

# СОЛНЕЧНЫЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ТЕЛЕСКОП АЦУ-5 С МОНОХРОМАТОРОМ ДВОЙНОЙ ДИФФРАКЦИИ

Э. А. Гуртовенко

(Главная астрономическая обсерватория АН УССР)

Телескоп смонтирован в Главной астрономической обсерватории АН УССР в конце 1965 г.

Принципиальная оптическая схема телескопа со спектрографом АСП-20 следующая (рис. 1): 1 — целостатное и 2 — дополнительное зеркала ( $D=440$  мм), 3 — главное сферическое зеркало ( $D=440$  мм,  $F=17$  м), 4 — диагональное зеркало ( $D=180$  мм), 5 — щель, 6 — большое зеркало спектрографа ( $D=500$  мм,  $F=7$  м), верхняя часть которого служит как коллиматор, а нижняя часть как камерное зеркало, 7 — дифракционная решетка  $140 \times 150$ , 600 штр/мм, 8 — пластиинка в фокальной плоскости спектра, 9 — камера для прямых фотографий фотосферы в фокусе Ньютона, 10 — кассегреновское зеркало с эквивалентным фокусом системы 60 м, 11 — камера для фотографий фотосферы в кассегреновском фокусе.

Камеры 9 и 11 идентичны и снабжены управляемым от пульта секторным вращающимся затвором. При наблюдениях в Ньютоновском фокусе диагональное зеркало 4 выводится из пучка в направлении оптической оси спектрографа. При наблюдении в фокусе Кассегrena пучок от главного зеркала направляется на зеркало 10.

Прибор в заводском варианте не удовлетворял нашим требованиям. Многие недостатки в его конструкции пришлось устранить. Кроме того, было запланировано дооборудование спектрографа приставкой двойной дифракции. Все это потребовало выполнения очень большого объема работ по переоборудованию и наладке прибора, а также юстировке всей оптической системы. Эта работа была выполнена в основном на протяжении года, и летом 1966 г. уже производились пробные фотографические, а также фотоэлектрические наблюдения солнечного спектра.

Отметим основные этапы этой работы более детально.

В спектрографе АСП-20 дифракционная решетка была заменена новой решеткой размером  $140 \times 150$  мм, изготовленной в ГОИ. Установка этой решетки потребовала переделки ее узла крепления. В связи с увеличением светового отверстия решетки пришлось также увеличить световые отверстия коллиматорной и камерной части главного зеркала спектрографа (рис. 1, 6), изменить применительно к размерам новой решетки положение светозащитных диафрагм, разделяющих световые пучки в трубе спектрографа; переделать примыкающую к главному зеркалу спектрографа подвижную часть трубы. Для доступа к главному

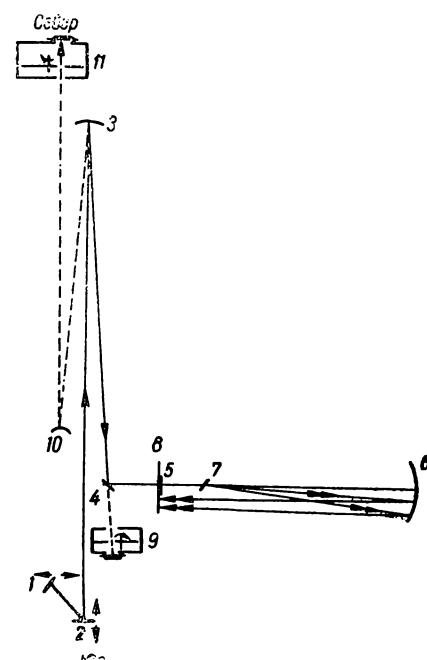


Рис. 1. Принципиальная схема телескопа АЦУ-5 со спектрографом АСП-20.

зеркалу, дифракционной решетке и узлу диагонального зеркала приставки двойной дифракции в трубе спектрографа оборудованы люки.

