

■ НЕБЕТО НАД НАС

Очите на професионалната астрономия в България

Пенчо Маркишки

Снимки Пенчо Маркишки

*Кулата на 2 м РКК телескоп
по време на работа и Млечният път над нея*

Нашата страна също може да се похвали с такова постижение – Националната астрономическа обсерватория Рожен (НАО) на вр. Свети Дух в Родопите, недалеч от местността Роженски поляни и превала Рожен. От своето построяване тя и досега е най-големият действащ астрономически комплекс в Югоизточна Европа.

Строителството на НАО започва през 1974 г., а официално е открита на 13 март 1981 г., макар че обсерваторията е работила известно време преди откриването си – от септември 1980 г. НАО е най-голямата еднократна инвестиция на нашата страна в съоръжение, използвано за научни цели – на стойност над 12 млн. лв. Подобно на повечето астрономически обсерватории, НАО има един голям (главен) телескоп и няколко по-малки – общо 4 инструмента, които се използват за изследвания на астрономически обекти. Най-големият телескоп е рефлектор, система Ричи – Кретиен – куде, с диаметър на главното огледало 2 м, който е монтиран в кула с височина 36 м и с диаметър на въртящия се купол 20 м. Следващите по-малки по диаметър инструменти са 50/70 см широкоъгълен Шмит телескоп, 60 см Касегрен телескоп и 15 см слънчев телескоп-коронограф. Първите 3 инструмента са произведени от немската фирма „Карл Цайс“, което е гаранция за високото им качество. Обсерваторията разполага и с няколко инструмента от любителски клас, предназначени за работа с ученици в извънкласни форми на обучение, за любители, практикуващи художествена астрофотография, и за демонстрационни наблюдения с гостите на обсерваторията.

Какво означават странните названия на изброените инструменти, като Ричи

От гревността до наши дни астрономическите обсерватории са олицетворявали стремежа на човечеството да разкрие тайните на небесните светила, да опознае необятната и загадъчна Вселена и да осмисли мястото си в нея. Построяването на астрономическа обсерватория винаги е било напредничащо начинание, символизиращо преклонение към знанието, тъй като всяко такова съоръжение е своеобразен храм на науката и нов прозорец към дълбините на звездното небе.

–Кретиен, Шмит и Касегрен, и защо са изброени в ред по намаляващ диаметър? Според масово разпространената представа целта на телескопа е да увеличава образите на наблюдаваните обекти, за да могат те да бъдат изследвани по-добре – по аналогия с биноклите и далекогледните тръби, обичайно използвани с тази цел. Без съмнение увеличението (мащабът на образа) е важно условие в астрономическите

наблюдения, но главната цел на телескопа е по-различна – да събере възможно повече светлина от обектите, за да бъдат забелязани повече детайли в тях или за да бъдат достъпни повече на брой по-слаби обекти. Способността на един телескоп да събира повече или по-малко светлина се определя от диаметъра (апертурата) на неговия обектив, поради което една от главните цели в съвременното телескопостроене е конструирането на телескопи с възможно по-голям диаметър на обектива. Предимствата на големия обектив лесно се демонстрират със следния прост експеримент: Нека в гържовно време, в един и същ момент изнесем на открито два кухненски съда с различни диаметри – например чаена чаша и голям тас. След като изчакаме в тях да се събере гържовна вода, но преди някой от съдовете да прелее, нека едновременно да ги закроем и да измерим двете събрани количества чрез разграфен мерителен съд. Ще установим, че за еднаквото време на престой под гържда по-големият по диаметър съд е събрал повече вода, просто защото повече на брой гържовни капки са го улучили. Аналогично в по-големия по диаметър обектив за единица време ще попадат повече фотони и затова събраната от него светлинна енергия ще бъде повече, което означава по-голяма ефек-

