

Dla potrzeb początkujących miłośników astronomii znane Zakłady Optyczne CARL ZEISS w Jenie (NRD) oferują teleskopy Newtona o średnicy obiektywu 11 cm i ogniskowej 110 cm. Przyrządy o takich i zbliżonych parametrach dostarczają obserwatorom nieba wiele satysfakcji, a także, co nie jest bez znaczenia umożliwiają prowadzenie samodzielnych obserwacji o istotnej wartości naukowej. Można nimi obserwować z powodzeniem gwiazdy zmienne, plamy na Słońcu czy zakrycia gwiazd przez ciała niebieskie z naszego układu planetarnego.

Dodatkowej przyjemności dostarczają obserwacje prowadzone własnoręcznie zbudowanym teleskopem. Teleskop taki na ogół nie zawodzi właściciela podczas obserwacji, co jest związane z pełnym rozumieniem zasad jego działania. Zgodnie z obietnicą daną w poprzednim numerze „MT” (w dziale „Astronomia dla wszystkich”), postaramy się teraz rozszerzyć zamieszczony tam materiał, uzupełniając go o podstawowe informacje, umożliwiające wykonanie w warunkach domowych głównego zwierciadła teleskopu. Ograniczymy się przy tym do uwag związanych z wykonaniem zwierciadła sferycznego o średnicy 10 cm i ogniskowej 120 cm. Należy zaznaczyć, że prace przy budowie zwierciadeł o rozmiarach większych od proponowanych przez nas, przebiegają w sposób zbliżony, choć nie identyczny.

Zacznijmy od omówienia stanowiska pracy. Wskazane jest, aby „kącik szlifierski” usytuować w pobliżu kranu – ważny jest swobodny odpływ wody, ponieważ ziarenka karborundu lubią zatykać zlew. Za cały warsztat szlifierski z powodzeniem posłużyć może solidny kuchenny taboret. Na taborecie należy umieścić polakierowaną tarczę drewnianą o średnicy około 20 cm i grubości od 2 do 3 cm. W środku tarczy trzeba wywiercić otwór, a wzdłuż jej brzoğu zaznaczyć kilkanaście punktów (np. w odległości co 30 stopni). Tarcza (rys. 1b) powinna być tak umocowana, by mogła swobodnie i bez luzów obracać się względem taboretu. Jej osią obrotu może być np. trzpień (rys. 1a), starannie przymocowany do taboretu. Dodatkowo, w tarczy należy wykonać 3 wyprofilowane

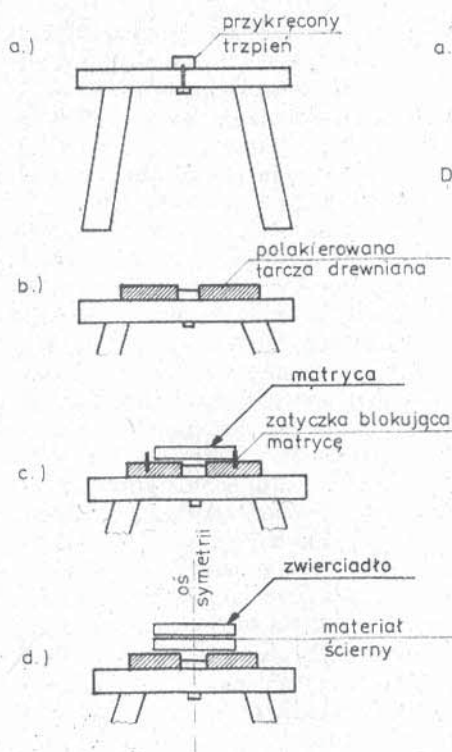
otwory (rozmszczone w wierzchołkach trójkąta równobocznego), które pozwolą za pomocą drewnianych zatyczek lub klinów mocno przytwierdzić do tarczy jedną ze szklanych płyt (rys. 1c), którą od tej chwili będziemy nazywać matrycą. Drugą płytę, tę z której powstanie zwierciadło, umieszcza się na matrycy, a pomiędzy płyty wprowadza materiał ścierny. Całość konstrukcji powinna być stabilna i symetryczna względem osi obrotu (rys. 1d).

Konstrukcja warsztatu powinna umożliwiać łatwy jego demontaż, aby bez problemów można go było starannie wymyć i ponownie złożyć. Czyszczenie stanowiska należy przeprowadzać przed każdą zmianą karborundu, jak i po zakończeniu pracy w danym dniu.

Niezmiernie ważną sprawą jest zachowywanie podczas pracy bezwzględnej czystości, i to nie tylko warsztatu, płyt czy rąk, ale także odzieży. Jeśli np. podczas polerowania dostanie się między płyty, pozostawione gdzieś lekkomyślnie, grubsze ziarno karborundu, to porysuje ono wygładzoną już powierzchnię i całą pracę trzeba będzie powtórzyć, wracając do karborundu o średnicy ziaren najwyżej trzykrotnie mniejszej od średnicy tego ziarna, które porysowało powierzchnię.