Заводская насадка с приспособлениями на щели спектрографа из-за плохой конструкции и неудобства в обращении заменена новой (рис. 2, 1). Изготовлен также откидной револьверный диск для набора фильтров, используемых в наблюдениях (рис. 2 и 3, 2). Заводской

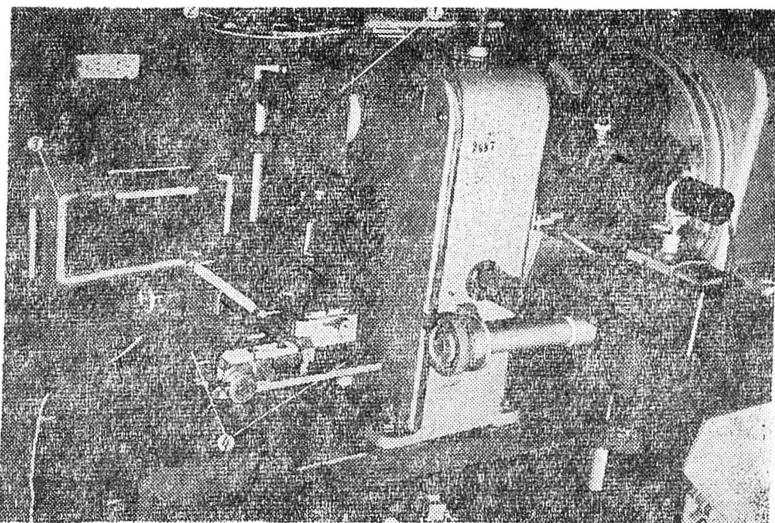


Рис. 2. Общий вид кассетной части спектрографа АСП-20 с основными узлами приставки двойной дифракции.

затвор на щели оказался практически непригодным для оперативной работы и был радикально переделан. Произведена также переделка кассетной части. Заводская конструкция механизма передвижения кассеты очень неудобна в обращении и не позволяет быстро сменить положение фотографируемой «дорожки» спектра на пластиинке.

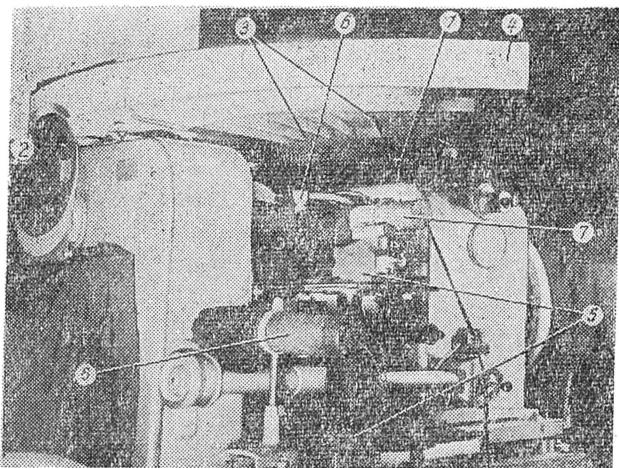


Рис. 3. Узел электрофотометра приставки двойной дифракции.

Был изготовлен новый полуавтоматический механизм передвижения кассеты, с набором различных интервалов ее смещения вверх и вниз. В вертикальной плите кассетной части выфрезеровано гнездо для вставки сменных вкладышей с цветными стеклянными фильтрами,

используемыми для разделения различных порядков спектра при фотографировании. Кроме того, оказалась также совершенно непригодной для оперативной работы система поворота решетки на заданный угол (установка в фокальной плоскости нужного участка спектра). Выход из положения был найден путем насадки на верхний удлиненный конец оси узла крепления решетки (рис. 3, 1) сектора (рис. 3, 3) с радиусом

