; К — конденсор; Ш — шкала датчика угла поворота; Ф — формирователь; СЗ — схема запрета; СЧ — счетчик; УОП — узел опознавания пробелов; Т — триггер пуска

скоростью, обеспечивающей продольное перемещение каретки со светооптическим узлом на один элемент изображения за один оборот барабана. Каретка, связанная с микрометрическим



винтом прецизионной гайкой, движется вдоль барабана по двум направляющим. Таким образом, осуществляется развертка выводимого изображения по двум координатам.

Световые импульсы со штриховой шкалы датчика угла поворота барабана преобразуются ФЭУ в электрические импульсы, которые после формирования используются для подачи в ЭВМ в качестве запросов на поступление очередных байтов информации. В ответ на поступление запросов ЭВМ выдает 8-разрядные коды, в которых два старших бита задают экспозицию синего цвета, три следующих — зеленого, а три младших — красного. Каждая из этих групп подключена к отдельному преобразователю код — длительность. Выходной сигнал с них через усилители поступает на газосветные лампы цветного светооптического узла, расположенного на каретке.

При выводе черно-белых карт 8-разрядные коды поступают в 8-разрядный преобразователь код — длительность, подключаемый в этом случае к одной из ламп.

*Светооптический узел.* В данном узле в качестве источников экспонирующего пленку света применены модулируемые газосветные точечные лампы. Промышленность выпускает два типа таких ламп: ТМН-2 и ДРГМ-70. Первая из них более быстродействующая, имеет больший динамический диапазон, но она менее яркая, в ее спектре очень мало зеленого. Вторая значительно ярче, так как в ней используется не тлеющий (как в ТМН-2), а дуговой разряд. Она имеет в три раза более низкое быстродействие. Ее яркость уменьшается примерно наполовину через три микросекунды после выключения тока. Эта лампа имеет подогрев катода (6, 3В; 2,5А) в отличие от ТМН-2, где катод холодный. На спираль подогрева ДРГМ-70 надо подавать стабилизированное напряжение, что усложняет аппаратуру. Оба типа ламп имеют особенность: их нельзя полностью гасить во время работы даже при выводе элементов с нулевой яркостью. Если уменьшить ток через лампу ниже некоторого предела, она теряет быстродействие. Этот предел ищется экспериментально, и если для ТМН-2 он, как правило, не более 0,05 от ее паспортного тока в 16 мА, то для ДРГМ-70 он может быть порядка одного миллиампера при максимальном токе этой лампы 70 мА. В спектре лампы ДРГМ-70 много синего и зеленого, но в красной области ее свечение малозаметно. Следовательно, чтобы перекрыть излучением ламп всю рабочую область спектра, надо применять совместно оба типа.

В описываемом устройстве в синем и зеленом каналах применены лампы ДРГМ-70, а в красном — ТМН-2. Непосредственно перед лампами установлена диафрагма с отверстиями диаметром 5 мм. Центры отверстий расположены на осях, проведенных из центров областей излучения ламп в центр объектива, фокусирующего изображения светящихся областей на пленку. Диафрагма ослабляет засветку пленки светом, рассеянным



в оптическом узле. Непосредственно за диафрагмой установлены светофильтры. Они взяты из набора образцовых оптических стекол. Красный фильтр — КС-11, зеленый — ЗС-11. Синий фильтр СС-15 применен в комплекте с нейтральными НС-9 из-за повышенной чувствительности пленки ЦНЛ-32 в синей области. Нормальные экспозиции и баланс цветов получены при токах ламп в синем и зеленом каналах 50 мА, а в красном — 10 мА. Относительное отверстие объектива — 1:4,5. Он расположен на расстоянии

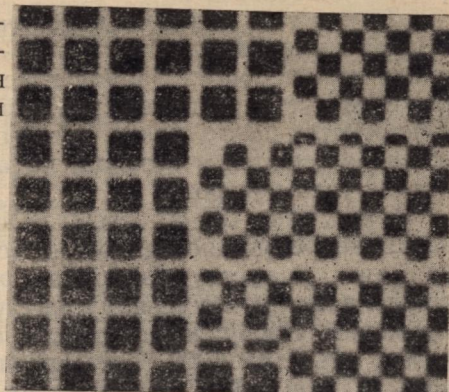
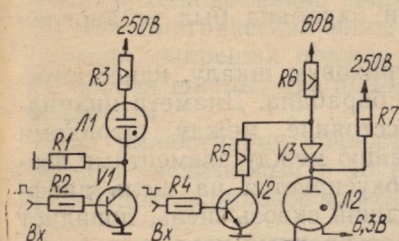


Рис. 2. Схема подключения газосветных ламп:

Л1 — лампа ТМН-2; Л2 — лампа ДРГМ-70-2; V1 — транзистор КТ604Б; V2 — транзистор КТ809А; V3 — диод КД105Б. Номиналы резисторов: R1 — 1,0; R2 — 330; R3 — 10К; R4 — 75 Ом; R5, R6 — 510; R7 — 220К

Рис. 3. Фрагмент штриховой карты, выведенной из ЭВМ (ув. в 10 раз)

150 мм от ламп и имеет фокусное расстояние 20 мм. Здесь вполне пригоден объектив от любительской 16-миллиметровой кинокамеры «Альфа».

Описываемый светооптический узел отличается простотой — в нем отсутствует совмещение цветов. Лучи трех ламп фокусируются в три пятна на барабане. Расстояние между пятнами — около 20 строк изображения. Совмещение цветовых полей карты производится программно на ЭВМ. Заключается оно в следующем. При выводе изображения сначала выводится его синяя компонента. Красную компоненту ЭВМ задерживает на 20 строк, т. е. пока красное пятно не переместится как раз на место синего, вследствие поступательного движения каретки. Зеленую часть карты ЭВМ задержит, естественно, на 40 строк.

**Подключение газосветных ламп.** Схемы подключения ламп приведены на рис. 2. Чтобы зажечь лампу ТМН-2, надо подать положительный перепад на базу транзистора V1. Резистор R1 установлен для поддержания тока, при котором лампа еще сохраняет быстродействие — тока дежурного разряда. Лампу ДРГМ-70 из-за необходимости заземления ее катода пришлось включить параллельно каскаду на транзисторе V2. Когда V2



заперт, лампа светится за счет тока через  $R6$ . Если же транзистор открыт, ток ответвляется через  $R5$ , напряжение на аноде лампы уменьшается, и она снижает яркость излучения до уровня, заданного током дежурного разряда через  $R7$ . Различные экспозиции элементов выводимых карт получаются за счет подачи на входы описанных выше схем зажигающих импульсов разной длительности.

*Датчик угла поворота барабана.* При исследовании аппарата «Нева» выяснилось, что точность позиционирования элементов вдоль строки, определяемая качеством редуктора, значительно ниже точности расположения строк, зависящей в основном от микрометрического винта. Чтобы повысить точность расположения элементов в строках, на оси барабана был установлен датчик угла поворота.

Лампа типа СЦ-80 освещает штриховую шкалу, нанесенную на цилиндре, установленном на оси барабана. Диаметр цилиндра равен диаметру барабана, расстояние между штрихами шкалы равно номинальному расстоянию между элементами изображения. Изображение шкалы фокусируется на щель диафрагмы объективом 02. Свет, прошедший сквозь щель, попадает на ФЭУ. Ток с ФЭУ поступает на электронный узел, вырабатывающий запросы в ЭВМ на передачу очередных байтов информации.

Штриховую шкалу датчика можно изготовить на том же фототелеграфе, который предполагается переделать. Способ изготовления шкалы, предложенный А. А. Бабичевым [1], состоит в следующем.

В черно-белом светооптическом блоке аппарата «Нева» [3] светящаяся область лампы ТМН проектируется конденсором на диафрагму, а изображение диафрагмы проектируется объективом на пленку. Отверстие диафрагмы имеет форму прямоугольника, причем поперек строки изображения оно в два раза шире, чем вдоль. Диафрагма вместе с оправкой поворачивается на  $90^\circ$ , лампа ТМН-2 ставится на непрерывное горение, и в таком режиме на аппарате «Нева» экспонируется несколько листов фотопленки. Затем из них можно вырезать шкалы. Пленку лучше применять на белой основе, так как шкала работает на отражение. Фотобумагу использовать для этой цели нежелательно, так как она ощутимо деформируется при проявлении и сушке. Готовую шкалу наклеивают на несущий цилиндр.

