

В. Ф. Синческул, В. Н. Синческул

1. Необходимость в исследовании оптических характеристик объектива рефрактора АВР-2 Полтавской обсерватории возникла в связи с постановкой фотографических наблюдений Луны среди звезд в плане работ обсерватории. Кроме того, сведения об исследовании объективов подобного рода, насколько известно авторам, нигде не публиковались и поэтому могут представить известный интерес.

Объектив рефрактора — двухлинзовый несклеенный ахромат с визуальной коррекцией хроматической аберрации. Диаметр действующего отверстия 200 мм, фокусное расстояние 3019 мм, масштаб — 1 мм : 68".34.

2. Исследования сферической аберрации, астигматизма системы и поля, а также кривизны поля проводились распространенным количественным методом Гартмана [1, 2]. В мастерской обсерватории была изготовлена диафрагма из 1,5-миллиметрового дюрала, диаметр которой чуть меньше диаметра объектива. Это необходимо для последующего ее центрирования относительно оптической оси объектива. В диафрагме просверлены 64 отверстия диаметром 0.9 мм, расположенные по восьми концентрическим зонам (через 10 мм) и восьми азимутам. Между первым и вторым азимутами для ориентации снимков при обработке сделано дополнительное отверстие.

Центры отверстий наносились на диафрагме с точностью до 0.2—0.3 мм. Возникающие из-за этого ошибки не превосходят 3—5 м в плоскости изображения, а так как они одинаково искажают оба внефокальных изображения диафрагмы, то их не должно быть в конечных результатах. Гораздо опаснее ошибки, возникающие из-за неправильной геометрической формы отверстий.

Диафрагма была промерена на приборе КИМ-3 и оказалась пригодной для измерений.

Расстояние между внефокальными снимками F_1F_2 равно максимальному выдвигению кассетной части инструмента (100 мм). При этом $F_1F = 62$ мм, а $FF_2 = 38$ мм. Это сказалось на точности измерения центральных зон во втором положении (где они почти сливались).

Основной фотографический материал получен на несенсибилизированных пластинках фирмы Агфа. Для фотографирования была выбрана Вега α Лиры. Предварительно были сделаны пробные снимки на спектральных пластинках blau и gelb rapid (все с желтым фильтром). Однако из-за расширения их спектральной чувствительности изображения отверстий краевых зон, начиная с пятой, заметно вытягивались вследствие влияния хроматической аберрации.

3. Сферическая аберрация на оси определялась по семи изображениям диафрагмы, снятым вблизи оптической оси. Для изучения сферической аберрации по полю были сделаны восемь дополнительных снимков на расстояниях 20 и 43' от оптической оси.

Измерение каждой зоны изображения диафрагмы давало четыре значения фокусного расстояния объектива. Для исключения влияния астигматизма значения фокусов внутри каждой зоны усреднялись. На рис. 1 приведен график продольной сферической аберрации $\Delta S_{y'}$. Прямая соответствует положению фо-

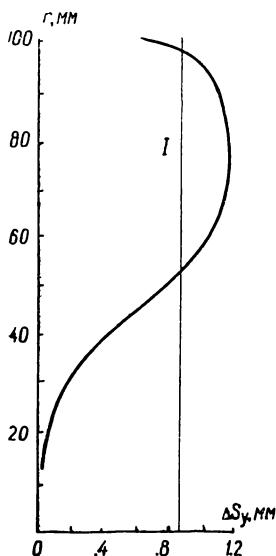


Рис. 1.

кальной плоскости, вычисленной по формуле $F_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^8 F_{y_i}}{8}$, где

F_{y_i} — значение усредненного фокусного расстояния для каждой зоны. Видно, что в один фокус сведены лучи центральных и краевых зон. Максимального значения сферическая аберрация достигает для зоны 0.75 (в долях радиуса объектива) и равна 1.2 мм, или 40×10^{-5} в долях F .

Величина аберрации не остается постоянной по полю инструмента. На расстоянии 20' она увеличивается до 1.5 мм, а для максимально измеренного расстояния (43') равна 2.0 мм ($63 \cdot 10^{-5}$), правда, большей частью за счет значительного уменьшения фокусов для центральных зон, которые вносят незначительный вклад при построении изображения.