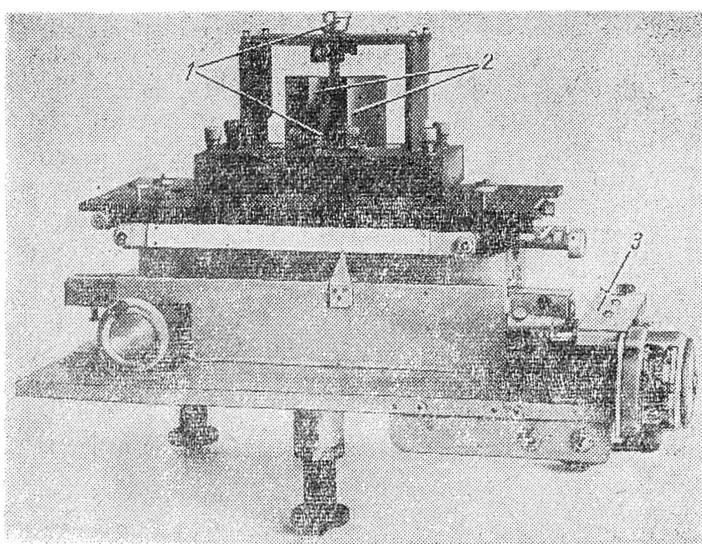


Рис. 4. Узел сканирующего устройства приставки двойной дифракции.

1 м. Широкий лимб сектора (рис. 3, 4) с разметкой необходимых линий или участков спектра расположен непосредственно у кассетной части перед глазами наблюдателя. Совмещением меток на лимбе с неподвижной нитью-индексом можно в течение нескольких секунд с точностью до 2—3 мм установить в центре поля кассеты заданную спектральную линию. При наблюдениях в системе двойной дифракции кассетная часть (рис. 2, 3) отводится в сторону, и на месте кассеты устанавливается узел сканирования (рис. 4 и рис. 2, 4). Переход от фотографических наблюдений к фотоэлектрическим может быть произведен в течение нескольких минут.

Все основные механические работы выполнены в мастерской ГАО АН УССР. Рассчитанные для работы в системе со спектрографом АСП-20 узлы приставки двойного прохождения, а именно: узел электрофотометра (рис. 3, 5), узел сканирования с промежуточной щелью 1 и эккером 2 (рис. 4), а также расположенный внутри трубы близ входной щели небольшой подвесной узел диагонального зеркала также изготовлен в мастерской. Оптика для приставки: эккер с двумя взаимно-перпендикулярными плоскими зеркалами, кварцевая линза Фабри и диагональное зеркало изготовлены пулковским оптиком В. Г. Шрейбером.

Окончательное переоборудование прибора еще не окончено. Предполагается в первую очередь изменить систему ведения телескопа (часовой механизм) и во вторую очередь дооборудовать телескоп фотографом и системой автоматической фокусировки на щели спектрографа. Необходимо также еще устранить ряд заводских дефектов в системе работы телескопа, в частности убрать прямой солнечный свет, падающий от дополнительного зеркала целостата на изображение Солнца в кассете фокуса Кассегрена.

Принципиальная схема приставки двойной дифракции (в плане) следующая (рис. 5).

Диффрагированный монохроматический луч, отразившись от камерного зеркала 6, фокусируется в плоскости фотопластинки 8. При фотоэлектрических наблюдениях вместо кассеты в фокальной плоскости устанавливается каретка сканирующего устройства с системой плоских взаимно перпендикулярных зеркал 12, 14 (а также рис. 4, 2) и регулируемой промежуточной щелью 13 (а также рис. 4, 1), в плоскости которой лежит биссектриса прямого угла между зеркалами. Ребро, являющееся линией пересечения плос-

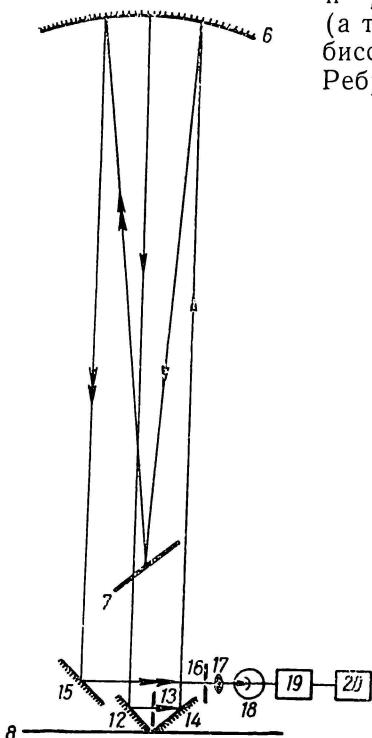


Рис. 5. Принципиальная схема приставки двойной дифракции.