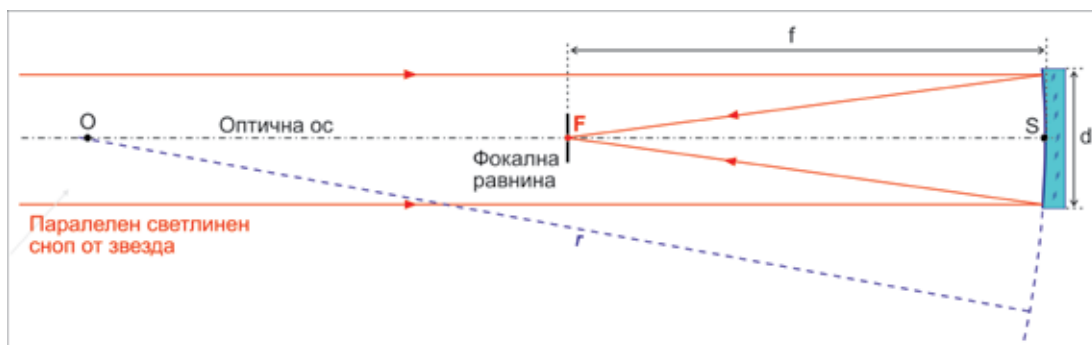


Кулата на 2 м РКК телескоп с метеорологичната станция и помощната сграда

тивност на телескопа.

Големите съвременни оптични телескопи са рефлекторни – при тях обективът най-често е вдлъбнато хиперболично огледало, с диаметър няколко метра, монолитно или съставено от отделни точно напасващи се секции. Поради вдлъбнатата си форма това огледало има свойството да отразява и събира в една фокусна точка лъчите, идващи от дадена звезда, построявайки така нейния образ. По такъв начин образите на наблюдаваните обекти се проектират в една равнина, наричана *фокална* или *фока-*

ла, в която обикновено лежи фотографски приемник – матрица на цифрова камера или (до преди години) фотографска плоча. Разстоянието от центъра на отразяващата повърхност на огледалото до фокалната равнина се нарича *фокусно разстояние*. От него зависи размерът на образа на даден обект: колкото е по-дълго фокусното разстояние, толкова по-уголемен е образът във фокалата. Много често на пътя на светлината между главното огледало и фокалната равнина са разположени други оптични елементи – вторично огледало,



Основните оптико-геометрични параметри на вдлъбнато сферично огледало: O – център на сферата, част от която е отразяващата повърхност на огледалото; r – радиус на повърхностната кривина; S – върхна точка на огледалото; f – фокусно разстояние, $f = r/2$; F – главна фокусна точка, в която се събират отразените лъчи, попадащи в огледалото паралелно на оптичната ос; d – диаметър на огледалото

корекционни лещи за подобряване на качеството на образа (т.нар. *коректори за плоско поле*) или система лещи, променящи фокусното разстояние на цялата оптична система на телескопа (в такива случаи говорим за *резултантно*, или *еквивалентно* фокусно разстояние). Промяната на фокусното разстояние води до промяна на мащаба на получения образ. При големите телескопи еквивалентното фокусно разстояние може да достига няколко десетки метра.

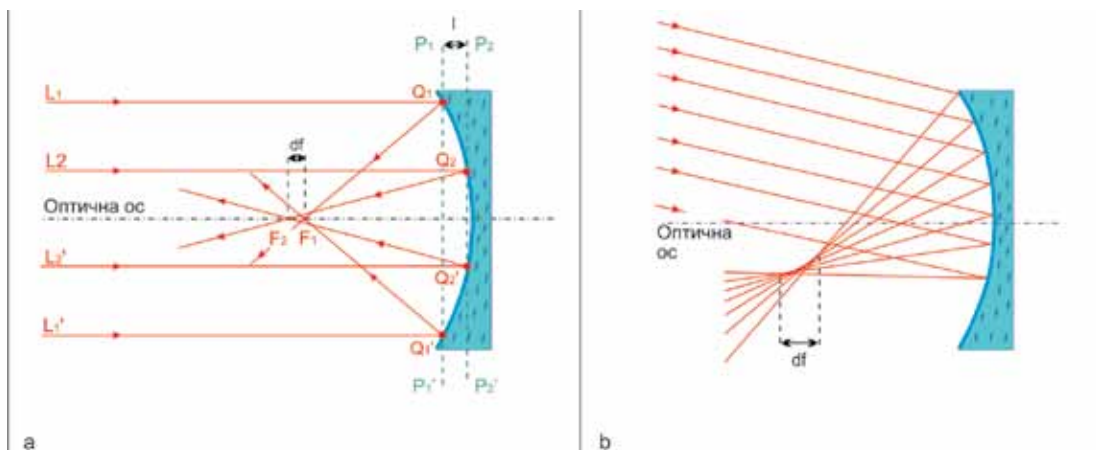
Осветеността на образа на даден обект зависи от яркостта на самия обект и от гуаметъра на обектива на телескопа, но това е вярно по-скоро само за звездните изображения. Поради огромната си отдалеченост от нас звездите изглеждат като точкови светеоизточници, дори ако ги разглеждаме при най-голямото увеличение на телескопа. Реално образът на една звезда във фокалата представлява малък дифракционен диск с ъглов гуаметър под една дъгова секунда (т.нар. *диск на Ейри*). Ако се гледа под голямо увеличение, около този диск може да се види серия от светли и тъмни концентрични пръстени, причинени от дифракцирала в краищата на обектива светлина. Добре е да се поясни, че гуаметърът на диска на Ейри няма нищо общо с физическия гуаметър на наблюдаваната звезда, а се определя от параметрите и дефектите на телескопа. Така в крайна сметка можем да смятаме звездния образ за точков поради малкия му размер. Като такъв поне теоретично не би следвало той да придобива по-големи видими размери, ако удължим фокусното разстояние на системата. Тогава осветеността на звездния образ логично ще се определя само от уловеното количество светлинна енергия, фокусираща се в него, а в случая това количество зависи само от блясъка на звездата и от гуаметъра на обектива.

