

Резултати от изследването на оптиката на 2-м РСС
огледален телескоп на НАО-Рожен, НРБ

Богомил Ковачев – НАО-Рожен, БАН, НРБ

Леонид Снежко – САО АН СССР

През 1979 г. по време на приемните изпитания бе направено изследване на качествата на оптичката система на 2-м телескоп на НАО, БАН. Резултатите от изследванията представяха интерес и от гледна точка на развитие на методите за количествена юстировка на светосилни системи от типа Ричи-Кретиен. Като основен метод бе избран метода на Хартман, който позволява да се елиминира смущаващото влияние на атмосферата. За обработка на хартманограмата бе приложена методика на съвместна обработка на две извънфокални снимки, която бе развита за изследване на 6-м телескоп БТА (Л. Снежко, 1980, Астрономический журнал, 57, 869). Всички измервания и тяхната обработка бяха направени в НАО, БАН.

В табл.1 са приведени данните за разпределение на енергията в изображението за центъра на полето. В таблицата са дадени диаметрите на кръгчетата на разсейване d_q в дъгови секунди, съдържащи част q от енергията. Горният ред съдържа изходното разпределение, а долния – данните с изключване от изображенията на всички аберации на Зайдел. Порядъка на грешките е получен от усредняване на резултатите от обработката на няколко двойки хартманограми.

Данните от табл.1 показват, че за центъра на полето концентрацията на енергията не е превишавала 65% в кръг с диаметър 1" и не повече от 95% в кръг с диаметър 2", както за система с коректор на астигматизма, така и без него.

В табл.2 се съдържат амплитудите и позиционните ъгли на аберацията на Зайдел във вълнов фронт за центъра на полето.

В центъра на полето коректора на астигматизма внася положителна сферическа аберация, не променя комата и намалява

амплитудата на астигматизма. Вълновия фронт в центъра на полето съдържа всички aberации на Зайдел, амплитудите на които надминават дифракционните допускания (критерий на Марешал), равни $(A_{40}) \lesssim 0.5$ мкм, $(A_{31}) \lesssim 0.3$ мкм, $(A_{22}) \lesssim 0.1$ мкм.

Ако се предположи, че констатираните aberации на Зайдел са резултат на недостатъчна юстировка на системата, то изключването на тези aberации дава най-доброто качество на изображението, което би могло да се получи чрез допълнителна юстировка на дадената система. Както показват данните на табл.1, даже при пълно изключване на всички aberации на Зайдел, концентрацията на енергията в изображенията остава недопустимо ниско за съвременното ниво на технологията за изготвяне на астрономическа оптика.

Обработката на хартманограмите, получени на разстояние $25'$ от центъра на полето, показва, че в системата без коректор преобладаваща aberация на полето се явява астигматизма, докато комата и сферическата aberация не надминават значенията им за центъра на полето. Оценката на изображенията с коректор на астигматизма показва, че на разстояние $25'$ от центъра на полето концентрацията на енергията в изображението не се е изменила по сравнение с тази за центъра на полето. По такъв начин пресметнатата система на касегреновия фокус на 2-м телескоп на БАН наистина е класическа Ричи-Кретиен система.

Основавайки се на резултатите от приемните изследвания, офертата към подписания договор за доставка от 26.I.1970 г. условията на която се оказаха неизпълнени и настояването на българската страна за съответствие на поръчаната с изготвената оптика, фирмата производител (Народно предприятие Карл Цайс – Йена) взе решение да направи нов комплект оптика за система Ричи-Кретиен, който бе монтиран чрез заменяне на стария на 2-метровия телескоп през пролетта на 1987 г. Наред с това, пак по настояване на българската страна, новото 2-м огледало бе изготвено вместо от

пирекс както старото от керамичния материал "ситал", който има значително по-високи качества по отношение на температурните колебания на въздуха.