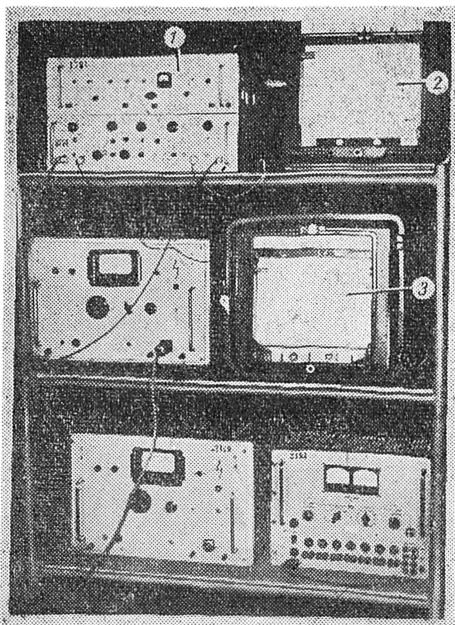


Рис. 6. Общий вид стойки с усилителем и регистрирующей аппаратурой.

ностей зеркал, должно лежать в фокальной плоскости спектрографа. Таким образом, спектр после отражения от зеркала 12 фокусируется на плоскости промежуточной щели. Назначение промежуточной щели — отрезать дубли спектральной линии и ослаблять крылья инструментального контура. Интегральный рассеянный свет, проходящий в промежуточную щель вместе с регистрируемым узким участком спектра, при повторной дифракции практически устраняется.

Пройдя промежуточную щель, узкий спектральный участок отражается зеркалом 14 на камерную часть зеркала 6, потом на решетку 7. После двойной дифракции на схеме (две стрелки) луч отражается коллиматорной частью зеркала 6 в направлении входной щели спектрографа, перехватывается близ этой щели маленьким зеркалом 15 и фокусируется на выходную щель 16. При сканировании системы зеркал с промежуточной щелью вдоль дисперсии дважды диффрагированный спектральный участок перемещается на выходной щели 16 (а также рис. 3, 6). Линза Фабри 17 строит изображение решетки на фотокатоде фотоумножителя 18 (рис. 3, 7); 19 и 20 — система усилителя и система регистрации спектра на ленте самописца ЭПП-09. Дисперсия спектрографа в V порядке близ линий Mg 5180 Å составляет 0,30 Å/mm и, соответственно, на выходной щели в системе двойной дифракции 0,15 Å/mm.

Редуктор сканирующего устройства (рис. 4, 3) позволяет менять скорость сканирования эккера в пределах 0.0004 — 0.07 мм/сек.

В системе фотоэлектрической регистрации используется двухканальный усилитель постоянного тока, изготовленный вместе с блоком питания в лаборатории отдела Солнца (рис. 6, 1). Основной сигнал посыпается на фотоумножитель (рис. 3, 7). Примыкающий к регистрируемой области участок спектра при помощи элементарной оптической системы, вмонтированной в боковую плиту кассетной части спектрографа, поступает на фотоумножитель 8 (рис. 3). Этот фотоумножитель связан с каналом регистрации прозрачности. Общий вид стойки с усилительной и регистрирующей аппаратурой представлен на рис. 6; 2 и 3 (см. рис. 6) — соответственно самописцы сигнала и канала контроля прозрачности.

В настоящее время заканчивается разработка устройства, которое позволит вести записи на одном самописце с компенсацией изменения прозрачности.

Испытания с ножом Фуко, произведенные в фокальной плоскости спектрографа, показали хорошее качество его оптической системы в комплекте с новой решеткой. Расположение щели, центров коллиматорного и камерного зеркал, решетки и кассеты в одной вертикальной плоскости само по себе обусловливает астигматизм (различие фокусировок «на спектр» и «на деталь»). Однако в данном случае он небольшой, так как углы между падающим и отраженным лучами на коллиматорном и камерном зеркалах сведены до минимума. Приводим данные фокусировки (мм), полученные фотографическим путем:

	на спектр	на деталь
II порядок слева	50,5	53
V порядок справа	49	56

Эти данные свидетельствуют также о хорошем качестве поверхности решетки. При значительном изменении угла поворота решетки, вызванного переходом из II порядка слева в V порядок справа, средний отсчет фокуса практически не изменяется, тогда как в другом подобном приборе [1] астигматизм решетки влечет за собой изменение отсчета фокуса при переходе из IV порядка слева в IV порядок справа на 35 мм.