На рис. 2 приведен график поперечной сферической аберрации $\Delta Z_{y'}$ для центра поля. В качестве главной фокальной плос-

кости выбрана не плоскость Гаусса, а плоскость среднего фокуса. Для нее максимальный кружок рассеивания не превышает 16μ , в то время как в плоскости Гаусса он равен 68μ . Для сравнения укажем, что диаметр дифракционного диска для $\lambda = 0.555 \mu$ равен 20.4μ .

Техническая постоянная, характеризующая качество объектива и отношение исправления сферической aberrации, равна 0.38 , или (в секундах дуги) $0''.78$.

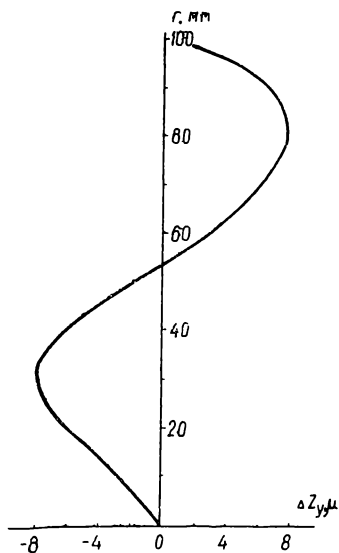


Рис. 2.

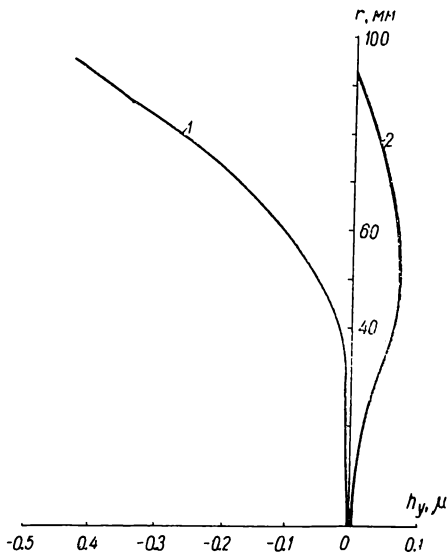


Рис. 3.

Приведем график зависимости волновой aberrации h от зоны объектива. Для их определения были сделаны соответствующие вычисления по методу приближенного интегрирования [3]. Результаты представлены на рис. 3. Кривая 1 соответствует случаю, когда за фокус объектива принят фокус параксиальных лучей. Это приводит к весьма большим отступлениям от сферы сравнения с центром в этом фокусе. Для нахождения более приемлемого положения фокальной плоскости была выполнена перефокусировка на $\Delta = +884 \mu$. Кривая 2 соответствует волновым aberrациям с новым значением фокуса, о более правильном выборе которого в качестве главного говорят значительно меньшие значения величины h . Заметим, что он в точности равен $F_{ср}$ (как определено выше).

Применим теперь к найденным значениям волновой aberrации критерий Релея [3]. Для $\lambda=0.555 \mu$ $h_{\max} \ll \frac{1}{4} \lambda = 0.139 \mu$.

В нашем случае $h_{\max} = 0.077 \mu$ для четвертой зоны, что почти вдвое меньше допустимой величины.

В отношении сферической aberrации заметим, что объектив АВР-2 переисправлен, т. е. параксиальные лучи пересекают оптическую ось ближе к объективу, чем краевые.

4. Различают астигматизм системы и астигматизм наклонных пучков. Они не зависят друг от друга и имеют различное происхождение, но методика определения их одинакова.

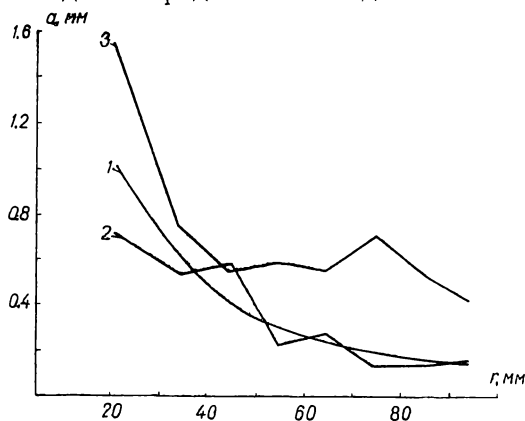


Рис. 4.