Всеки, който е разглеждал Луната през телескоп обаче знае, че при по-големи увеличения – например след поставяне на по-мощен окуляр, образът става по-тъмен. Това важи в случаите, когато наблюдаваме *плътни обекти* – такива, имащи определени види-

ми размери като планети, мъглявини, комети и пр. Същото се получава и при наземни наблюдения през геня. Наистина, гуаметърът на обектива не се променя при смяна на увеличението, така че събираното от прибора количество светлинна енергия остава непроменено. При завишаване на увеличението обаче ние уголемяваме линейните размери на образите, проектиращи се върху ретината на окото, а това значи, че събраната светлинна енергия вече се разпределя върху по-голяма площ. Ето защо яркостта на образите на плътните обекти осезаемо спада.

По същата причина е налице потъмняване на образа с повишаване на мащаба и при фотографски наблюдения – когато вместо окуляр във фокалата на телескопа лежи фотоприемник (плака или матрица на цифрова камера). Тогава, ако удължим фокусното разстояние на телескопа, образите на плътните обекти ще се уголемят, но осветеността им ще спадне – за разлика от тази на звездните изображения. Става ясно, че осветеността на образите на плътните обекти зависи освен от гуаметъра на обектива и от фокусното разстояние. Способността на един обектив да възпроизведе във фокалата изображение с определена осветеност се нарича *светлосила*, а тя е в пряка връзка с т. ар. *относителен отвор* – отношение, показващо колко пъти гуаметърът на обектива е по-малък от фокусното разстояние. Например телескоп с гуаметър на главното огледало 2 м и фокусно разстояние 16 м, какъвто е най-големият телескоп в НАО, ще има относителен отвор 1:8, тъй като гуаметърът на огледалото е 8 пъти по-малък от фокусното разстояние.

Използването на много големи увеличения при визуални наблюдения или на много едър план при фотографирание води до редица неудобства. Освен тъмните образи и стесненото зрително поле се достига пределът на разделителната способност на инструментата, стават видими някои дефекти от неговата оптика и не на последно място – започва да пречи ефектът от атмосферната турбуленция, изразяващ се в непрестанно трепкане на образа или в спорадичното



Сферична аберация и кома при вдлъбнато сферично огледало – същност и причини

Пример а – сферична аберация:

$L1, L1', L2$ и $L2'$ – лъчи от паралелен светлинен сноп, идващ от много отдалечен точков светоизточник (звезда);

$F1$ и $F2$ – фокусни точки съответно за периферните и за централните лъчи от снопа. Те не съвпадат и това влошава качеството на образа на звездата – той се развива в областта df ;

$P1 - P1'$ и $P2 - P2'$ – равнини, съдържащи точките на отражение $Q1$ и $Q1'$ на периферните лъчи, и $Q2$ и $Q2'$ на централните лъчи. Поради кривината на огледалото двете равнини са раздалечени на дистанцията l . Ако огледалото е параболично или хиперболично (т.е. по-отворено), фокусът $F1$ ще се отмести напред и ако съвпадне с фокуса $F2$, качеството на образа ще се подобри.