Исследование инструментального профиля выполнено при помощи газового лазера летом 1967 г. в системе однократного прохождения во II порядке слева и IV порядке справа фотографически, а также в системе двойной дифракции во II, III и IV порядках справа фотоэлектрически. Методика и результаты будут подробно изложены в отдельной статье. На рис. 7 приводятся ядро инструментального профиля в IV порядке (а), а также весь профиль с далекими крыльями, построенный в логарифмической шкале интенсивности (б). Данные, приведенные на рис. 7, получены при ширинах входной и выходной щелей по 45 $\mu$  и ширине промежуточной щели 350 $\mu$ .

Спектрограф в системе двойной дифракции обладает очень хорошими качествами. Реальная разрешающая сила его, оцениваемая по инструментальному профилю, составляет в IV порядке близ  $\lambda 6328 \text{ \AA}$  450 000. Исключительной особенностью прибора являются узкие и слабые крылья аппаратной функции, что позволяет регистрировать с высокой точностью профили слабых и узких линий поглощения в солнечном спектре.

Исследование линейности системы ФЭУ — усилитель — самописец произведено весной 1967 г. Проверка линейности была выполнена двумя способами. В первом варианте, осуществимом в небольшом помещении на обычном лабораторном столе, использовалась следующая схема

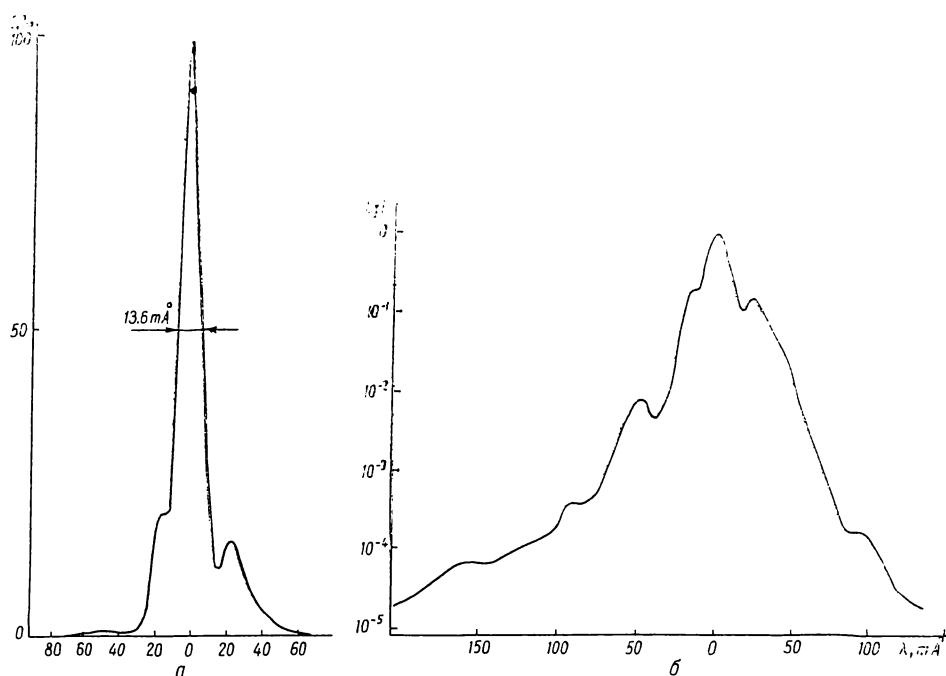


Рис. 7. Инструментальный профиль двойного монохроматора в IV порядке  $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ :  
а — ядро, б — полный профиль с далекими крыльями.