*Узел формирования запросов.* Импульсы, соответствующие штрихам шкалы датчика угла поворота, с выхода ФЭУ поступают на усилитель, затем — на формирователь, «очищающий» сигнал от помех [4]. Сформированные импульсы поступают на вход 11-разрядного двоичного счетчика, на узел опознавания пробелов, а также через схему запрета — на ЭВМ в качестве запросов. Шкала датчика имеет более 1024 штрихов и пробел шириной около 10 мм. Первый штрих после пробела соответ-



ствуется запросу на первый элемент строки. Узел опознавания пробелов сбрасывает в «О» счетчик при прохождении пробела. Состояние «О» последнего триггера счетчика разрешает подачу запросов, так что первые 1024 импульса от шкалы поступят в ЭВМ, а затем последний триггер счетчика перейдет в «1», и поступление запросов прекратится до следующего пробела.

Электронный узел содержит также триггер пуска, благодаря которому запросы после включения устройства начинаются с начала строки. Отсутствие сигнала «пуск» принудительно держит триггер в состоянии, когда подача запросов запрещена сигналом с его выхода. Сигнал «пуск» подается оператором с кнопки, одновременно подключающей механически к редуктору микрометрический винт. Триггер пуска остается в том же состоянии, запрещая подачу запросов, пока не встретится первый пробел шкалы, что вызовет переброс этого триггера и снятие запрета.

Для иллюстрации точности работы устройства на рис. 3 приведен увеличенный в 10 раз фрагмент выведенной из ЭВМ черно-белой штриховой карты.

**Список литературы:** 1. Система цифровой обработки изображений/А. Я. Усков, А. А. Бабичев, Н. К. Заец.—Вестн. АН УССР, 1977, № 10, с. 47—65. 2. Цифровая обработка изображений в ИРЭ АН УССР/А. А. Бабичев, А. Д. Егоров, Н. К. Заец.—Вестн. Харьк. ун-та, № 223. Методы обработки астрономических и космических изображений, 1981, вып. 16, с. 6—16. 3. Мельник С. О. Оператор факсимильных связей.—М.: Связь, 1978.—128 с. 4. Каныгин С. А. Подавитель дребезга контактов.—Радио, 1981, № 12, с. 45—51.

Поступила в редколлегию 15.09.82.

УДК 521.932

Ю. А. ЕГОРОВ

## ШЕСТИКАНАЛЬНЫЙ СПЕКТРОФОТОМЕТР С ДВУХКООРДИНАТНЫМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ СКАНИРОВАНИЕМ

Известно большое количество многоцветных одноканальных и многоканальных фотометров с разделением цветных каналов как с помощью фильтров, так и с помощью спектральных приборов. Фильтровые фотометры обычно имеют сменные фильтры с ручным или автоматическим приводом и общим светоприемником — фотоэлектронным умножителем [1]. Основным недостаток таких фотометров — неодновременность фотометрирования одной и той же детали изображения через различные фильтры, так как из-за нестабильности оптических свойств земной атмосферы изображение фотометрируемого участка может несколько смещаться и, следовательно, измерения, проведенные с различными фильтрами, не будут вполне однозначно соответствовать одному и тому же участку изображения. Кроме того,



пропускание фильтров даже в максимуме весьма далеко от единицы и поэтому сопровождается большими потерями света.

Одна из систем многоканальных фотометров [2] основана на том, что после пространственного разделения по спектральным каналам световой поток распределяется на несколько светоприемников. Главным недостатком таких фотометров является необходимость использования нескольких светоприемников с индивидуальными флуктуациями параметров, создающими погрешности измерений, сравнимые по величине с ожидаемым цветовым контрастом, особенно когда эти контрасты невелики, как, например, на лунной поверхности. Некоторая индивидуальная нестабильность (сползание параметров, хотя и медленно происходящее [3]) заставляет время от времени останавливать измерения и выравнивать чувствительность каналов. Известен также прибор, в котором частично устраняются указанные недостатки путем использования быстросменяемых светофильтров, одного общего светоприемника и синхронного со сменой фильтров переключения накопителей. Однако один из основных недостатков фильтровых фотометров — большие потери света — при использовании узкополосных фильтров остался неустранимым.

При разработке описанного ниже спектрофотометра особое внимание было уделено устранению указанных недостатков, для чего разделение цветовых каналов осуществлено с использованием призменного спектрографа, обеспечившего минимальные потери света. Погрешности из-за разброса параметров каналов исключены применением одного общего светоприемника, а сами каналы для получения эффекта практической одновременности измерений сделаны быстропереключаемыми с многократным повторением цикла измерений за время накопления информации от одного элемента изображения. Так как основная задача данного спектрофотометра — работа со слабыми световыми потоками, то в нем был применен метод счета фотонов с временем накопления сигнала при единичном измерении, как правило равным 3 с. При работе особо слабыми световыми потоками, например при полной фазе лунного затмения, время накопления может устанавливаться равным 30 с. Число интервалов длин волн и, следовательно, каналов принято равным шести. Предусмотрена возможность введения в оптический тракт двухкоординатного пространственного устройства. При частоте переключения каналов 50 Гц каждую секунду обеспечивается не менее восьми измерений в каждом цвете.

На рис. 1 приведена обобщенная оптико-механическая и электрическая блок-схема спектрофотометра, на которой для облегчения чтения применено смешанное буквенно-цифровое обозначение элементов схемы.

Спектрофотометр устроен следующим образом: в оптическом тракте от телескопа  $T$  до фотоэлектронного умножителя  $\Phi$



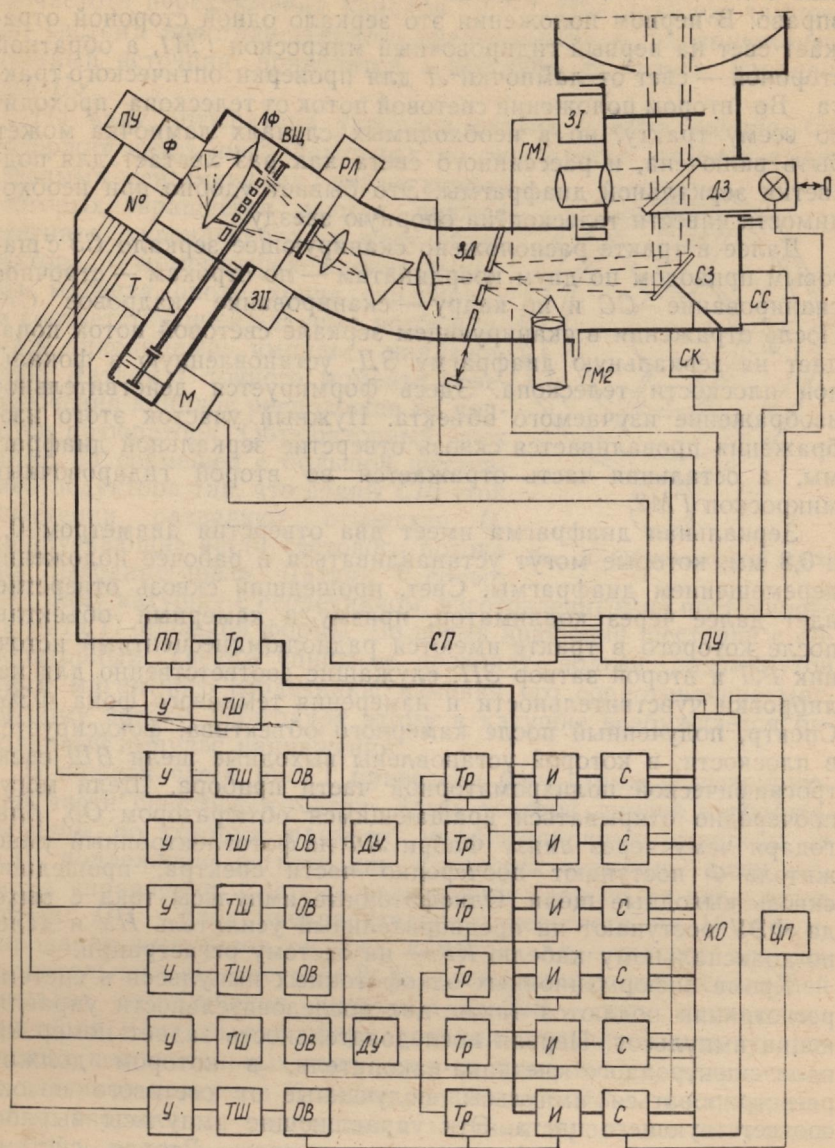


Рис. 1. Блок-схема спектрофотометра



установлены первый затвор  $З1$ , двухстороннее плоское зеркало  $ДЗ$ , которое может находиться в двух положениях — введенным в световой поток (как на рис. 1) и выведенным из потока вправо. В первом положении это зеркало одной стороной отражает свет на первый гидировочный микроскоп  $ГМ1$ , а обратной стороной — свет от лампочки  $Л$  для проверки оптического тракта. Во втором положении световой поток от телескопа проходит по всему тракту, но в необходимых случаях лампочка может быть включена, и рассеянного света как раз хватает для подсветки зеркальной диафрагмы. Это бывает удобно при необходимости навести телескоп на опорную звезду.