Для нахождения астигматизма системы использовался тот же фотографический материал, что и для определения сферической aberrации на оси. Обычно астигматизм характеризуют величинами a и φ_0 , где a — величина астигматизма, или радиальный астигматизм, а φ_0 определяет направление осей астигматичного изображения. За нуль отсчета осей взято направление первого азимута, ориентация которого близка к направлению круга склонения. На рис. 4 и 5 представлены найденные значения a и φ_0 в зависимости от зоны объектива (рис. 4, кривая 1). Для количественной оценки полученного результата применим снова критерий Релея. Максимальная допустимая астигматическая разность $\Delta F_{\text{м.с}}$ (разность фокусов меридионального и саггитального пучков) определяется выражением $\Delta F_{\text{м.с}} \ll 2\sqrt{2} \lambda$. Принимая $\lambda=0.555 \mu$ и $\sqrt{2} = 1.5$, получаем $\Delta F_{\text{м.с}} = 0.25 \text{ мм}$.

σ'	№	F_M	F_{CP}	F_C	ΔF_M	ΔF_C	$\Delta F_{M.C}$	ΔF_M^{CP}	ΔF_C^{CP}	$\Delta F_{M.C}^{CP}$	F'_{CP}
0	1	61.66	61.53	61.43	+0.13	-0.10	0.23				
	1	.69	.54	.33	.15	.21	.36	+0.14	-0.15	0.29	61.54
	1	.71	.56	.42	.15	.14	.29				
20	2	.89	.76	.70	.13	.06	.19				
	3	.82	.68	.59	.14	.09	.23	+0.12	-0.09	0.21	61.68
	4	.77	.64	.54	.13	.10	.23				
	5	.75	.66	.60	.09	.06	.15				
43	6	62.18	.96	.66	.22	.30	.52				
	7	.46	62.23	62.00	.23	.23	.46	+0.26	-0.25	0.51	62.11
	8	.58	.23	61.94	.35	.29	.64				
	9	.23	.01	61.84	.22	.17	.39				

В табл. 1 приведены результаты измерений трех из семи изображений диафрагмы в центре пластинки. (Здесь и далее отсчеты фокусировочной шкалы F и разности ΔF даны в миллиметрах.) Среднее значение $\Delta F_{M.C} = 0.29$ мм, т. е. астигматизм системы больше допустимой нормы.

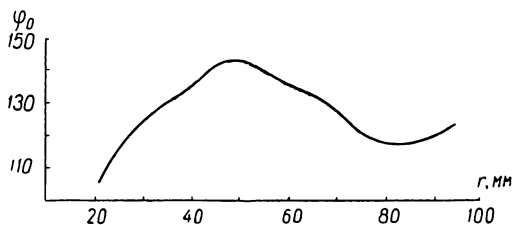


Рис. 5.

Поворот осей астигматизма плавно меняется в зависимости от зоны и достигает 40° .

Астигматизм системы не является собственно aberrацией, а возникает из-за некоторой цилиндричности объектива, которая обуславливает несколько больший фокус в направлении, проходящем через образующую этого цилиндра.

С удалением от оптической оси к астигматизму системы добавляется астигматизм наклонных пучков. Измерения дают нам суммарную aberrацию. Она исследовалась для тех же расстояний, что и сферическая aberrация поля, т. е. для 20 и 43'. Для каждого расстояния было получено четыре снимка диафрагмы

по двум перпендикулярным направлениям. Нумерация изображений — от двух до девяти. При этом номера от двух до пяти для расстояния 20', а направления 2,4 и 7,9 для изображений параллельно оси склонения. Для каждого расстояния найдены средние значения a (рис. 4, кривые 2 и 3). Заметно значительное увеличение a по всем зонам для расстояния 43' от центра.

Чтобы получить астигматизм наклонных пучков в «чистом» виде, авторы применили следующую методику.