(рис. 8): стабилизированный источник света; рассеивающие матовые и молочные стекла; диафрагма на последнем молочном стекле; объек-

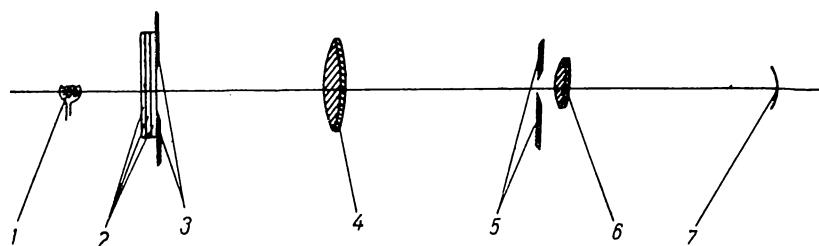


Рис. 8. Схема испытания линейности регистрирующей электронной аппаратуры.

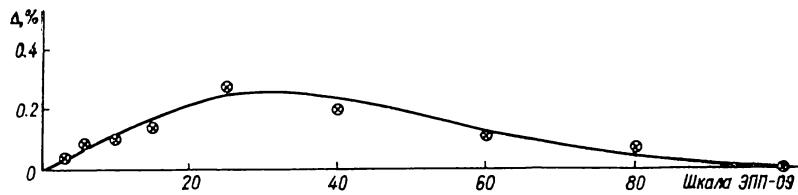


Рис. 9. График поправки за нелинейность к показаниям самописца по каналу сигнала.

тив, проектирующий изображение диафрагмы на щель; линза Фабри, строящая изображение объектива 4 на фотокатоде; фотокатод. При необходимости между объективом 6 и фотокатодом можно поместить светофильтр. Количество энергии, поступающей на фотокатод, определяется величиной раскрытия щели 5.

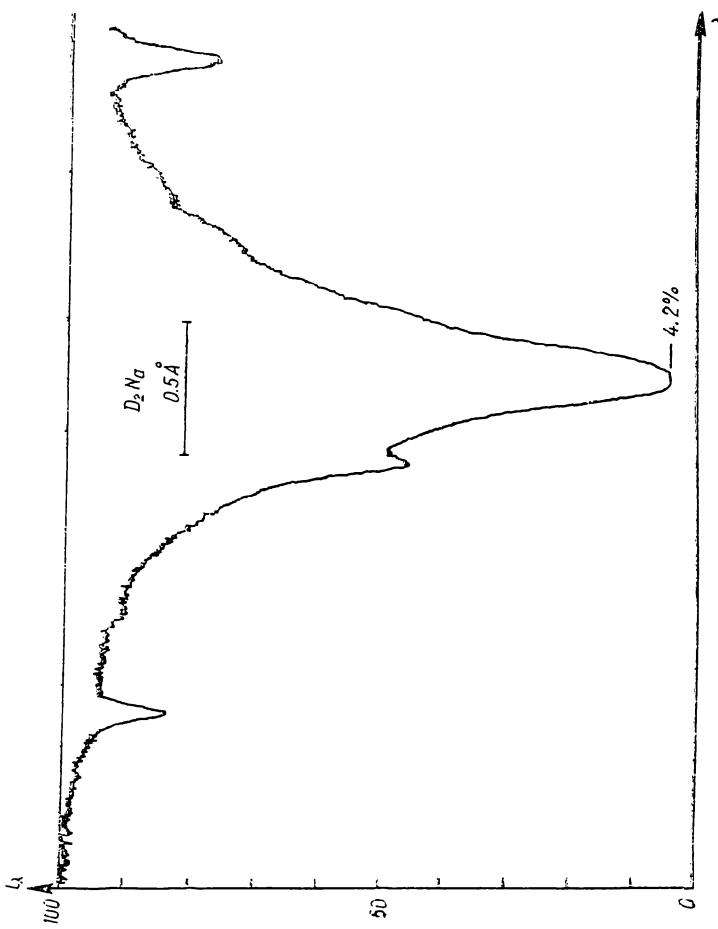


Рис. 10. Образец фотозелектрической записи линии  $D_2\text{Na}$  (май 1967 г.).