Czasem może się zdarzyć i tak, że zakupiony materiał już zawiera niewielką domieszkę niepożądanych ziaren. Istnieje wtedy prosta możliwość ich wyeliminowania. W praktyce odbywa się to w następujący sposób. Do niewielkiego, wąskiego naczynia, np. kieliszka, wsypujemy (do około 3/4 jego wysokości) aktualnie używany karborund i zalewamy go wodą, prawie do pełna. Po zamieszaniu otrzymanej zawiesiny większe ziarna opadną po pewnym czasie na dno.

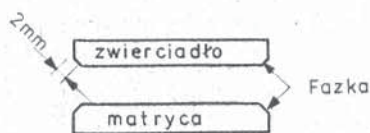
Zwilżony karborund nakładamy bezpośrednio na matrycę za pomocą łyżeczki do herbaty, pamiętając przy tym, by nie pobierać go z dna naczynia. Następnie palcem rozprowadzamy jego ziarna po powierzchni matrycy. Taki sposób postępowania umożliwia z łatwością wycucie każdej większej grudki. Im drobniejszego karborundu uży-



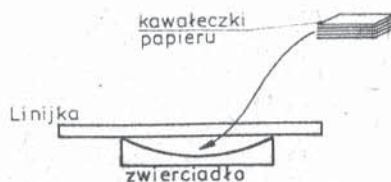
Rys. 1



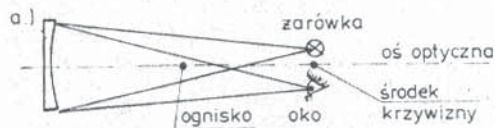
Rys. 2



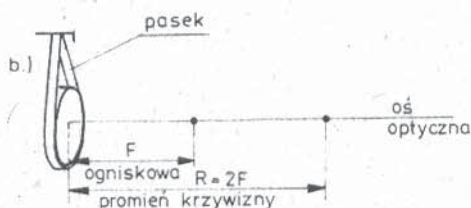
Rys. 3



Rys. 4



Rys. 5



wamy na danym etapie szlifowania, tym mniejszą jego porcję należy nakładać. Warstwa ziarenek powinna być pojedyncza.

Przejdźmy teraz do przedstawienia samej metody szlifowania. Podstawowym ruchem szlifiery jest przesuw górnej płyty w taki sposób, aby jej środek przesunął się dwukrotnie wzdłuż średnicy płyty dolnej (tzn. od siebie i do siebie). Po każdym ruchu szlifiery należy minimalnie (o 2–3 stopnie) obrócić zwierciadło w prawo, a po wykonaniu pięciu takich ruchów – całą tarczę wraz ze zwierciadłem obrócić o jeden znak, zaznaczony na obwodzie tarczy, w lewo. Postępowanie takie zapewnia systematyczne obracanie się matrycy względem szlifiery oraz zwierciadła względem matrycy i osoby szlifującej.

Istotną rolę odgrywa długość ruchu szlifiery. Wyróżniamy więc **ruchy długie i krótkie**. Przy ruchach długich zwierciadło przesuwa się względem matrycy o całą swoją średnicę (rys. 2a), a przy ruchach krótkich przesuw ograniczony jest do 1/3 średnicy (rys. 2b). Dodatkowo przy krótkich ruchach wykonuje się co pewien czas (np. co jeden obrót tarczy) kilka chaotycznych ruchów na boki, też o długości około 1/3 średnicy. Długie ruchy szlifiery zapewniają wybieranie szkła z centralnych części zwierciadła, a krótkie służą do profilowania brzegów.

Podczas szlifowania grubszymi karborundami należy górną płytę dociskać w sposób umiarkowany, bowiem zbyt silny nacisk spowoduje natychmiastowe rozkruszenie się karborundu, natomiast nacisk zbyt słaby nie

będzie dawał efektów. Szlifując coraz drobniejszymi ziarenkami możemy stopniowo zmniejszać nacisk. W sytuacji, gdy szlifowanie zaczyna sprawiać trudność, należy zdjąć górną płytę i dolać niewielką ilość wody, aby karborund nie był suchy. Szlifowanie daną porcją materiału ściernego prowadzimy aż do zupełnego zmielenia go – wyraźnie zmieni się wtedy jego zabarwienie. Trwa to zazwyczaj kilka minut i po tym czasie należy karborund wymienić, tzn. spłukać z płyt użytą warstwę i wprowadzić nową.