Далее в тракте расположено сканирующее зеркало  $СЗ$  с шаговым приводом по двум координатам — по строкам — строчное сканирование  $СС$  и по кадру — сканирование кадровое  $СК$ . После отражения в сканирующем зеркале световой поток попадает на зеркальную диафрагму  $ЗД$ , установленную в фокальной плоскости телескопа. Здесь формируется действительное изображение изучаемого объекта. Нужный участок этого изображения проваливается сквозь отверстие зеркальной диафрагмы, а остальная часть отражается во второй гидировочный микроскоп  $ГМ2$ .

Зеркальная диафрагма имеет два отверстия диаметром 0,1 и 0,8 мм, которые могут устанавливаться в рабочее положение перемещением диафрагмы. Свет, прошедший сквозь отверстие, идет далее через коллиматор, призму и камерный объектив, после которого в тракте имеются радиолюминесцентный источник  $РЛ$  и второй затвор  $ЗИ$ , служащие соответственно для калибровки чувствительности и измерения темного фона ФЭУ. Спектр, полученный после камерного объектива, фокусируется в плоскости, в которой установлены выходные щели  $ВЩ$  спектрографической полихроматорной части прибора. Щели могут поочередно открываться вращающимся обтюратором  $Об$ , благодаря чему через линзу Фабри  $ЛФ$  на фотоэлектронный умножитель  $Ф$  поступают поочередно части спектра, прошедшие сквозь выходные щели. Однофотонные импульсы тока с выхода ФЭУ поступают на предварительный усилитель  $ПУ$  и далее по коаксиальному кабелю  $КК$  — на систему регистрации.

Кроме информационных однофотонных импульсов в систему регистрации подаются также две последовательности управляющих импульсов. Первая последовательность задает номер канала электронного счетчика-накопителя, в котором должны регистрироваться импульсы, полученные от светового потока соответствующего цвета. Эти управляющие импульсы вырабатываются датчиком, обозначенным номером. Вторая система управляющих импульсов, выдаваемая датчиком  $Т$ , задает точный момент переключения каналов электронным переключателем системы регистрации. Обтюратор  $Об$  приводится во вращение через шестеренчатый редуктор с передаточным отноше-



нием 1/6. Малая шестерня этого редуктора вращается синхронным мотором *М* с частотой 50 об/с, благодаря чему достигается частота переключения каналов 50 Гц. Оба затвора, лампочка, система пространственного сканирования и радиOLUMи- несцентный источник приводятся в действие с пульта управления *ПУ*.

На валу обтюлятора укреплен датчик номера канала. Он содержит шесть расположенных по окружности катушек с железными сердечниками, возле концов которых вращается выступ полюса магнита, укрепленного на валу обтюлятора. В момент прохождения выступа магнита около конца сердечника в соответствующей катушке возбуждается биполярный импульс напряжения. Датчик *Т* точного момента переключения каналов расположен на корпусе обтюлятора. Обтюраторный диск (рис. 2) совмещен с большой шестерней редуктора так, что спицы *СШ* этой шестерни разделяют отверстия *О*, пропускающие части светового потока на выходные щели. Датчик *Т* содержит одну катушку с сердечником, изготовленным из постоянного магнита П-образной формы. Во время вращения шестерни с обтюраторным диском спицы ее проходят вблизи разомкнутой части магнитного сердечника, изменяя его сопротивление магнитному потоку. Благодаря этому в катушке возбуждается биполярный импульс напряжения.

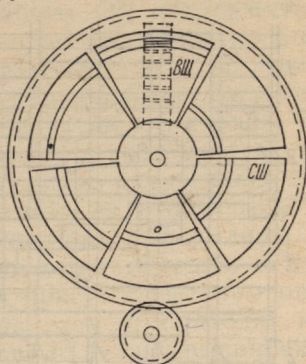


Рис. 2. Обтюраторный диск

В нижней части рис. 1 приведена блок-схема регистрирующей части спектрофотометра. Здесь толстой линией изображены цепи, по которым проходят информационные импульсы от ФЭУ, подлежащие регистрации, а тонкими линиями — цепи сигналов управления. Система регистрации состоит из следующих частей: *ПП* — блок предварительного пересчета на 10 и суммирования импульсов от всех каналов; *Тр* — триггер для дополнительного пересчета на 2; *У* — семь одинаковых усилителей сигналов от датчиков номера и *Т*; *ТШ* — семь одинаковых триггеров Шмидта для формирования прямоугольных униполярных положительных импульсов из биполярных, получаемых от датчиков номера и *Т* после усилителей; *ОВ* — шесть одинаковых вибраторов, запускаемых задними фронтами импульсов от *ТШ* и выдающих одиночные импульсы длительностью около 40 мс; *УД* — два дополнительных усилителя в цепи датчика *Т* для увеличения нагрузочной способности триггера *ТШ*, необходимой для одновременного запуска сразу шести триггеров *Тр*; *И* — схемы совпадений с управлением по трем входам,



служащие для поочередного пропуска импульсов от ФЭУ в счетчики *C*, в качестве которых использованы одноканальные счетные приборы типа ПСО-2еМ; *КО* — коммутатор опроса счетчиков для поочередного вывода результатов счета на цифропечатающее устройство ЦП типа БЗ-15.

Временная привязка работы этих узлов приведена на рис. 3. Здесь в единой шкале времени объединены 8 графиков. Гра-

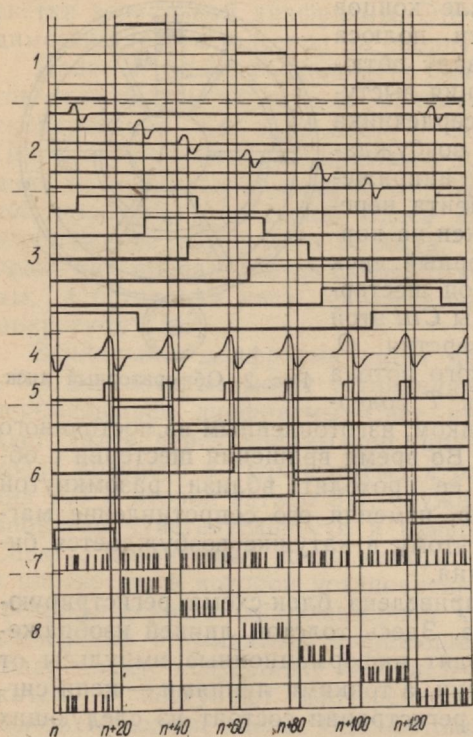


Рис. 3. Временная привязка работы узлов

сильно упростить изготовление датчика, так как требования к точности углового расположения сердечников катушек сильно снижаются. После усиления биполярного импульса в *У* и формирования из него в *ТШ* прямоугольного импульса задний фронт последнего запускает одновибратор *ОВ*.

Импульсы, генерируемые в *ОВ*, показаны на графике 3. Длительность этих импульсов выбирается так, чтобы рабочий интервал заведомо полностью перекрывался этим импульсом (40 мс). Работа датчика *Т* точного момента переключения каналов иллюстрируется графиком 4. В этом случае важно, чтобы

График 1 показывает взаимное расположение во времени интервалов, в течение которых при движении обтюраторного диска свет может проходить в выходные щели. Короткие отрезки времени, разделяющие конец засветки щели и начало засветки последующей, появляются при прохождении мимо выходной щели спицы шестерни, несущей обтюраторный диск. Длительность засветки составляет 18 мс, а пауза — 2 мс.