Пример б – кома:

Светлинният сноп попада косо в огледалото и затова след отражението си не се фокусира в една точка, а образът на звездата се развива в характерна по форма област df . Дефектът е толкова по-явен, колкото по-голям е ъгълът между снопа и оптичната ос на огледалото. Затова комата се наблюдава в краищата на полето

му размазване и избистряне. Поради всичко това дискомфортът за наблюдателя расте, респ. качеството на снимките е влошено. Ето защо няма особен смисъл от увеличения над 400 пъти при астрономически визуални наблюдения с телескоп и от увеличения над 40 пъти при наземни наблюдения денем, с по-маломощни прибори като далекотегдни тръби, теодолити и гр.

Друга основна характеристика на телескопите е тяхната оптична система. Оптичните системи обикновено носят имената на своите изобретатели. Тяхната поява е свързана със стремежа на оптиците да отстранят, доколкото е възможно, обичайните несъвършенства в образа, построен от вдлъбнато сферично огледало или от единична събирателна леща. Отстраняването на тези дефекти, често наричани *оптични аберации*, е сложна задача, към решението на която изобретателите са подхождали различно. Удобството при работа и пригодността на телескопа за едни или за други наблюдателни задачи са друго основание за появата на различните системи. В ре-

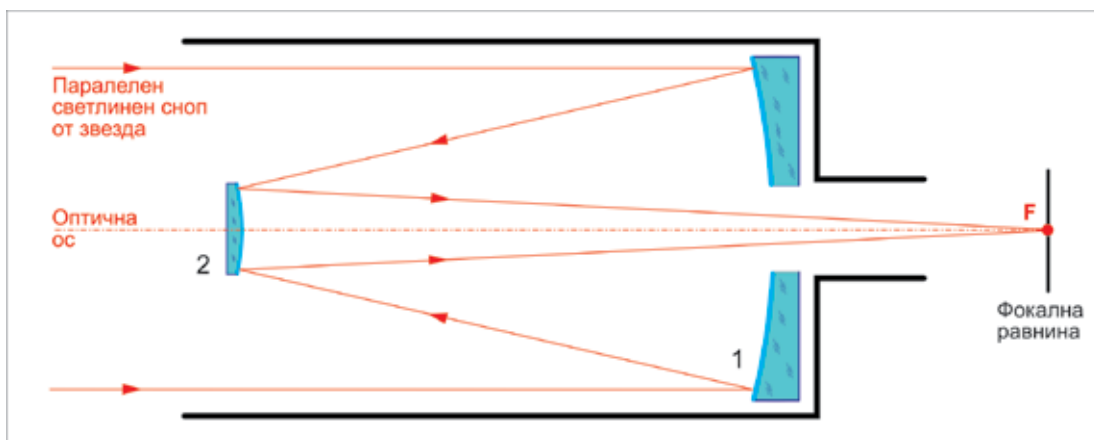


Фрагмент (крайна част) от кадър, заснет с фотографски обектив, при максимално отворена диафрагма. Двата дефекта кома и хроматизъм са силно проявени. Заради комата по-ярките звезди са придобили „опашки“, което прави изображението негодно за използване. Самото название на дефекта кома идва от думата комета – звезда с опашка. При фотообективите комата може да се намали осезаемо чрез леко притваряне на диафрагмата

зультат днес са известни много видове телескопични системи, но ще се спрем само на тези от тях, отнасящи се до помощните телескопи в НАО Рожен.

През 1668 г. Исак Нютон (Newton) изобретил своя огледален телескоп, а не след дъл-

го – през 1672 г., един френски скулптор и художник на име Лоран Касегрен (Cassegrain) предложил по-усъвършенствана телескопична система, при която отразените от главното вдлъбнато огледало лъчи достигат до по-малко на диаметър вторично изпъкнало



Оптичната система на Касегрен: 1 – главно вдлъбнато огледало с параболична форма; 2 – вторично изпъкнало огледало с хиперболична форма; F – главна фокусна точка (образен център)



Куполът на 60 см Касегрен телескоп



60 см Касегрен телескоп в НАО. Неговата зрителна тръба е конструкция тип Серюре (Serrurier). Съставена е от централен пояс, към който чрез тръбна конструкция са прикрепени заден и преден пръстен, носещи съответно главното и вторичното огледало