Направените през лятото и началото на есента на 1987 г. оптически изследвания по методата на Хартман дадоха следните резултати:

Атестационните хартманограми бяха получени за системата без коректор на астигматизма при две положения на вторичното огледало. При първото положение на огледалото (снимки № 6) фокалната плоскост е била съвместена с плоскостта на касетата ("реален" фокус). При второто положение на огледалото (снимки № 7) във фокалната плоскост е била минимизирана сферическата аберация ("най-добър" фокус). В таблица 3 е дадено полученото разпределение на енергията, където освен изходното разпределение са дадени резултатите от последователното изключване на аберациите на Зайдел.

Изключването на комата практически не изменя разпределението на енергията, т.е. комата е малка. Изключването на астигматизма до известна степен подобрява концентрацията на енергията към центъра на изображението в двата случая. За снимките № 6 ("реален" фокус) изключването на сферическата аберация съществено подобрява разпределението, за снимки № 7 изключването ѝ не влияе на концентрацията на енергия към центъра на изображението.

В табл.4 са дадени аберациите на Зайдел във вълновия фронт.

Може да се види, че преместването на вторичното огледало практически е компенсирало сферическата аберация, амплитудата на която за снимките № 7 (в "Най-добър" фокус) е близка до дифракционния допуск. Амплитудата на комата е близо до дифракционния допуск за снимките № 6 и е два пъти по-голяма от

него за снимките № 7. Като се има в предвид високото ниво на локалните грешки (изображението в 10 пъти е по-голямо от дифракционното) кома с такава амплитуда не влияе на разпределението на енергията. Амплитудата на астигматизма е по-голяма от дифракционния допуск 8-10 пъти, поради това астигматизма се проявява в изображението в двата случая. След изключване на аберацията на Зайдел средноквадратичното отклонение на вълновия фронт от най-близката сфера съставлява $\sim 0.2 \text{ мкм} \approx 0.4 \lambda$, което характеризира доста високото ниво на локалните грешки на новия комплект оптика.

В "реалния" фокус, т.е. в плоскостта на касетата, в центъра на полето на РК-системата без коректор за астигматизма концентрацията на енергията в изображение за новия комплект оптика е $d_{0.85} = 1''.04$, при това преобладаващи аберации се явяват сферическата и астигматизма. Аналогични данни за стария комплект оптика е $d_{0.85} = 1''.48$ (вж.табл.1). По такъв начин, в "реалния" фокус без коректор за астигматизъм смяната на оптиката е довела до намален кръг на разсейване ~ 1.5 пъти. По данните на табл.2 коректора на астигматизма внася положителна сферическа аберация. Поради това въвеждането на коректора на астигматизма не може да подобри изображението в "реалния" фокус.

В "най-добрия" фокус в центъра на полето на РК-системата без коректора на астигматизма се достига концентрация на енергия с новия комплект оптика $d_{0.85} = 0''.79$ ($d_{0.80} \approx 0''.87$), което е ~ 2 пъти по-добре отколкото за стария комплект.^{ж)} Обаче тази концентрация на енергия не може да бъде реализирана в наблюденията, тъй като при това плоскостта на най-добрите изображения е преместена навътре в касетната част (към главното огледало) на ~ 90 мм. и не може да бъде съвместена с плоскостта

ж) Съгласно офертата към договора, ние трябва да имаме: РС и Куде по-добре от 50% в 0.3", 80% в 0.6" и 90% в 0.7".

на фотоплаката, поради отсъствие на конструктивна възможност за преместване на касетата по продължение на оптичната ос. Подобно преместване на фокуса имаме при Куде системата. По време на изпитанията бе констатирано и неравномерно и некачествено покритие на огледалото, като се измерва изключително ниска отражателна способност от $\sim 60\%$ в края на един от квадрантите на неговия диск. След настояване от българска страна през пролетта на 1988 г. бе извършена нова смяна на насрещното РС огледало, в резултат на която благоприятно се измества фокуса на новата оптична система към този на старата. От българска страна е изискана и замяна на вторичното Куде огледало за което още не е получено съгласие от Карл Цайс – Йена, представители на която направиха през м.април т.г. безуспешни опити за подобрене на Куде-фокуса чрез експеримента с допълнителна корекционна пластинка.