W celu uniknięcia odprysków szkła przy brzegach szlifowanych powierzchni należy zarówno na zwierciadle, jak i na matrycy wykonać tzw. fazę (rys. 3). Fazą nazywamy skośne ścięcie brzegów szlifowanych powierzchni, zapobiegające „zacinaniu się” i wyszczerbianiu płyt. Fazę można wykonać w ciągu zaledwie kilku minut, używając zwykłej osełki służącej do ostrzenia noży. Podczas szlifowania (głównie grubymi karborundami) należy stale zwracać uwagę, aby szerokość fazy nie zmniejszyła się poniżej 2 mm.

Celem szlifowania jest uzyskanie z płaskiej powierzchni płyty fragmentu powierzchni kuli. Wzór na strzałkę (włębienia):

$$h = \frac{D^2}{16 F},$$

pozwała obliczyć, jakie maksymalne włębienie trzeba docelowo osiągnąć. We wzorze tym D jest średnicą obiektu, natomiast F jego ogniskową. Dla proponowanego przez nas obiektu $h=0,52$ mm i właśnie o te skromne pół milimetra toczyć się będzie cała batalia.

Proces szlifowania można podzielić na trzy główne etapy: szlif surowy, wygładzenie powierzchni i jej polerowanie. W zasadzie, już w trakcie szlif surowego, zwierciadło przyjmuje wymagany profil. Na tym etapie pracy stosuje się karborund o numerze 40, którego ziarna mają średnicę rzędu 0,4 mm. Używanie długich ruchów szlifierskich zapewni systematyczne powiększanie centralnego włębienia i zamierzony efekt powinien zostać osiągnięty po około półtorej godzinie pracy.

Wartość uzyskanego włębienia należy systematycznie kontrolować. Początkowo

wystarczy ocena zupełnie zgrubna, polegająca np. na przyłożeniu linijki wzdłuż średnicy zwierciadła i wsuwaniu w wolną przestrzeń kawałków cienkiego papieru (rys. 4). Grubość pojedynczej kartki papieru można łatwo oszacować, dzieląc grubość całego ich pliku przez liczbę kartek w tym pliku.

Jeśli włębienie osiągnie już wartość zbliżoną do wymaganej (około 0,5 mm), to pomiar należy przeprowadzać metodą dokładniejszą, używając w tym celu np. światła żarówki świecącej lub latarki (rys. 5a). Wymyte i lekko zwilżone wodą zwierciadło należy ustawić pionowo. Wygodnie jest zawiesić je na ścianie, korzystając w tym celu z paska wykonanego z tkaniny lub z grubszego papieru (rys. 5b). Istotą pomiaru jest fakt, iż światło wychodzące ze środka krzywizny zwierciadła sferycznego, po odbiciu od jego powierzchni, powraca do tego samego punktu. Znalezienie położenia środka krzywizny umożliwi wyznaczenie ogniskowej zwierciadła, bo jest ona równa połowie promienia krzywizny, czyli połowie odległości od zwierciadła do środka krzywizny. W praktyce żarówkę trzymamy w ręce w pobliżu oka, pamiętając przy tym, by znajdowała się ona w takiej samej odległości od zwierciadła jak oko. Zbliżając się teraz do zwierciadła, wzdłuż jego osi optycznej, możemy znaleźć położenie środka krzywizny.

Oko i żarówkę ustawiamy tak, by z danej odległości od zwierciadła (np. 3 m), widzieć na jego mokrej powierzchni odbicie żarówki. Wykonując teraz nieznaczny ruch żarówką pionowo do góry, obserwujemy jej odbicie. Jeśli przesuwa się ono także do góry, to oznacza, iż środek krzywizny znajduje się dalej od zwierciadła, a jeśli w dół – to bliżej. Metodą kolejnych prób znajdziemy w końcu taką odległość, przy której zwierciadło będzie świeciło całą swoją powierzchnią (tak, jak Księżyc w pełni), a kierunek ruchu odbicia żarówki będzie nie do rozpoznania. Pomiar odległości do zwierciadła da wówczas wartość aktualnego promienia krzywizny.

Etap szlif surowego można uznać za zakończony, gdy promień krzywizny zwierciadła osiągnie 250 ± 2 cm. Jeśli z pomiaru wyniknie, że jest on większy, to szlifowanie karborundem numer 40 prowadzimy dalej, a jeśli okaże się mniejszy, to sytuacja jest nieco gorsza. Nie powinniśmy do niej dopuścić. Szansy wydłużenia ogniskowej można

szukać w zamianie rolami matrycy i zwierciadła, tzn. do tarczy należy przymocować zwierciadło, a szlifować matrycą (również długimi ruchami).