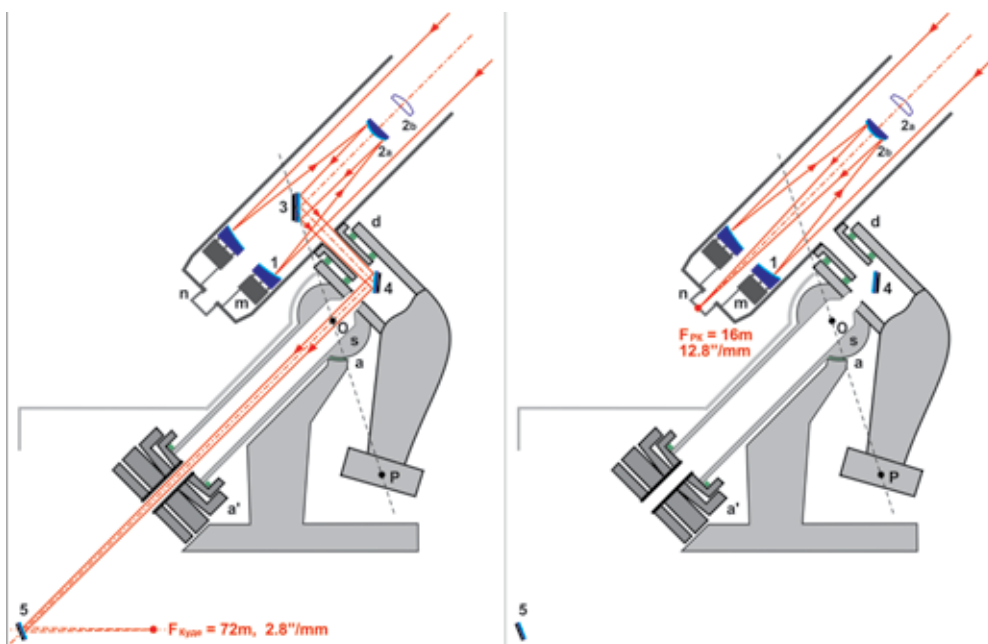
огледало. След като се отразят втори път в него, на връщане те преминават през отвор, пробит в центъра на главното огледало. Образът се построявал зад самото главно огледало, а наблюдателят можел удобно да се „прицелва“ в обектите, тъй като за разлика от системата на Нютон не бил принуден да гледа в окуляра под ъгъл 90° спрямо оптичната ос на инструмента. За да бъде образът качествен обаче, било нужно главното огледало да е параболично по форма, а вторичното – хиперболично. В НАО Рожен е монтиран 60 см телескоп система Касегрен Zeiss-600, с фокусно разстояние 7,5 м и относителен отвор 1:12,5. Този инструмент се използва главно за фотометрия – измерване на яркостта на променливи звезди, звездни купове и гр. обекти. Втори такъв телескоп работи в астрономическата обсерватория над Белоградчик.

Въпреки асферичната форма на огледалата си телескопите система Касегрен не могат да възпроизвеждат качествено звездните образи в краищата на голяма по формат фотографска плака. Поради дефекта *кома*

звездите в краищата на полето придобивали „опашки“. Затова в началото на XX в. американският астроном Джордж Ричи (Richey) и френският астроном Анри Кретиен (Chrétien) започнали да работят по усъвършенстването на системата на Касегрен. В резултат през 1927 г. бил конструиран 50 см телескоп, при който както главното, така и вторичното огледало били хиперболични. Усъвършенстваната оптична система била наречена Ричи – Кретиен (РК или RC) и телескопите, проектирани по нея, се отличавали със способността си да възпроизвеждат качествено образите на звездите върху голяма по формат фотоплака. С груги гуми, тези инструменти имали по-широки зрителни полета. Конструктивно един телескоп система Ричи – Кретиен не се различава от телескоп система Касегрен – разликата във формата на огледалата е недоволима с просто око. Една особеност, която може да ни направи впечатление при телескопите РК, са по-големите по диаметър вторично огледало и централен отвор на главното огледало, предвидени заради по-големите по формат фотографски носители, които могат да се ползват на такъв телескоп.