Като цяло, новия комплект оптика на 2-метровия телескоп на БАН е по-добър от стария, обаче голяма част от достоинства на новата оптика се зачерква поради принципиален конструктивен недостатък – отсъствие на движение по продължение на оста на касетната част при фокуса Ричи-Кретиен. Целия опит от оптическите изследвания на 2-м телескоп на БАН показва, че в конструкцията на съвременните светосилни телескопи от типа Ричи-Кретиен обезателно трябва да се предвиждат всички необходими юстировъчни премествания. Това е необходимо както за реализация на пресметнатите параметри на оптическата схема, така и за отстраняване на възникналите в процеса на експлоатация топлинни и механически разюстировки. Съвременните системи за регистрация и обработка на изображенията рязко увеличават наблюдателните възможности на телескопите от класа 2-м, което определя повишаването на изискванията към качеството на изображението създавано от оптиката на телескопа. Тази тенденция се проявява

не само в повишаване на критериите за качеството на изображение, които се приближават към дифракционното, но и в създаване при телескопите от новото поколение на системи за активен контрол на качеството на изображение в реално време.

В последно време бе съобщено от фирмата, че ще предприеме в бъдеще ново покритие на 2-м огледало, след тези промени ще бъдат проведени нови изпитания, резултатите от които едва ли ще променят изложената картина за концентрацията на светлината на новата оптика на 2-м телескоп на НАО-Рожен към БАН, като общо реализират за него сравнително по-високо качество. Може да се счита, че този 2-м телескоп на НП "Карл Цайс" – Йена е най-добрият от останалите на тази класа влезли в експлоатация и произведени от фирмата.

Авторите изказват благодарност на колегите, участвували в проведените изпитания: ст.н.с.к.ф.н.Н.Спасова, асист.В.Голев, инж.Ив.Памукчиев и др.

Таблица 1.

Система	0.35	0.45	0.55	0.65	0.75	0.85	0.95
Исходно разпределение							
Без коректор	0."55 ± 3	0."68 ± 3	0."77 ± 3	0."95 ± 4	1."19 ± 4	1."48 ± 6	2."13 ± 6
С коректор	0. 57 ± 2	0. 67 ± 2	0. 81 ± 2	0. 98 ± 4	1. 22 ± 1	1. 48 ± 3	1. 97 ± 7
С изключване на аберациите на Зайдел							
Без коректор	0."50 ± 1	0."59 ± 1	0."72 ± 2	0."88 ± 1	1."06 ± 1	1. 26 ± 3	1. 73 ± 6
С коректор	0. 54 ± 2	0.64 ± 2	0. 75 ± 2	0. 89 ± 2	1. 08 ± 2	1. 28 ± 2	1. 56 ± 5

Таблица 2.

Система	Сф.аберация	Кома		Астигматизъм	
	A_{40}	A_{31}	W_{31}	A_{22}	W_{22}
Без коректор	0.37 мкм ± 0.13	1.50 мкм ± 0.13	242° ± 2	1.03 мкм ± 0.12	39° ± 5
С коректор	2. 02 ± 0.02	1.57 мкм ± 0.04	234° ± 1	0.57 мкм ± 5	44° ± 5

Таблица 3.

№	0.35	0.45	0.55	0.65	0.75	0.85	0.95
Изходно разпределение							
6	0".50	0".57	0".64	0".72	0".79	1".04	1".92
7	0.36	0.42	0.47	0.57	0.68	0.79	1.44
Изключена е комата							
6	0.51	0.57	0.63	0.71	0.80	1.14	1.76
7	0.36	0.41	0.46	0.55	0.66	0.80	1.34
Изключен е астигматизма							
6	0.40	0.46	0.57	0.69	0.82	1.12	2.16
7	0.27	0.33	0.38	0.43	0.48	0.61	1.34
Изключена е сферическата аберация							
6	0.25	0.30	0.36	0.43	0.51	0.62	0.80
7	0.25	0.32	0.38	0.44	0.52	0.68	0.87

Таблица 4.

№ на снимката	Сф.аберация	Кома	Астигматизъм		
	A_{40}	A_{31}	W_{31}	A_{22}	W_{22}
6	2.04 мкм	0.38 мкм	-1°.6	0.87 мкм	1°.5
7	0.72	0.60	13	1.29	-0.7