На графике 2 изображены эпюры напряжений, вырабатываемых в датчике номера канала. Расстояния этих сигналов от начала соответствующих интервалов времени могут быть довольно произвольными. Важно только, чтобы переход через ноль в биполярном импульсе был внутри своего интервала. Это позволяет



момент перехода через ноль напряжения в биполярном импульсе располагался внутри паузы между рабочими интервалами засветки. Этот ряд импульсов после усиления запускает триггер Шмидта, выходные импульсы которого представлены на графике 5.

Импульсы *ТШ* усиливаются в *УД* и своим задним фронтом, обусловленным спадом положительной части биполярного импульса, запускают триггеры *Тр*. Как видно на блок-схеме, *ОВ* связан не только со схемой *И*, но и со входом сброса триггера *Тр*. Благодаря этому, каждый такт работы *ОВ* поддерживает триггеры *Тр* в сброшенном состоянии до тех пор, пока на счетный вход не придет задний фронт импульса от *ТШ*. Следующий импульс от *ТШ* вернет этот *Тр* в первоначальное состояние и одновременно заставит сработать *Тр* следующего канала. Работа триггеров *Тр* показана на графике 6. На графике 7 дается последовательность однофотонных импульсов, приходящих после усиления и предварительного пересчета на входы схем *И*. Здесь изображены только импульсы, несущие информацию об исследуемом световом потоке и потому отсутствующие в паузах. На самом же деле внутри пауз присутствуют темновые импульсы. На три управляющих входа схем *И* приходят импульсы от *ОВ* (график 3), от *Тр* (график 6) и информационные (график 7). Сквозь схемы *И* проходят только те информационные импульсы, которые приходят на вход *И* при одновременном присутствии на двух других входах *И* напряжений импульсов от *ОВ* и от *Тр*. Результат такого совместного действия трех систем импульсов виден на графике 8. Эти пачки информационных импульсов поступают на счетчики *С* и накапливаются там в течение времени, обусловленного кварцевыми датчиками, встроенными в эти счетчики.

В нашем случае чаще всего использовалось время накопления, равное 3 с. Этот интервал оказался удобным, так как за это время накапливается точно двадцать пять пачек импульсов. По истечении указанного времени накопление прекращается и приводится в действие коммутатор опроса *КО*, который выводит накопление в счетчиках числа на блок цифропечати *ЦП*. После окончания процесса печати блок *ЦП* выдает на счетчики *С* сигнал управления, сбрасывающий их показания на ноль и включающий их снова в режим накопления.

Для удобства привязки к стандартным звездам при абсолютных измерениях, связанных с исследованиями поверхности Луны, спутников и атмосфер планет-гигантов было решено взять за основу систему Джонсона [4], включающую следующие длины волн: 0,36; 0,44; 0,55; 0,70; 0,90; 1,25 и т. д. Учитывая особенности поставленной задачи и примененной аппаратуры, были выбраны такие интервалы длин волн (мкм): 0,375—0,390; 0,439÷0,441; 0,498—0,501; 0,548÷0,550; 0,667—0,670 и 0,794÷÷0,820. Соответственно выбраны ширины выходных щелей



(мм): 0,30; 0,05; 0,05; 0,05, 0,15 и 3,00. Перечисленные ширины спектральных интервалов применены, чтобы компенсировать неравномерность спектральной чувствительности фотокатода использованного фотоэлектронного умножителя ФЭУ-79 и получить более равномерное распределение статистической точности по исследуемому диапазону.

Все устройство питается от нескольких источников питания, собранных в стойку питания СЛ. От этой стойки получают следующие стабилизированные напряжения: +10, —10 В, —27 и —2500 В для питания электронных устройств и ФЭУ, а также нестабилизированное напряжение —27 В для питания шаговых искателей и электромагнитов затворов и радиолюминесцентного источника. Мотор М, также как и часовой привод телескопа, питается от источника переменного тока частотой 50 Гц, стабилизированной кварцем, с тиристорным преобразователем мощностью около 100 Вт. Сама стойка включается в сеть переменного тока 220 В через прецизионный стабилизатор переменного тока типа П71-М.

Описанный спектрофотометр использовался для фотометрирования участков поверхности Луны в сезон 1981—1982 гг. и при наблюдении лунного затмения 9—10.01.82 г. совместно с телескопом РЦ-600 (Рефлектор Цейсса 600 мм) в 7,5 м в каскадированном фокусе. В течение всего затмения фотометрировался кратер Аристарх. Время накопления составляло 30 с. В полной фазе интенсивности отсчетов во всех каналах практически выровнялись на уровне 120—200 импульсов за 30 с, что является уровнем темнового фона, т. е. 4—7 имп/с. Максимальный же отсчет во время этих измерений составлял в одном из каналов 263851 имп, т. е. 8795 имп/с, что весьма далеко от границы начала нелинейности. Ниже приводятся значения отклонения от линейности в сторону занижения при обычном времени накопления в 3 с.

Число импульсов	%	Число импульсов	%	Число импульсов	%
≤40000	0	100000	8,2	160000	21
50000	1,3	110000	10	170000	23
60000	2,6	120000	12	180000	26
70000	3,8	130000	14	190000	30
80000	5,7	140000	16	200000	32,5
90000	6,7	150000	18,5	210000	36

Эта таблица составлена на основе измерений счетной характеристики спектрофотометра на оптической скамье длиной 1,5 м с перемещением радиолюминесцентного источника диаметром 3 мм, перемещаемого с шагом 50 мм.



**Список литературы:** 1. Егоров Ю. А., Карташов В. Ф. Опыт фотометрии диска Сатурна и его кольца В методом счета фотонов.— Исследование атмосфер планет-гигантов. Деп. ВИНТИ № 1733—76. Алма-Ата, 1976, с. 116—121. 2. Курс звездной астрофизики и звездной астрономии/Отв. ред. А. А. Михайлов. — М.: Наука, 1973. — Т. I. 419 с. 3. Егоров Ю. А. Этапы преобразования и компоненты сигнала в астрофизических исследованиях.— Исследования атмосфер планет-гигантов. Деп. ВИНТИ № 1733—76. Алма-Ата, 1976, с. 152—169. 4. Расчет импульсных устройств на полупроводниковых приборах/Т. М. Агаханян, А. Н. Кармазинский, А. В. Мезенцев, В. М. Онищенко.— М.: Сов. радио, 1975.—233 с.

Поступила в редколлегию 20.11.82.

УДК 523.4,52—6

Ю. В. АЛЕКСАНДРОВ, В. П. ТИШКОВЕЦ

# РАСЧЕТ МАТРИЦЫ РАССЕЯНИЯ СВЕТА ПОЧТИ СФЕРИЧЕСКИМИ ЧАСТИЦАМИ

Проблема учета формы и структуры реальных аэрозолей при изучении переноса излучения — одна из самых актуальных в физике планетных атмосфер. Эта задача важна также для других разделов науки и техники (гидрооптика, физика коллоидных растворов, лазерное зондирование атмосферы). Особо сложна при этом ситуация в области значений волнового параметра  $\rho \approx 1 \div 10$  и модуля показателя преломления  $|m| \geq 1,5$ , в которой нельзя воспользоваться приближениями Релея—Ганса и другими для малых и «мягких» частиц или асимптотиками для больших частиц при  $\rho \gg 1$ .

В работах [1—3] получено приближенное решение задачи о рассеянии света почти сферическими частицами, форма которых задается уравнением в сферических координатах

$$r = a(1 + \epsilon f(\theta, \varphi)), \quad (1)$$

где  $a$  — радиус равновеликой сферы;  $\epsilon$  — малый параметр; функция  $f(\theta, \varphi)$  — непрерывна и ограничена вместе со своими первыми производными. Найдены поправки первого и второго порядка малости по  $\epsilon$  к решению Ми для рассеянного поля и получен явный вид элементов матрицы рассеяния  $a_{ik}$  для системы хаотически ориентированных частиц вида (1).