Двуметровият РКК телескоп



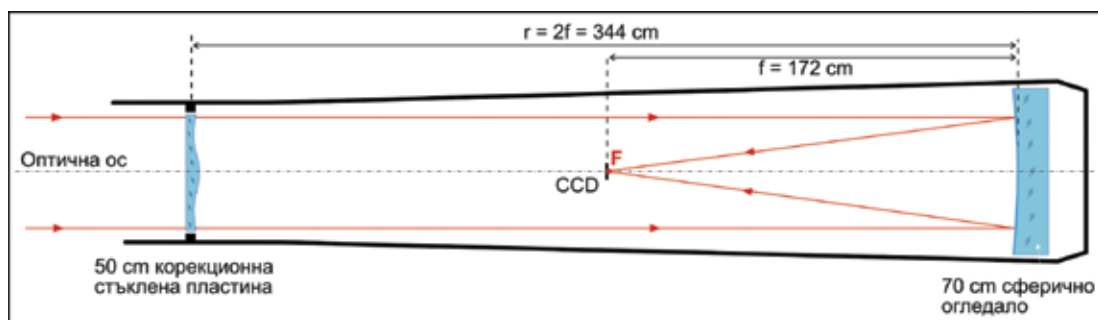
Конструкция на 2 м РКК телескоп

Телескопът е екваториално монтиран и се насочва автоматично по зададени небесни координати чрез въртене около 2 оси – часова и деклинационна. Часовата ос се носи от лагерите a и a' и е наклонена на север, на ъгъл, съответстващ на височината на северния небесен полюс над хоризонта, т.е. колкото е географската ширина, на която се намира НАО: $41^\circ 41' 40''$ N. Този наклон позволява телескопът да следи небесните светила по време на дългите фотографски експозиции, чрез бавно въртене само около часовата ос, синхронно с видимото движение на небесната сфера (т.нар. водене). Насочването по деклинация става чрез въртене на зрителната тръба около късата деклинационна ос d . Тежестта на зрителната тръба се уравновесява от противотежестта P , като общият център на тежестта съвпада с центъра O на полираната метална сфера s , която лагерува върху маслената възглавница a . Маслената възглавница се образува в специално легло с кривина като тази на сферата s . Това всъщност е горният лагер на часовата ос. Сферата s поема цялата тежест на телескопа, а долният (южен) лагер a' остава ненатоварен. В самата зрителна тръба, близо 2,5-тонното главно огледало 1 лежи върху разтоварващия механизъм t , представляващ сложна система от лостове и тежести, разпределящи равномерно тежестта на огледалото при различен наклон на телескопа. Така се избягват деформации на отразяващата повърхност, които биха влошили качеството на образа. В задната част на зрителната тръба се намира блокът n , към който се прикачва светоприемната апаратура – камери, спектрографи, фотометри и др., подбрани според наблюдателните задачи. Общата тежест на всички подвижни части на телескопа е 63 тона, от които само зрителната тръба тежи близо 20 тона

Двуметровият телескоп в НАО също е система Ричи – Кретиен, което му позволява да фотографира с високо качество части от небето с ъглови размери $1 \times 1^\circ$ върху фотографска плака с размери 30×30 см. За съжаление, използваните днес цифрови камери имат значително по малки сензори – факт, поради който на този етап астрономите не могат да се възползват от всички достоинства на телескопа. Това въпреки е проблем в много съвременни обсерватории. За да бъдат по-ефективни, съвременните големи телескопи имат няколко режима на работа, подходящи за използване при различни наблюдателни задачи. Например чрез отбиване на светлината с подвижни огледала образите на обектите могат да се извеж-

дат на различни изходи и да бъдат анализирани с различна светоприемна апаратура. Такава възможност има и 2 м телескоп в НАО – след несложна процедура по промяна на оптичната му система уловената от главно огледало светлина чрез няколко отражения се изпраща в помещение, намиращо се под телескопа, където може да бъде извършен спектрален анализ на обекта. Тази система се нарича Куге (от френски *coude* – лакът). Така имената на двете оптични системи на 2 м телескоп определят абревиатурата, с която той е известен: РКК (или RCC), което означава Ричи – Кретиен – Куге.

Двуметровият телескоп в НАО отваря мощното си око всяка ясна нощ. С него се



Оптичната система на 50/70/172 см Шмит телескоп в НАО: f – фокусно разстояние; r – разстояние между огледалото и корекционната пластина, равно на радиуса на повърхностната кривина на огледалото (т.е. на двойното му фокусно разстояние).