Для каждого изображения находилось $F_{\text{ср}}$ из соотношения

$$F_{\text{ср}} = F_{\varphi_0} - \frac{a}{2},$$

где величина a бралась для суммарного астигматизма, F_{φ_0} — фокус соответствующего меридионального луча. Для разных изображений его направление будет, естественно, разным. Значение фокуса меридионального луча астигматизма системы F'_{φ_0} определяли по формуле

$$F'_{\varphi_0} = F_{\text{ср}} + \frac{a}{2},$$

в которой величина a бралась для астигматизма системы. Зная F'_{φ_0} , исправляем все значения фокусов изображения за астигматизм системы по формуле

$$F'_{\varphi} = F'_{\varphi_0} - a \sin^2(\varphi - \varphi_0),$$

где a и φ_0 брали для астигматизма системы. Разности $F_{\varphi} - F'_{\varphi}$ и дают нам разности «чистого» астигматизма, отсчитанные от среднего фокуса ($\Delta F_{\text{м}}$ и $\Delta F_{\text{с}}$). Чтобы получить теперь полную астигматическую разность $\Delta F_{\text{м.с}}$, необходимо сложить $\Delta F_{\text{м}}$ и $\Delta F_{\text{с}}$ с учетом их знаков. В табл. 1 приведен подготовленный исходный материал, служащий одновременно характеристикой суммарного астигматизма и исходным материалом для вычисления «чистого» астигматизма: средние фокусы $F_{\text{ср}}$, значения фокусов меридионального и саггитального лучей $F_{\text{м}}$ и $F_{\text{с}}$, продольный астигматизм $\Delta F_{\text{м.с}}$, разности $\Delta F_{\text{м}}$ и $\Delta F_{\text{с}}$, отсчитанные от $F_{\text{ср}}$, усредненные значения этих величин и, наконец, усредненные $F'_{\text{ср}}$ для каждого расстояния (для исключения наклона пластинки).

Затем изложенным выше способом были вычислены соответствующие характеристики «чистого» астигматизма. Полученные результаты представлены на рис. 6. При этом отдельно нанесены средние разности по группам изображений 2,4; 3,5 для 20' и

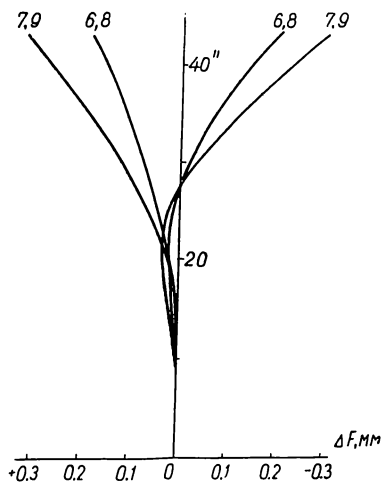


Рис. 6.

6,8; 7,9 для 43'. Знак «+» соответствует направлению на объектив. Из рисунка видно, что в пределах ошибок «чистый» астигматизм на расстоянии 20' от центра пластинки практически отсутствует, но с дальнейшим удалением начинает быстро расти и, как показывают измерения, неодинаково по разным направлениям.

Суммарный астигматизм, как видно из табл. 1, также неодинаков по разным направлениям. Так в направлении оси склонения $\Delta F_{\text{м.с}} = 0.44 \text{ мм}$ для расстояния 43', а в перпендикулярном доходит до 0.58 мм, что более чем в два раза превышает допуск Релея. Для «чистого» астигматизма наблюдается прямо противоположная картина: $\Delta F_{\text{м.с}}$ в направлении оси склонения примерно в 1.5 раза больше, чем по перпендикулярному сечению. Следует полагать, что поверхность наилучших изображений имеет различную кривизну по разным направлениям поля. По всей вероятности, фокус объектива по направлению оси склонения приблизительно на 0.2 мм меньше, чем по перпендикулярному сечению.

5. При определении кривизны поля использовались те же

измерения, что и при исследовании сферической аберрации. Кроме того, добавлен новый измерительный материал. Для каждого изображения по всем зонам были вычислены средние значения фокусов. Затем для каждого расстояния они были сгруппированы по двум перпендикулярным направлениям. Результаты приведены в табл. 2. Видно, что пластинка при фотографировании не была перпендикулярна оптической оси. Чтобы устранить наклон пластинки по соответствующим парам, для

Таблица 2

Сечения по изображениям	$F_{ц}$	$F_{20'}$	$F_{43'}$	$F_{20'}^{ср}$	$F_{43'}^{ср}$
6—8	61.64	61.70 61.77	62.06 62.34	61.74	62.20
7—9		61.72 61.82	62.08 62.36	61.77	62.22

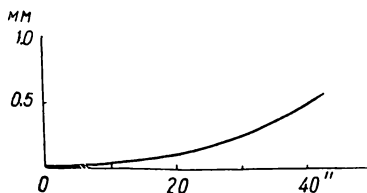


Рис. 7.