Ниже приведены результаты расчетов матрицы рассеяния

для двух форм частиц: а)  $f(\theta, \varphi) = \frac{4}{3} P_2(\cos \theta)$  — сферонд,

сжатие которого равно  $2\epsilon$ ; б)  $f(\theta, \varphi) = P_4(\cos \theta)$  — тело вращения, меридиональное сечение которого имеет максимумы на полюсах и экваторе. Здесь  $P_n(\cos \theta)$  — полиномы Лежандра. Расчеты выполнены на ЭВМ ЕС-1022, программа составлена на языке ФОРТРАН. В целях контроля вычислений использованы соотношения для элементов амплитудной матрицы  $A_i$ :

$A_2^* A_3^* = A_3^* A_1^* = A_2^* A_4^* = A_4^* A_1^* = 0$ . Эти соотношения означают, что для хаотически ориентированных частиц матрица рассеяния имеет вид, аналогичный матрице для симметричных частиц



(см. выражения для элементов  $a_{ik}$  матрицы  $F$  через элементы амплитудной матрицы [4, гл. 5]). Цилиндрические функции и коэффициенты  $a_l$ ,  $b_l$ ,  $c_l$  и  $d_l$ , входящие в решение Ми, вычислялись с однократной точностью, достаточность чего была проверена счетом с двойной точностью. Коэффициенты Клебша—Гордана, входящие в ряды для поправок за несферичность, вычислялись с двойной точностью.

Вычисления выполнены для значения  $\rho = 2\pi a/\lambda = 5$  и трех значений комплексного показателя преломления  $m = 1,5$ ;  $1,5 + i0,065$  и  $1,7$ . Сравнение первого и второго случаев позволяет оценить влияние истинного поглощения, а первого и третьего— влияние изменения коэффициента преломления. Интервал  $m = 1,5 - 1,7$  включает значения, характерные для базальтов, составляющих основу пылевых аэрозолей в атмосфере Марса. А значение показателя поглощения  $\kappa = 0,065$  может служить оценкой сверху величины  $\kappa$  для силикатов и удобно тем, что в работе [5] имеется расчет матрицы рассеяния для сферических частиц с показателем преломления  $m = 1,5 + i0,065$ . Это было использовано для контроля вычислений.

В таблице приведены результаты вычислений для углов рассеяния  $\theta = 0^\circ, 4^\circ, 10^\circ (10^\circ) 180^\circ$ . Структура таблицы следующая. Для каждого значения угла рассеяния в первой строке приведены значения величин  $|A_1|^2$ ,  $|A_2|^2$ ,  $a_{33} = a_{44}$  и  $a_{34} = -a_{43}$  для сферических частиц с  $m = 1,5$ ; во второй — поправки за несферичность для

$$f(\theta, \varphi) = \frac{4}{3} P_2(\cos \theta) : \Delta|A_1|^2, \Delta|A_2|^2, \Delta(a_{33} + a_{44})/2, \Delta a_{34}, \Delta(a_{44} - a_{33})/2 \text{ и } \Delta|A_3|^2 = \Delta|A_4|^2.$$
 В третьей строке даны те же величины для  $f(\theta, \varphi) = P_4(\cos \theta)$ . В четвертой, пятой и шестой строках дается то же самое для  $m = 1,5 + i0,065$ ; в седьмой, восьмой и девятой — для  $m = 1,7$ . Для получения элементов матрицы рассеяния надо умножить поправки на  $\varepsilon^2$  и сложить с соответствующими величинами для сферических частиц. Например, интенсивность

$$a_{11} = \frac{1}{2} [|A_1|^2 + |A_2|^2 + \varepsilon^2 (\Delta|A_1|^2 + \Delta|A_2|^2 + 2\Delta|A_3|^2)] \quad (2)$$

и т. д. Линейные по  $\varepsilon$  члены в случае хаотической ориентации частиц обращаются в ноль. Допустимые значения  $\varepsilon \leq 0,1$ .

Анализ таблицы показывает, что матрица рассеяния наиболее чувствительна к форме частиц в области больших углов рассеяния. Зависимость элементов матрицы от угла  $\theta$  становится более гладкой — выравниваются интерференционные лепестки. Индикатриса рассеяния при малых углах  $\theta$  ( $\theta < 30^\circ$ ) практически не зависит от формы частиц. Степень поляризации рассеянного света ( $-a_{12}/a_{11}$ ) по модулю меньше, чем для сферических частиц. Отметим также, что  $a_{33} \neq a_{44}$ . При  $\theta \approx 180^\circ$  величина  $a_{44}$  может быть положительна, в то время как для сфер  $a_{33} \equiv$



1	2	3	4	5	6	7
0°	0,6101 3	0,6101 3	0,6101 3	0		
	0,1387 4	0,1387 4	0,1362 4	0	-0,1220 2	0,1220 2
	-0,2219 2	-0,2219 2	-0,2867 2	0	-0,3240 1	0,3240 1
	0,4426 3	0,4426 3	0,4426 3	0		
	0,8913 3	0,8913 3	0,8891 3	0	-0,1107 1	0,1107 1
	0,1462 3	0,1462 3	0,1439 3	0	-0,1196 1	0,1196 1
	0,1621 3	0,1621 3	0,1621 3	0		
	0,1487 4	0,1487 4	0,1197 4	0	-0,1450 3	0,1450 3
	-0,1882 3	-0,1882 3	-0,2060 3	0	-0,8936 1	0,8936 1
4°	0,5842 3	0,5869 3	0,5855 3	0,1271 1		
	0,1362 4	0,1324 4	0,1320 4	0,9559 2	-0,1008 2	0,1235 2
	-0,1690 2	-0,3692 2	-0,3317 2	0,1023 2	-0,2888 1	0,3361 1
	0,4244 3	0,4251 3	0,4248 3	0,1655 1		
	0,8511 3	0,8306 3	0,8386 3	0,5936 1	-0,9446 0	0,1267 1
	0,1358 3	0,1280 3	0,1296 3	-0,5827 0	-0,1127 1	0,1209 1
	0,1542 3	0,1526 3	0,1534 3	0,6030 0		
	0,1312 4	0,1437 4	0,1109 4	-0,4398 2	-0,1303 3	0,1359 3
	-0,1997 3	-0,1777 3	-0,2055 3	-0,3834 1	-0,7601 1	0,9245 1
10°	0,4633 3	0,4780 3	0,4706 3	0,6329 1		
	0,1208 4	0,1039 4	0,1103 4	0,5068 3	-0,1007 1	0,1300 2
	0,3427 1	-0,9757 2	-0,5228 2	0,5540 2	-0,1309 1	0,3862 1
	0,3392 3	0,3433 3	0,3411 3	0,8598 1		
	0,6694 3	0,5630 3	0,6136 3	0,3038 2	-0,2367 0	0,1967 1
	0,9003 2	0,4920 2	0,6774 2	-0,3403 1	-0,8230 0	0,1267 1
	0,1171 3	0,1096 3	0,1133 3	0,3171 1		
	0,6044 3	0,1213 4	0,7553 3	-0,2130 3	-0,6724 2	0,9573 2
	-0,2354 3	-0,1264 3	-0,1922 3	-0,1981 2	-0,2016 1	0,1073 2
20°	0,1892 3	0,2243 3	0,2057 3	0,9824 1		
	0,4905 3	0,4505 3	0,4021 3	0,1092 4	0,1116 2	0,1388 2
	0,9317 1	-0,1610 3	-0,7863 2	0,1304 3	0,1684 1	0,4406 1
	0,1399 3	0,1534 3	0,1455 3	0,1686 2		
	0,2994 3	0,8431 2	0,1870 3	0,6112 2	0,8330 0	0,3040 1
	0,1252 2	-0,7321 2	-0,2951 2	-0,9105 1	-0,2617 0	0,1422 1
	0,3548 2	0,2523 2	0,2931 2	0,6005 1	0	
	-0,1912 3	0,6983 3	0,3423 3	-0,2644 3	0,2196 2	0,2980 2
	-0,1694 3	0,2217 1	-0,8098 2	-0,3401 2	0,4917 1	0,1453 2
30°	0,3684 2	0,6548 2	0,4911 2	-0,9652 0		
	-0,4646 3	0,1155 3	-0,3201 3	0,7089 3	0,3030 0	0,1364 2
	-0,4871 2	-0,7093 2	-0,6060 2	0,1071 3	0,1933 1	0,3692 1
	0,1950 2	0,3611 2	0,2541 2	0,7642 1		
	0,1050 3	-0,2942 2	0,3340 2	0,5406 2	0,2926 0	0,2313 1
	0,7257 1	-0,5005 2	-0,1626 2	-0,4697 1	-0,2025 0	0,1578 1
	0,1179 0	0,2929 1	-0,5783 0	0,1045 0		
	0,1308 3	0,1633 3	0,3003 3	0,1944 3	-0,1747 2	0,4227 2
	0,3187 2	0,5457 2	0,4350 2	0,5765 1	-0,5614 1	0,1583 2
40°	0,2335 2	0,2913 2	0,2476 2	-0,8206 1		
	-0,6565 3	-0,2947 2	-0,4668 3	0,1407 1	-0,1491 2	0,1522 2
	-0,6181 2	0,3431 2	-0,1403 2	0,2592 2	0,5295 0	0,3548 1
	0,4892 1	0,1171 2	0,6493 1	-0,3891 1		
	0,1334 2	0,3934 1	0,4601 1	0,4528 2	-0,4573 0	0,8569 0
	0,2229 2	0,1780 2	0,2514 2	0,7880 1	-0,3259 0	0,1729 1
	0,1666 2	0,2130 2	0,1770 2	-0,6425 1		
	0,9184 2	-0,2292 3	-0,4740 2	0,2947 3	-0,7397 2	0,7724 2
	0,2411 2	0,1532 2	0,2319 1	0,2978 2	-0,5544 1	0,1143 2