работи по много наши и международни научни програми. Провеждат се фотометрични, спектрографски, поляриметрични и др. изследвания на различни по тип астрономически обекти – променливи звезди, звездни купове, галактики и тела от Слънчевата система.

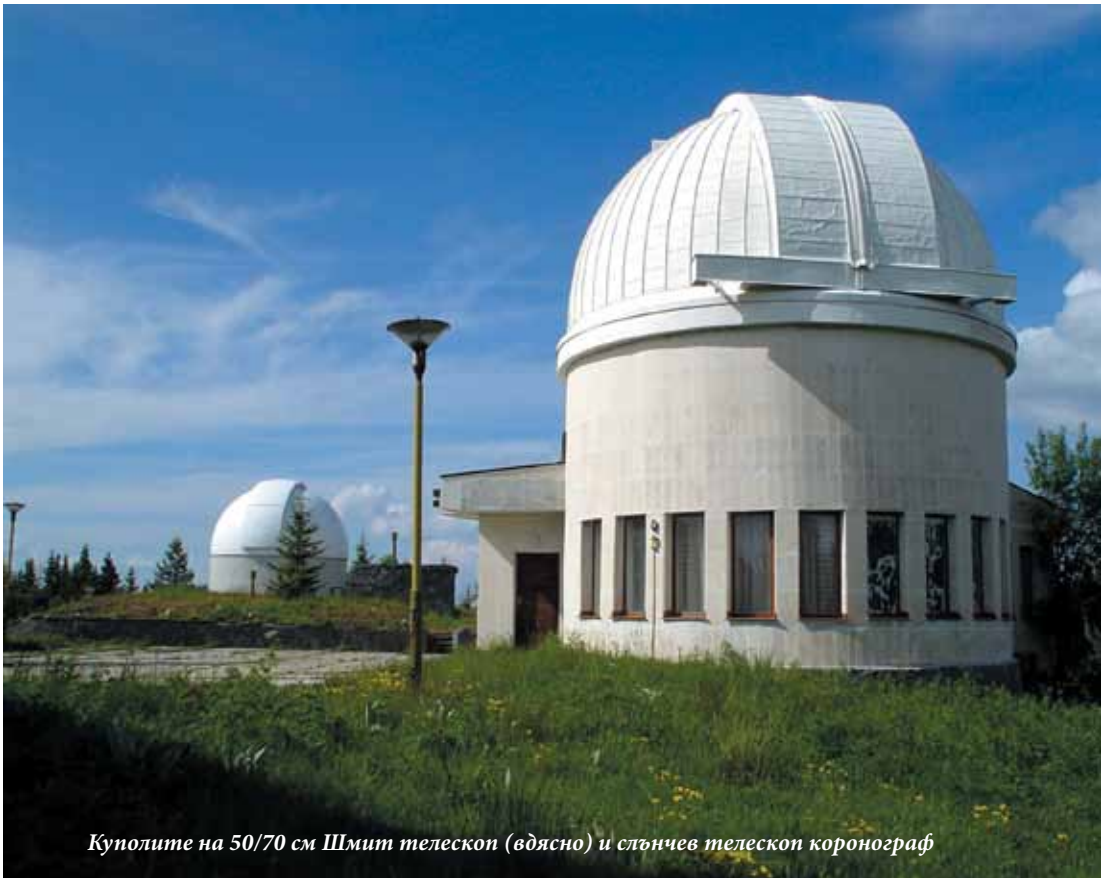
Не всички изобретатели обаче се опитвали да отстранят оптичните аберации чрез промяна на формата на огледалата. Сферичните огледала се изработвали лесно, но не и параболичните, а при хиперболичните трудностите при изработката била още по-

големи. През 1930 г. немският оптик Бернхард Уолдемар Шмит (Schmidt) предложил оптична система, подходяща за широкоъгълни астрокamери (често телескопите система Шмит биват наричани *Шмит камери*). При нея се използва сферично огледало, но входният отвор на камерата се определял от корекционна стъклена пластина с по-малък диаметър. Това, както и съобразеното разстояние между пластината и огледалото премахва комата. За да се отстрани и сферичната аберация на силно вдлъбнатото огледало, трябва едната повърхност на корекционната пластина да бъде с лъкообразен профил. При такава форма пречупващата сила на пластината се променя плавно по протежение на нейния радиус и това компенсира дефекта на огледалото. Тази особена форма се постига след специална повърхностна обработка.