20 и 43' образованы средние значения фокуса. Затем между ними и значением фокуса для центра поля взяты разности ΔF (рис. 7). Как видно, кривизна поля объектива АВР-2 невелика. Максимальная разность установки на фокус для центра и края поля (около 5 см) не превышает 0.6 мм ($20 \cdot 10^{-5}$).

Специальные исследования показали, что для большинства сортов фотоэмульсий дефокусировка в пределах ± 5 мм весьма мало сказывается на характере и качестве изображения. Особенно это относится к несенсибилизированным фотоэмульсиям. С расширением спектральной области чувствительность к дефокусировке увеличивается.

6. При непосредственном просмотре качественных изображений звезд на краях пластинки не обнаружено заметных искажений. Это уже может указывать на малую величину комы объектива. Тем не менее было решено провести более строгую оценку влияния комы по внефокальным снимкам диафрагмы, исходя из следующих соображений.

Так как кома пропорциональна квадрату радиуса объектива, то у внешних его зон должно наблюдаться большее нарушение симметрии относительно главного луча, чем в случае центральных. Это свойство и было нами использовано.

Сначала мы промерили четыре зоны изображения диафрагмы в центре поля по азимуту, который лежит в меридиональной

плоскости для изображений 6 и 8. Полусумма отсчетов по каждой зоне давала координаты ее центра. Так как у нас не было соответствующего отсчета для центра диафрагмы, то за ее координаты были взяты координаты центра центральной зоны. Взяв разности между координатами этого центра и координатами центров остальных зон, приводим их к центральной, получая приведение в виде системы соответствующих поправок. Такие же

Т а б л и ц а 3

№ п/п	Зоны											
	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8
	Центр				Изображение № 6				Изображение № 8			
1	-2.3	+9.6	+2.3	0	-2.6	+8.6	+9.6	0	-5.5	+6.9	+3.2	0
2	-2.3	+6.6	+1.6	0	-6.6	+5.2	-0.6	0	-8.3	+5.0	+1.5	0
3	-4.2	+4.4	+2.3	0	-5.4	+6.0	-0.4	0	-7.5	+9.9	+6.0	0
4	-7.4	+6.0	-1.0	0	-4.7	+0.2	+3.6	0	-5.7	+9.3	+6.7	0
5	-0.1	+7.4	-1.0	0								
Сред- нее	-3.3	+7.0	+1.0	0	-5.0	+5.0	+3.1	0	-6.8	+8.0	+0.4	0

измерения были проделаны для изображений 6 и 8, находящихся по разные стороны от центрального и на одинаковом расстоянии (43') от него.

В общем случае при наличии комы центры этих отверстий должны испытать смещения тем большие, чем дальше расположена зона от центра объектива. Соответствующие системы поправок должны быть примерно одинаковыми по величине и противоположными по знаку. Полученные поправки сведены в табл. 3 (величины поправок даны в μ). Центральное изображение было промерено пять раз, остальные по четыре раза. Просмотр таблицы показывает, что хотя значения поправок несколько меняются от изображения к изображению, но говорить о какой-либо системе не представляется возможным.

Вывод о малой величине комы можно было сделать косвенно, по результатам исследования сферической аберрации, ибо малая величина последней предполагает и малую величину комы.

7. Как известно, дисторсия является единственной аберрацией, не препятствующей получению предельно резких изображений. Следствием ее является лишь нарушение подобия между предметом и его изображением. По Аббе, длину отрезка l в

плоскости изображения можно представить в следующем виде [4]:

$$l = F \operatorname{tg} \sigma + V_1 \operatorname{tg}^3 \sigma + V_2 \operatorname{tg}^5 \sigma + \dots,$$

где σ — угол, под которым виден предмет из первой главной точки объектива; V_1 и V_2 — коэффициенты дисторсии.

Дисторсия определялась несколькими способами: по широком парам, по измерению расстояний между звездами в Плеядах и способом малых интервалов.