1	2	3	4	5	6	7
50°	0,2809 2	0,2619 2	0,2697 2	-0,2914 1		
	-0,9057 2	-0,4610 2	-0,1276 3	-0,9786 2	-0,8158 1	0,1899 2
	0,2031 1	0,4468 2	0,2187 2	-0,4164 1	0,6915 0	0,5468 1
	0,1508 2	0,1276 2	0,1362 2	-0,2638 1		
	-0,3124 2	-0,1283 2	-0,3543 2	0,2111 2	0,6582 0	0,1077 1
	0,8952 1	0,2377 2	0,1641 2	0,8087 1	-0,2434 -1	0,1820 1
	0,2940 2	0,2265 2	0,2579 2	-0,8764 0		
	-0,2224 2	-0,7291 2	-0,8558 2	-0,1441 3	-0,4695 2	0,5438 2
	-0,1226 3	0,1491 2	-0,5387 2	-0,3012 2	-0,4510 1	0,6211 1
60°	0,1256 2	0,1759 2	0,1483 2	0,9886 0		
	0,1549 3	0,7304 1	-0,9004 0	0,1332 3	0,5908 1	0,1590 2
	0,1653 2	0,1400 2	0,1047 2	0,1932 2	0,1734 1	0,6759 1
	0,8716 1	0,8808 1	0,8484 1	0,2190 1		
	0,6441 1	-0,2645 2	-0,2703 2	-0,1358 2	0,1956 1	0,2007 1
	-0,3860 1	0,7960 0	-0,2729 1	-0,2547 1	0,4312 0	0,1581 1
	0,1338 2	0,1159 2	0,1072 2	0,6335 1		
	0,2671 3	0,1986 3	0,2883 3	-0,1991 3	-0,2982 0	0,1592 2
	-0,9282 0	0,2349 2	0,7845 1	-0,7913 2	-0,2412 1	0,8518 1
70°	0,4771 1	0,1161 2	0,7264 1	-0,1617 1		
	-0,5591 2	-0,1086 2	-0,1584 3	0,1157 3	0,3644 1	0,4115 1
	-0,2038 2	-0,3745 1	-0,2603 2	0,1821 2	0,1038 1	0,4597 1
	0,9431 0	0,5476 1	0,2077 1	0,9227 0		
	0,4451 2	-0,3070 2	0,2299 1	-0,4509 1	0,9690 0	0,1156 1
	0,1489 1	-0,8471 1	-0,1870 1	-0,4883 1	0,4277 0	0,9023 0
	0,6656 0	0,1087 2	0,2650 1	0,4601 0		
	0,1791 3	-0,4052 1	0,1132 3	0,4647 2	0,6258 1	0,1529 2
	0,3943 2	-0,1747 2	0,4026 2	-0,4214 2	-0,1424 1	0,1393 2
80°	0,5305 1	0,8182 1	0,6037 1	-0,2645 1		
	-0,4392 2	-0,3310 2	-0,1241 3	-0,7808 1	0,2698 -1	0,2293 1
	0,1097 2	-0,5112 1	-0,1867 2	-0,1344 2	0,2761 0	0,2039 1
	0,1371 1	0,3707 1	0,1526 1	-0,1659 1		
	0,2595 2	-0,1660 2	0,2868 1	0,2544 2	0,1706 0	0,3908 0
	0,1134 2	-0,3444 1	0,3531 1	-0,1031 1	0,2827 0	0,4040 0
	0,8949 1	0,1053 2	0,8229 1	-0,5152 1		
	0,1875 2	-0,1307 3	-0,1500 3	-0,5285 2	-0,1003 2	0,1947 2
	0,5628 2	0,1311 1	0,1665 2	-0,2459 1	-0,1972 1	0,1028 2
90°	0,3326 1	0,4369 1	0,3596 1	-0,1266 1		
	0,6303 2	0,2088 2	0,3620 0	0,2175 2	0,1162 2	0,1596 2
	0,5995 2	-0,5847 0	0,1677 2	-0,1034 2	0,3161 1	0,3970 1
	0,2613 1	0,1668 1	0,1894 1	-0,8777 0		
	0,5374 0	0,1325 2	-0,1267 2	0,1382 2	0,2275 1	0,2321 1
	0,1527 2	0,1863 1	0,3258 1	-0,5402 0	0,7826 0	0,8405 0
	0,1179 2	0,3940 1	0,6718 1	0,1156 1		
	0,7009 2	0,8851 2	0,1086 3	-0,1258 3	-0,6588 1	0,1603 2
	-0,1624 2	0,5372 2	0,3629 2	-0,9354 1	-0,8791 0	0,3651 1
100°	0,2971 1	0,4060 1	0,3343 1	-0,9424 0		
	-0,5685 2	0,3092 2	0,1003 3	0,1934 2	0,1404 2	0,1639 2
	0,2282 2	-0,1980 1	-0,7569 1	0,2122 2	0,7917 1	0,8536 1
	0,1507 1	0,1538 1	0,1405 1	0,5872 0		
	0,4897 1	0,1951 1	-0,2520 2	-0,2404 2	0,3100 1	0,3151 1
	0,1113 2	-0,2515 1	-0,7278 -1	-0,2135 -2	0,1607 1	0,1759 1
	0,2210 1	0,5095 1	-0,4114 0	0,3330 1		