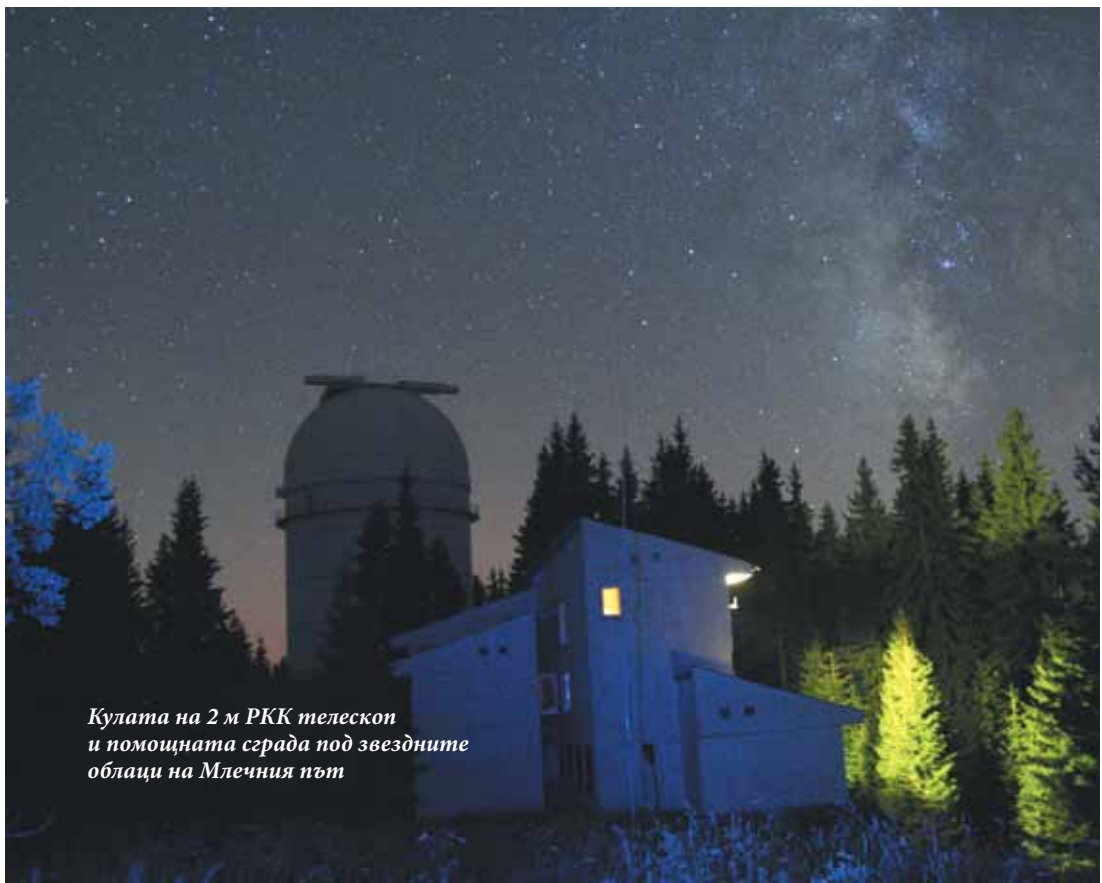
Сферичното огледало на Шмит телескопа в НАО е с диаметър 70 см, а корекционната пластина в предния край на зрителната тръба – с диаметър 50 см. Фокусното разстояние е 172 см. При Шмит камерите тези параметри се записват в реда *диаметър на пластината / диаметър на огледалото / фокусно разстояние* и в случая имаме 50/70/172 см. По-често обаче се упоменават само първите два параметъра. Шмит телескопът в НАО е най-широкоъгълният инструмент на обсерваторията и с най-голяма светлосила. Относителният му отвор е 1:3,4, което го прави изключително подходящ за фотографичане на слаби протяжни обекти – мъглявини и комети. С помощта на този телескоп най-често се наблюдават тела от Слънчевата система, търсят се извънслънчеви планети в звездни купове, оглеждат се близки галактики за избухнали Нови и др. ■



50/70 см Шмит телескоп



Куполите на 50/70 см Шмит телескоп (вдясно) и слънчев телескоп коронограф



*Кулата на 2 м РКК телескоп
и помощната сграда под звездните
облаци на Млечния път*