Способ широких пар. Для определения дисторсии этим способом было выбрано восемь пар звезд. Расстояния между компонентами в каждой паре от $30'.7$ до $53'.8$. Распределение звезд по полю производилось по обычной методике [4]. К звездам, входящим в пары, предъявлялись требования равенства звездных величин и спектральных классов. Все фотографии были сделаны вблизи меридиана. Максимальный часовой угол не превышал 30^m . Коэффициент дисторсии V определялся из соотношения

$$\frac{\rho_1 + \rho_3}{2} - \rho_2 = \frac{3}{4} V \operatorname{tg}^3 \sigma,$$

где ρ — измеренное расстояние между компонентами пары. Каждое значение ρ получалось как среднее из шести измерений.

Полученные величины коэффициента дисторсии V составляют ± 0.00009 мм/см.

По измерениям расстояний между звездами в Плеядах. Звезды скопления Плеяд были сфотографированы на несенсибилизированной пластинке № 27 с экспозицией 2^m . При фотографировании Альциона помещалась в оптический центр. На пластинке было выбрано 20 звезд с расстоянием от Альционы от 11.0 до $47'.2$ и в интервале от 3.5 до 7.4 фотографической звездной величины. Звезды выбирались по возможности одинакового спектрального класса.

Положения звезд взяты из каталога GC и переведены на эпоху наблюдения. При этом приведения на видимое место по α и δ вычислялись не для каждой звезды, а для четырех симметричных точек поля с последующей интерполяцией значений приведений на каждую звезду.

По вычисленным координатам звезд найдены угловые расстояния каждой звезды от центральной по формуле

$$\cos \sigma = \sin \delta \sin \delta_0 + \cos \delta \cos \delta_0 \cos (\alpha - \alpha_0).$$

Затем те же расстояния были измерены на пластинке. В них введены поправки за дифференциальную рефракцию и отличие плоскости от сферы. Зная вычисленные и исправленные измеренные расстояния, находим среднее значение фокусного расстояния объектива F_0 . Коэффициент дисторсии V находился из уравнений вида

$$q - F_0 \operatorname{tg} \sigma = dF \operatorname{tg} \sigma + V \operatorname{tg}^3 \sigma,$$

где dF — поправка к F_0 . Решая систему из 20-ти таких уравнений по способу наименьших квадратов, находим dF и V .

Способ малых интервалов. Способ заключается в фотографировании девяти одинаковых интервалов между отверстиями в металлических пластинках, закрепленных на деревянной линейке длиной 3.5 м. Расстояния между отверстиями 35 см. Это дает возможность получить длину интервалов при ошибке измерения $\pm 2\mu$ с точностью до 0.03%. Диаметры отверстий выбирались с таким расчетом, чтобы их изображения на пластинке были меньше минимального кружка, вызываемого свойствами фотографической эмульсии.

Линейка была установлена на расстоянии 164 м от объектива и занимала ровно половину поля инструмента. Можно подсчитать точность, с которой необходимо выдерживать расстояния между отверстиями, чтобы ошибки в плоскости изображения не превышали допустимой величины. Задаваясь величиной ошибки 2—3 μ (реальная точность измерений), получаем допуск 0.15 мм.

Для исключения прогиба линейки, который при ее длине составляет уже весьма заметную величину, центры отверстий были размечены при ее рабочем положении. Кроме того, сами пластинки с отверстиями, кроме передвижения вдоль линейки, имели и небольшое вертикальное передвижение. Все отверстия были выравнены по яркости для достижения одинакового фотографического эффекта. Длины интервалов проверялись с помощью специально изготовленного эталона длины.

Пробными фотографиями было найдено точное положение фокальной плоскости. Отсчет фокусирующей шкалы был равен 9 мм (для бесконечности он равен 62 мм).

Обработка проводилась следующим способом. Из многих измерений (в центре пластинки) было найдено наиболее вероятное значение длины интервала d_0 и с ним сравнивались остальные интервалы. Разности $\Delta_i = d_i - d_0$ давали значения дисторсии

для данного места пластинки. Однако более внимательное изучение показало, что этим способом находится не абсолютное значение дисторсии, а ее относительное изменение на участке, ограниченном концами интервала. Поэтому весь измеренный материал был обработан другим способом. Сначала были образованы интервалы $d_0, 2d_0, \dots, 9d_0$, т. е. расстояния каждого отверстия от центра при условии отсутствия дисторсии. С ними сравнивались измеренные расстояния и разности $n_i d_0 - d$ давали значения абсолютной дисторсии для данного расстояния. Как

и следовало ожидать, система поправок, найденная по второму способу, изменилась лишь в последних своих значениях, т. е. там, где дисторсия начинает существенно сказываться на длинах.