1	2	3	4	5	6	7
	0,1576 1	0,5748 2	0,1625 3	0,8042 1	0,2243 2	0,2798 2
	-0,2729 2	0,2838 1	0,5425 2	-0,1933 2	0,8334 1	0,1028 2
110°	0,2826 1	0,5911 1	0,4063 1	-0,4439 0		
	-0,3454 2	-0,3051 2	-0,1516 3	-0,1019 3	0,4346 0	0,7653 0
	-0,1328 2	-0,8564 1	-0,2265 2	0,1639 2	0,9467 1	0,9965 1
	0,3345 0	0,2653 1	0,8438 0	0,4191 0		
	0,2865 2	-0,3191 2	-0,1147 2	-0,3339 2	0,4545 0	0,6888 0
	0,5133 1	-0,8625 1	-0,1206 1	0,1319 1	0,1726 1	0,1967 1
	0,1227 1	0,1004 2	0,1463 1	-0,3189 1		
	0,1573 3	-0,1363 3	-0,7655 2	-0,4665 2	0,1673 2	0,2350 2
	0,4178 2	-0,5313 2	0,2786 2	-0,1786 2	0,1572 2	0,2129 2
120°	0,1984 0	0,4956 1	0,9126 0	-0,3880 0		
	0,1050 3	-0,1646 2	0,3905 2	-0,9213 2	0,2068 2	0,2112 2
	0,1019 2	-0,9905 1	-0,9146 1	-0,4817 1	0,8186 1	0,8507 1
	0,9229 1	0,2149 1	0,4742 -1	-0,4429 0		
	0,2838 2	-0,1960 2	0,1682 2	-0,5907 1	0,2983 1	0,3179 1
	0,2797 1	-0,5520 1	0,1063 1	0,1165 1	0,1319 1	0,1519 1
	0,4928 1	0,4316 1	0,3689 1	-0,2768 1		
	0,3016 3	-0,3002 2	-0,2188 2	-0,3902 2	-0,3249 1	0,1590 2
	0,6541 2	-0,7379 1	0,1394 2	-0,5866 1	0,9147 1	0,1768 2
130°	0,3479 1	0,3238 1	-0,3756 0	-0,3335 1		
	-0,1402 3	0,9307 2	0,6037 2	0,5539 2	0,8010 2	0,8142 2
	-0,1417 2	-0,3863 1	0,1084 2	0,2000 2	0,7909 1	0,8506 1
	0,1108 1	0,8162 0	0,5509 -2	-0,9509 0		
	-0,2070 2	0,2593 2	0,2933 1	0,1427 2	0,1338 2	0,1339 2
	-0,1189 1	0,1481 1	-0,4947 0	0,3282 1	0,1346 1	0,1496 1
	0,1640 1	0,6685 0	-0,5561 0	0,8872 0		
	0,1021 3	0,7271 2	0,1113 3	0,5571 2	0,7751 2	0,8921 2
	0,3189 2	-0,8270 0	0,1480 2	0,1193 2	0,4202 1	0,1045 2
140°	0,1009 2	0,5107 1	0,4788 1	-0,5350 1		
	-0,4267 3	-0,1108 3	-0,2779 3	0,4130 2	0,9001 2	0,9188 2
	-0,7061 2	-0,1336 1	-0,2515 2	0,5002 2	0,7297 1	0,8746 1
	0,2444 1	0,8116 0	0,1238 1	-0,6709 0		
	-0,5844 2	0,4393 2	-0,5291 2	-0,1136 2	0,1607 2	0,1632 2
	-0,6258 1	0,3661 1	-0,8602 1	0,4045 1	0,1423 1	0,1779 1
	0,3711 0	0,1064 2	0,1482 1	-0,1323 1		
	0,1598 3	-0,6629 2	0,8467 2	-0,2753 3	0,1588 3	0,1598 3
	0,4667 2	-0,8196 2	-0,3246 1	-0,6248 1	0,1042 2	0,1710 2
150°	0,6654 1	0,9085 1	0,7553 1	-0,1846 1		
	-0,1655 3	-0,8153 2	-0,4881 3	-0,1494 3	0,2562 2	0,2757 2
	-0,2931 2	-0,1983 2	-0,6615 2	0,1582 2	0,3746 1	0,5843 1
	0,1986 1	0,1553 1	0,1718 1	0,3647 0		
	-0,3184 2	0,1954 2	-0,7644 2	-0,5806 2	0,4727 1	0,5685 1
	-0,3948 1	0,7568 0	-0,1217 2	-0,4319 1	0,7114 0	0,1426 1
	0,3179 1	0,1713 2	0,6927 1	0,2540 1		
	0,5475 2	-0,5512 2	0,1236 3	-0,5563 3	0,5144 2	0,8527 2
	0,6384 2	-0,9277 2	-0,1827 2	-0,5562 2	0,7428 1	0,2473 2
160°	0,5444 0	0,1182 2	0,7681 0	0,2424 1		
	0,1145 3	-0,3467 3	-0,1342 3	-0,2214 3	-0,9716 1	0,1114 2
	0,2314 2	-0,6562 2	-0,1882 2	-0,3270 2	0,1958 1	0,3679 1
	0,6651 0	0,1771 1	0,3700 0	0,1020 1		



1	2	3	4	5	6	7
	0,2910 1	-0,1481 2	-0,2605 2	-0,6540 2	0,1510 1	0,2673 1
	-0,1915 1	-0,6104 1	-0,1907 1	-0,1184 2	0,2102 0	0,9412 0
	0,8048 1	0,1612 2	-0,1993 1	0,1121 2		
	-0,4000 3	0,2661 3	0,1751 3	-0,2522 3	-0,2524 2	0,4253 2
	0,1117 2	-0,2278 2	-0,3436 1	-0,6604 2	-0,3167 1	0,1997 2
170°	0,6844 1	0,1327 2	-0,9369 1	0,1743 1		
	-0,2068 3	-0,4933 3	0,5353 3	-0,9412 2	0,1049 3	0,1054 3
	-0,6029 2	-0,1175 3	0,9704 2	-0,2250 2	0,6033 1	0,6643 1
	0,9871 0	0,1718 1	-0,1195 1	0,5173		
	-0,1194 2	-0,3065 2	0,5703 2	-0,2613 2	0,1925 2	0,1974 2
	0,1167 2	-0,1516 2	0,1507 2	-0,6275 1	0,1028 1	0,1319 1
	0,2152 2	0,2362 2	-0,2145 2	0,6958 1		
	0,8076 2	0,6025 3	0,1017 3	0,9194 1	0,1963 3	0,2317 3
	-0,2394 2	-0,3198 1	0,2788 2	-0,2608 2	0,2981 1	0,1361 2
180°	0,1377 2	0,1377 2	-0,1377 2			
	-0,5223 3	-0,5223 3	0,8701 3	0	0,1739 3	0,1739 3
	-0,1403 3	-0,1403 3	0,1591 3	0	0,9414 1	0,9414 1
	0,1735 1	0,1735 1	-0,1735 1	0		
	-0,3236 2	-0,3236 2	0,9699 2	0	0,3232 2	0,3232 2
	-0,1970 2	-0,1970 2	0,2324 2	0	0,1766 1	0,1766 1
	0,3114 2	0,3114 2	-0,3114 2	0		
	0,7283 3	0,7283 3	0,4022 2	0	0,3843 3	0,3843 3
	-0,1904 2	-0,1904 2	0,4382 2	0	0,1239 2	0,1239 2

$\equiv a_{44} \approx -a_{11}$ . Величина  $a_{22}/a_{11}$  в области больших углов рассеяния заметно отличается от 1 (для сферических частиц  $a_{22}/a_{11} \equiv 1$ ). Такое поведение элементов матрицы рассеяния  $a_{22}$ ,  $a_{33}$  и  $a_{44}$  не может быть получено в рамках теории Ми. Сделанные выводы качественно согласуются с данными работы [6] и результатами экспериментов по измерению элементов матрицы рассеяния несферическими частицами [7, 8].

**Список литературы:** 1. Александров Ю. В., Тишковец В. П. О рассеянии света почти сферическими частицами. — Вестн. Харьк. ун-та, № 190. Физика Луны и планет. Фундаментальная астрометрия, 1979, вып. 14, с. 9—15. 2. Александров Ю. В., Тишковец В. П. Рассеяние света системой хаотически ориентированных почти сферических частиц. — Вестн. Харьк. ун-та, № 204. Физика Луны и планет. Фундаментальная астрометрия, 1980, вып. 15, с. 28—33. 3. Александров Ю. В., Тишковец В. П. Матрица рассеяния света несферическими частицами. — Астрометрия и астрофизика, 1982, вып. 48, с. 25—31. 4. Хюлст, ван де, Г. Рассеяние света малыми частицами. — М.: Изд-во иностр. лит., 1961. — 536 с. 5. Шифрин К. С., Зельманович И. Л. Таблицы по светорассеянию. — Л.: Гидрометеиздат, 1968. — Т. II. 496 с. 6. Asano S., Sato M. Light Scattering by randomly oriented spheroidal particles. — Appl. Opt., 1980, 19, N 6, p. 962—974. 7. Holland A. S., Gagne G. The scattering of polarized light by polydisperse systems of irregular particles. — Appl. Opt., 1970, 9, N 5, 1113—1121. 8. Тишковец В. П. Применение ОКГ для моделирования процесса рассеяния света в атмосферах планет. — Астрометрия и астрофизика, 1978, № 36, с. 52—57.

Поступила в редколлегию 30. 09.82.



УДК 523.4

**Оценка и анализ величины фотометрической неоднородности поверхностей астероидов.** Д. Ф. Лулишко. — Вестн. Харьк. ун-та, 1983, № 247. Астрономия Солнечной системы, с. 3—7.