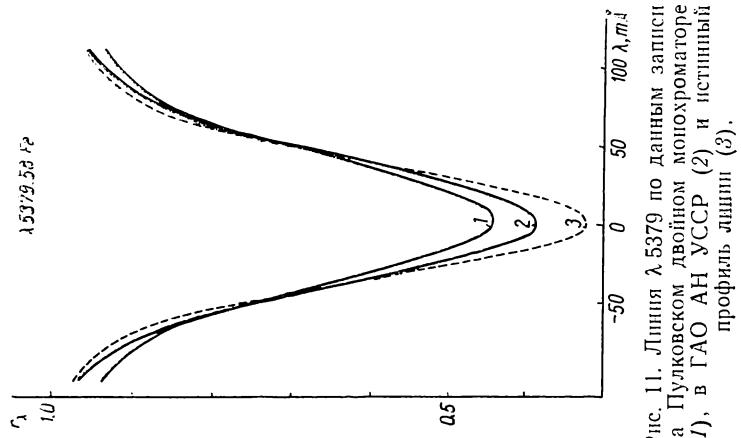


Рис. 11. Линия  $\lambda 5379$  по данным записи на Пулковском двойном молохроматоре (1), в ГАО АН УССР (2) и истинный профиль линии (3).

Во втором варианте испытания линейности проводились на оптической скамье с точечным источником света простейшим методом «обратных квадратов». Оба метода показали одинаковые результаты. Исследования были проведены для обоих каналов с различными фотоумножителями при изменении установок параметров усилительной и электронной аппаратуры: изменялись напряжения питания ФЭУ (650—1200 в), входные сопротивления усилителей (от 100 Мом до 1 гом), постоянная времени усилителя (0.05—0.5 сек). Сравнивались также результаты измерений, полученных с двумя светофильтрами, вырезающими синюю и желтую области спектра.

Называя отдельную совокупность приведенных условий измерения режимов работы аппаратуры, отметим следующие основные результаты:

а) четкое различие данных измерений для различных режимов работы аппаратуры не наблюдается;

б) почти всегда имеет место небольшое систематическое отклонение наблюденных отсчетов от вычисленных, в некоторых случаях сравнимое с ошибками единичных измерений;

в) отклонение требует положительной поправки к наблюдениям, достигающей максимума примерно на расстоянии  $1/3$  шкалы, считая от нулевого отброса пера самописца ЭПП-09. Величина этой поправки очень небольшая. Максимальные амплитуды отклонения, отягощенного ошибкой измерения, лишь в двух случаях достигали 0.5%. Средние результаты для основного канала системы ФЭУ — усилитель — самописец приведены на рис. 9. Максимальная величина поправки за нелинейность ( $\approx 0.25\%$ ) может потребоваться лишь в случае исключительно точных измерений профилей отдельных глубоких линий поглощения.

На рис. 10 приведен образец фотоэлектрической записи линии  $D_2$ Na в V порядке. Интересно сравнить центральные остаточные интенсивности линии  $D_2$  по данным записи на различных приборах подобного типа, имеющихся в СССР и за рубежом: 5.2% — Пулковский спектрограф двойного прохождения [2]; 4.6% — двойной спектрограф обсерватории Мак-Мас-Галберт (США); 4.4% — спектрограф двойного прохождения Сакраменто-Пик (США) [3]; 4.2% — ГАО АН УССР.

Одна из наиболее узких линий солнечного спектра  $\lambda 5379.58$  (рис. 11) имеет центральные интенсивности по данным записи в Пулкове — 44.5%, в ГАО АН УССР — 38.7% и истинную центральную интенсивность около 32%. По-видимому, при достигнутой нами точности записи не очень глубокие и достаточно интенсивные линии солнечного спектра практически не будут нуждаться в коррекции за аппаратную функцию прибора.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гуртовенко Э. А., Дидаченко Е. И. — Изв. ГАО АН УССР, 3, 2, 1961.
2. Карпинский В. Н. — Изв. ГАО АН СССР, 178, 84, 1965.
3. Mitchell W. E. and Mohler O. C. — Appl. Opt., 3, 467, 1964.

## SOLAR TELESCOPE «АЦУ-5» WITH THE DOUBLE-PASS SPECTROGRAPH

E. A. GURTOVENKO

Summary

An optical system and the work on the rearrangement of the telescope and spectrograph are described briefly. The double-pass spectrograph is of good quality. The instrumental profile in the fourth order at  $\lambda 6328 \text{ \AA}$  has  $13.6 \text{ m\AA}$  halfwidth and faint narrow wings.