Чтобы исключить наклон пластинки, линейка фотографировалась по обе стороны от центра и окончателная система поправок находилась как их полусумма. Найденные системы поправок представлены в табл. 4 (через I и II обозначены

Таблица 4

№ п/п	σ	I	II
1	7.3	-0.5	-0.5
2	14.6	-0.5	-1.0
3	22.0	+2.0	+1.5
4	29.2	-1.0	0
5	36.2	+2.0	+2.0
6	44.0	+1.0	+2.5
7	51.3	+7.0	+8.0
8	58.6	+16.0	+25.0

средние значения поправок (в μ), найденные по первому и второму способам). Каждая система получена из двух независимых рядов измерений.

В качестве недостатка второго способа следует отметить существенное влияние ошибок измерения длин первых интервалов на последующие, в то время как в первом способе ошибка измерения длины интервала сказывается лишь на значении поправки для этого же интервала.

Подведем итоги и сравним результаты по всем трем способам.

Среднее значение V , найденное способом широких пар, равно $+0.00005$ мм/см, но оно, как это будет видно, не отражает действительной картины. Измерения и обработка пар занимает мало времени, что несомненно является достоинством способа. Гораздо больше времени уходит на поиски самих пар, которые удовлетворяли бы всем поставленным выше условиям.

Среднее значение V , найденное по Плядам, равно $+0.000067$ мм/см. Оно хорошо согласуется с найденным выше. В качестве недостатка способа следует отметить громоздкость получения конечного результата. Полученная при этом поправка

к принятому значению фокусного расстояния объектива $dF = -0.51$ мм, что дает $F = 3019.3$ мм (для 20°C).

Интересные результаты были получены по способу малых интервалов. Недостатком следует считать необходимость изготовления точно разделенной шкалы, однако это полностью окупается возможностью достаточно подробного и детального исследования абсолютной дисторсии по полю инструмента. Так, например, можно считать реальным, что на расстоянии около $25'$ знак дисторсии меняется на обратный, а затем, после $32'$, он снова становится положительным. В свете этого становится понятным значение $V = -0.00009$ мм/см, полученное для расстояния $30'.7$ по паре № 5, которое ранее мы хотели отбросить как ошибочное.

Кривую нарастания дисторсии (рис. 8, кривая 2), найденную по этому способу, ни при каких значениях V нельзя удовлетворительно представить кубическим уравнением, как это предполагалось выше. Именно поэтому средние значения V , найденные первым и вторым способами, т. е. путем усреднения отдельных значений V для разных расстояний, не отражают действительной картины дисторсии. В этом смысле предпочтительнее пользоваться для каждого расстояния просто найденным значением V .

Если отвлечься от выявленных неоднородностей в поведении дисторсии, то кривая ее изменения, найденная по способу малых интервалов, хорошо представляется уравнением вида

$$\Delta = V_1 \text{tg}^3 \sigma + V_2 \text{tg}^5 \sigma.$$

Найденные значения коэффициентов равны $V_1 = +0.000011$, $V_2 = +0.00000003$ мм/см.

Проведенное исследование показывает, что дисторсию объектива можно считать достаточно малой вплоть до расстояния $40'$ от центра поля. Затем она быстро увеличивается и на макси-

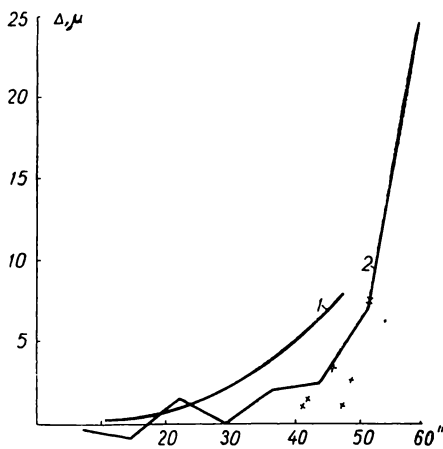


Рис. 8.