Приведены данные по фотометрической неоднородности поверхностей 37 астероидов разных композиционных типов. На примере астероида 16 Психея показано разделение вклада формы и альбедных неоднородностей в кривую блеска астероида. Сделан вывод о том, что при использовании кривых блеска для определения формы астероидов необходимо учитывать «альбедную» составляющую кривых блеска.

Табл. 1. Ил. 2. Библиогр.: 9 назв.

УДК 523.24:521.1/3

**Об оценках несферичности солнца и плотности межпланетной среды.** А. П. Волченко, В. И. Омельченко. — Вестн. Харьк. ун-та, 1983, № 247. Астрономия Солнечной системы, с. 7—18.

Получены оценки несферичности Солнца, плотности межпланетной среды и ее массы по их влиянию на движение перигелиев четырех внутренних планет и малой планеты Икар. Несферичность Солнца, определяемая отношением разности его экваториального и полярного радиусов к экваториальному, меньше  $10^{-5}$ . Масса всей межпланетной среды меньше  $8 \cdot 10^{26}$  г.

Табл. 2. Библиогр.: 10 назв.

УДК 523.3

**Спектрофотометрический каталог участков лунной поверхности.** Н. В. Опанасенко, Ю. Г. Шкуратов, Л. А. Акимов, И. И. Латынина. — Вестн. Харьк. ун-та, 1983, № 247. Астрономия Солнечной системы, с. 18—28.

Сведены в единую систему наиболее надежные результаты спектрофотометрических измерений. Представленный сводный каталог содержит данные о спектральной отражательной способности с различным спектральным разрешением, селенографические координаты, а также значения нормального альбедо для длины волны 0,65 мкм, полученные при угле фазы в  $2^{\circ}8'$  в АО ХГУ для участков лунной поверхности размером около  $10''$ .

Рассмотрены некоторые применения спектральных данных.

Табл. 2. Ил. 2. Библиогр.: 8 назв.

УДК 520.82+523.3

**Некоторые результаты цифровой обработки орбитальных панорам, полученных АМС «Луна-22».** А. В. Ильинский, Н. В. Опанасенко, Ю. Г. Шкуратов, Ю. В. Корниенко, Д. Г. Станкевич, Ю. С. Тюфлин, С. А. Кадничанский. — Вестн. Харьк. ун-та, 1983, № 247. Астрономия Солнечной системы, с. 29—32.

С помощью цифровой обработки изображений, созданной в ИРЭ АН УССР, выполнена трансформация фрагмента панорамы лунной поверхности (район кратера Птолемей), полученной с помощью однострочного сканирующего устройства, установленного на АМС «Луна-22».

Ил. 2. Библиогр.: 4 назв.



УДК 521.932

**Позиционные фотографические наблюдения избранных малых планет в 1979 г. в АО ХГУ.** Павленко П. П., Павленко Л. С. — Вестн. Харьк. ун-та, № 247. Астрономия Солнечной системы, с. 32—35.

Приведены результаты позиционных фотографических наблюдений избранных малых планет № 2 (14 положений) и № 6 (6 положений), проводившихся на короткофокусном астрографе Цейсса АО ХГУ.

Табл. 2.

УДК 521.932

**Результаты определения всемирного времени в АО ХГУ и ХГНИИМ за 1978—1982 гг.** Литкевич Н. Г., Туренко В. И. — Вестн. Харьк. ун-та, № 247. Астрономия Солнечной системы, с. 35—38.

Приведены результаты наблюдений всемирного времени в объединенной службе времени АО ХГУ ХГНИИМ относительно шкалы атомного времени. Получены системы всемирного времени ИТ1 и ИТ2. Получена система Харьковской службы времени относительно системы МБВ и системы СССР.

Табл. 4. Ил. 2. Библиогр.: 4 назв.

УДК 521.933

**Неравномерность вращения Земли и некоторая географическая интерпретация ее.** Туренко В. И. — Вестн. Харьк. ун-та, № 247. Астрономия Солнечной системы, с. 38—41.

Приведены кривые колебания длительности суток за 1900—1981 гг. Предложена геофизическая интерпретация некоторых компонент неравномерности вращения Земли.

Ил. 3. Библиогр.: 5 назв.

УДК 522.1; 535.7; 621.391; 681.7

**Оптический апертурный синтез: сравнительная эффективность анализатора светового поля.** В. Н. Уваров. — Вестн. Харьк. ун-та, № 247. Астрономия Солнечной системы, с. 41—44.

Проведены оценки эффективности анализатора светового поля — устройства для помехоустойчивого кодирования апертуры. Введен параметр — высокочастотный сигнал изображения. Показано, что отношение этого параметра при регистрации с апертурным анализатором к параметру спекл-изображения, полученного с обычной апертурой, пропорционально  $D_a$ ,  $D$  — диаметр апертуры,  $0 < \alpha$ .

Библиогр.: 7 назв.

УДК 528.617

**Установка для моделирования спекл-интерферометрии.** Захожай В. А. — Вестн. Харьк. ун-та, № 247. Астрономия Солнечной системы, с. 44—49.

Рассматривается моделирование метода спекл-интерферометрии на специальной установке. Приведена схема действующей установки, исследуются ее возможности, изложены требования, предъявляемые к ней, результаты проведенных экспериментов. Качество установки позволяет моделировать спекловую картину изображения модели практически до граничной частоты исследуемого большого телескопа.

Табл. 1. Ил. 3. Библиогр.: 4 назв.



УДК 521.932

**Ореолы звезд в первичном фокусе 6-метрового телескопа.** Н. А. Тихонов, М. Ф. Шабанов. — Вестн. Харьк. ун-та, 1983, № 247. Астрономия Солнечной системы, с. 50—54.

Рассмотрены причины возникновения ореолов на БТА на основе обширного наблюдательного материала. Представлены снимки ореолов и зависимость диаметра ореола от яркости звезды в диапазоне от 3,0 до 23,0. Указаны возможные пути уменьшения ореолов и учета внесимых ими фотометрических ошибок.

Ил. 4. Библиогр.: 9 назв.

УДК 522.52

**Регистрирующий фотометр.** А. Д. Егоров, Л. И. Еленская, И. Г. Скуратовский. — Вестн. Харьк. ун-та, № 247. Астрономия Солнечной системы, с. 55—60.

Приведено описание беспроцессорного комплекса регистрирующей аппаратуры, предназначенной для фотометрирования световых потоков и запоминания на кассетной магнитной ленте измеренной и сопутствующей информации.

Ил. 4.

УДК 520.82

**Устройство вывода из ЭВМ цветных и черно-белых изображений.** С. А. Каныгин, В. Д. Шарый. — Вестн. Харьк. ун-та, № 247. Астрономия Солнечной системы, с. 60—65.

Описано устройство вывода цветных и черно-белых изображений, изготовленное на базе фототелеграфного аппарата «Нева». Формат выводимых изображений  $20 \times 25$  см, число элементов разложения —  $1024 \times 1280$ . В светооптическом узле устройства отсутствует совмещение цветов. Совмещение цветовых полей выводимых изображений осуществляется программно, на ЭВМ. ЭВМ смещает каждое цветовое поле обратно тому, как они смещены в светооптическом узле устройства вывода.

Ил. 3. Библиогр.: 4 назв.

УДК 521.932

**Шестиканальный спектрофотометр с двухкоординатным пространственным сканированием.** Ю. А. Егоров. — Вестн. Харьк. ун-та, № 247. Астрономия Солнечной системы, с. 65—73.

Описаны оптико-механическая и блочная электрическая схемы шестиканального спектрофотометра с двухкоординатным пространственным сканированием. Спектральные каналы с центральными длинами волн в мкм: 0,380; 0,440; 0,500; 0,550; 0,670 и 0,810; частота переключения каналов 50 Гц, вывод результатов на цифропечать.

Табл. 1. Ил. 3. Библиогр.: 4 назв.

УДК 523.4, 52—6

**Расчет матрицы рассеяния света почти сферическими частицами.** Ю. В. Александров, В. П. Тишковец. — Вестн. Харьк. ун-та, № 247. Астрономия Солнечной системы, с. 73—79.

Приведены результаты расчетов элементов матрицы рассеяния света почти сферическими хаотически ориентированными частицами с волновым параметром  $\rho=5$  и показателями преломления  $m=1,5; 1,7; 1,5+i0,065$  для двух форм частиц.

Табл. 1. Библиогр.: 8 назв.

Уиб-12