Po uzyskaniu wymaganego wgłębienia zabieramy się do wygładzania powierzchni zwierciadła i doprowadzania jej do kształtu sferycznego. W tym celu używamy kolejno coraz drobniejszych karborundów o numerach od 100, poprzez np. 250, 500, aż do 800 lub 1000. Średnica ziaren zmniejsza się wtedy od 0,13 mm do 0,008 mm. Sposób szlifowania jest podobny do opisanego poprzednio, jednakże karborund o danej gradacji stosujemy tak długo, aż znikną wszystkie nierówności i wyrwy w szkłe, powstałe w wyniku szlifowania karborundem o poprzednim numerze. Zazwyczaj wystarcza szlifowanie, w każdym z przypadków, przez około 1,5 godziny.

Badanie uzyskanych efektów jest stosunkowo proste. Za pionowo ustawionym zwierciadłem umieszczamy żarówkę. Jej światło, rozproszone na matowej powierzchni sprawi, iż z łatwością odróżnimy, w której strefie zwierciadła znajdują się jeszcze pozostałości po poprzednim karborundzie. Wszystkie nie wygładzone skazy i nie doszlifowane dziurki będą błyszczały jak gwiazdy. Prawidłową ocenę jakości uzyskanej powierzchni w znacznym stopniu ułatwi użycie lupki o kilkakrotnym powiększeniu.

Kolejny test związany jest z oceną kształtu otrzymanej powierzchni. Przeprowadzamy go w ten sposób, że krótkimi ruchami pocieramy suchym zwierciadłem po suchej matrycy. W miejscach, w których powierzchnie stykały się, powstanie dobrze widoczna, starta warstwa szkła. Z całą pewnością będzie się ona znajdowała w zewnętrznej strefie zwierciadła, ponieważ długie ruchy szlifierskie powodowały wybieranie szkła w części centralnej, natomiast przy brzegach likwidowały nierówności. Taki stan lustra należy uznać za zadowalający, bowiem najtrudniej jest usunąć skazy przy brzegu. Kilka dziurek, czy nawet rys znajdujących się w centralnej części, nie ma większego znaczenia, bo o jakości zwierciadła decyduje przede wszystkim strefa brzegowa i ona powinna być najlepiej wygładzona.

Przejdźcie do karborundu o kolejnej gradacji następuje wtedy, gdy powierzchnia całego zwierciadła jest już równomiernie mato-

wa i styka się z matrycą prawie całą powierzchnią. Warunkiem koniecznym jest, by stykała się w strefie od brzegu do połowy promienia. Jeśli taka sytuacja nie zachodzi, to szlifowanie należy kontynuować, stosując krótkie ruchy. Dodatkową informacją, umożliwiającą ocenę sferyczności lustra, jest barwa zmielonego karborundu. Powinna być ona identyczna na całej powierzchni, a w części centralnej powinna ustać tendencja do tworzenia się baniek z powietrzem.

Poważnym niebezpieczeństwem, szczególnie podczas szlifowania drobnymi karborundami, jest tzw. sklejanie się płyt. Następuje to wtedy, gdy przerwana zostanie cieniutka warstwa wody, znajdująca się między płytami. Wytwarza się tam wówczas silne podciśnienie i nie ma już możliwości rozsunięcia płyt. Aby uniknąć niespodzianki należy zwracać szczególną uwagę na te momenty, w których zwierciadło stawia znaczny opór podczas przesuwania. Nie wolno wtedy nawet na chwilę pozostawić go na matrycy w bezruchu. Nie należy także wywierać zbyt dużego nacisku na górną płytę, bo powoduje to wyciskanie wody z przestrzeni między płytami i potęguje niebezpieczeństwo. Dodanie wody wraz z nową porcją materiału ściernego powinno sytuację poprawić.

A co zrobić jeśli płyty „skleją się”? Cóż, jedyną możliwością jest wtedy szybkie zanurzenie ich w zimnej wodzie, aby zaczęły się kurczyć. Jeśli różnica temperatur będzie na tyle duża, że woda dostanie się między dociśnięte do siebie płyty, to po pewnym czasie być może uda się je rozsunąć. Miejmy nadzieję, że do takiej sytuacji jednak nie dojdzie.

Etap wygładzania powierzchni powinien dać w efekcie gotowe do polerowania zwierciadło. Powinno ono być półprzezroczyste, o delikatnie matowej fakturze i wyglądać tak, jak gdyby było powleczone cieniutką warstwą mleka. Jego kształt powinien być idealnie sferyczny, co jest związane z przyleganiem do matrycy na całej powierzchni. Jeśli któryś z warunków nie będzie spełniony, to rozpoczęcie kolejnego etapu mija się z celem.

O etapie polerowania zwierciadła piszemy w innym miejscu – patrz „Astronomia dla wszystkich”.

Jan Pałt,
Marek T. Szczepański