мально измеренном расстоянии достигает $+25 \mu$. Относительная дисторсия для этого расстояния не превышает 0.05% .

8. Для двухлинзовых объективов, как показал Д. Д. Максудов [5], изменение фокусного расстояния с температурой с достаточной точностью можно представить линейным соотношением

$$F_t = F_0(1 + \eta t),$$

где η — температурный коэффициент изменения фокусного расстояния объектива. Изменение длины трубы в зависимости от температуры также можно представить линейным соотношением. Совместное действие этих факторов можно записать в виде

$$A_t = A_0 + F_0(\eta - \beta)t,$$

где A_0 — отсчет фокусирующей шкалы при 0°C , β — коэффициент линейного расширения материала трубы. Если $\eta = \beta$, то отсчет фокуса не зависит от температуры, в противном случае необходимо практически определить $\eta - \beta$ из наблюдений.

Для определения $\eta - \beta$ использовались снимки диафрагмы, сделанные в центре поля в диапазоне температур от -20 до $+18^\circ$. Температура отсчитывалась по термометру, установленному на колонне инструмента.

Зависимость отсчета фокусирующей шкалы от температуры имеет следующий вид:

$$A_t = 61.70 + 0.02t,$$

откуда $\eta - \beta = +0.000007$, т. е. у объектива рефрактора АВР-2 температурный коэффициент изменения фокусного расстояния объектива превышает коэффициент линейного расширения трубы.

Заметим, что числовые данные этой зависимости пригодны лишь для несенсибилизированных пластинок. Для фотоэмульсий других сортов числовые данные будут несколько иные.

9. Для определения проникающей силы были сфотографированы Плеяды вблизи меридиана с экспозицией 1^h на несенсибилизированной пластинке № 152. Пластинка проявлялась 8 мин в проявителе КЦ-1. Предельная звездная величина определялась с помощью карты и каталога Плеяд [6].

Сравнение показало, что при часовой экспозиции вполне уверенно получают звезды до $m_{pg} = 13^m.5$. Предельной величиной, оставляющей еще первый след на пластинке, следует считать $13^m.8$. Снимок был получен на зенитном расстоянии около 26° .

Поправка за атмосферное поглощение не вводилась, так как на таком зенитном расстоянии она не превышает $0^m.06$.

Таким образом, проведенное исследование показывает, что у объектива АВР-2 сферическая аберрация, кома и кривизна поля исправлены вполне удовлетворительно. Астигматизм на большей части поля лишь немного превышает допуск Релея. Дисторсия ограничивает полезное измеримое поле пластинки до размера порядка $100'$.

Что касается хроматической аберрации, то в настоящее время результаты ее исследования обрабатываются и будут опубликованы в ближайшее время.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hartmann I — Public. des Astroph. Obs. zu Potsdam, XV Band, 46.
2. Курс астрофизики и звездной астрономии. Т. 1. Изд-во АН СССР, М.—Л., 1951.
3. Максutow Д. Д. Астрономическая оптика. Гостехиздат, М.—Л., 1946.
4. Бугославская Е. Я. Фотографическая астрометрия. Гостехиздат, М.—Л., 1947.
5. Максutow Д. Д. — Цирк. ГАО АН СССР, 1936, 20.
6. Annalen van de sternwacht te Leiden, 1946, XIX.

Полтавская гравиметрическая
обсерватория

THE INVESTIGATION OF THE OBJECTIVE OF THE AVR-2 REFRACTOR B. F. SINCHESCHOOL and V. N. SINCHESCHOOL

Summary

The paper deals with the investigation of the objective of the AVR-2 refractor ($D=200\text{ mm}$, $F=3019\text{ mm}$) installed at the Poltava Observatory. Spherical aberration, astigmatism, curvature of the field, coma and distortion were investigated.

It has been found that the objective of the refractor is corrected quite satisfactorily as regard spherical aberration, curvature of the field and coma; in the most part of the field astigmatism is near to the permissible Rayleigh's value.

The field of the instrument is limited by distortion to $100'$ where distortion amounts to $5-6\mu$. The temperature coefficient of the focal length and penetrating power of the objective have been determined also.