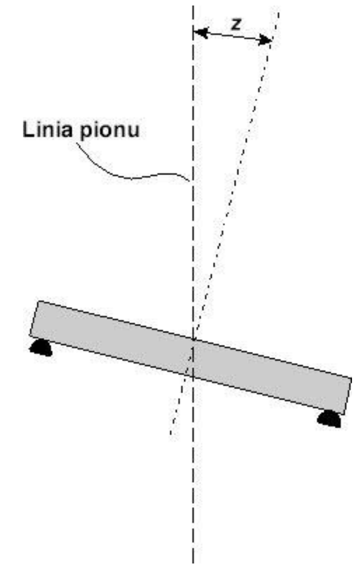
OPRAWA LUSTRA GŁÓWNEGO. CZ. I

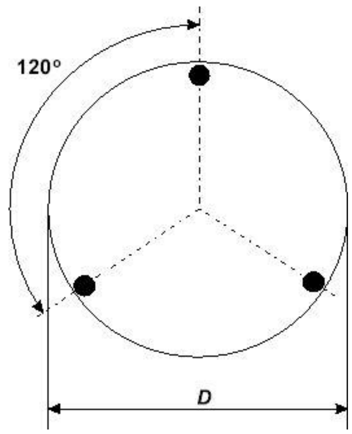
Ważnymi elementami konstrukcji teleskopu są oprawy części optycznych. W przypadku teleskopu zwierciadlanego problemów technicznych dostarcza zamocowanie lustra głównego. Ma ono dosyć duże rozmiary i znaczny ciężar. Zwierciadło w oprawie musi zachowywać stały kierunek swej osi optycznej względem pozostałych elementów optycznych teleskopu, nie może zmieniać w istotny sposób swego kształtu, a jednocześnie musi jak gdyby „pływać” na podporach. Szkło jest stosunkowo sztywnym materiałem, ale narzucone przez falową naturę światła warunki zachowania kształtu powierzchni zwierciadła, są bardzo ostre.



Rys. 1

Doświadczony szlifierz, miłośnik astronomii, potrafi nadać powierzchni odbijającej zwierciadła bardzo precyzyjny kształt. Na przykład, jeśli odchyłka frontu fali świetlnej odbitej od zwierciadła nie przekracza $\lambda/10$, to sama powierzchnia odbijająca jest obarczona błędem dwa razy mniejszym: $\lambda/20$, co odpowiada 0.000028 mm dla $\lambda = 0.00056$ (światło zielone).

Oprawa zwierciadła musi zapewnić zachowanie tej dokładności. Uginanie się lustra pod własnym ciężarem powinno być znikomo małe. Traktując zwierciadło jako ciało doskonale sztywne, wystarczy podeprzeć je w trzech punktach symetrycznie rozłożonych pod nim. Ciałem takim zwierciadło jednak nie jest. Jako płyta szklana posiada ono pewną elastyczność, tym większą, im mniejsza jest jego grubość w stosunku do średnicy. Jeśli lustro ma niewielką średnicę i jest odpowiednio grube, to podparcie na trzech punktach jest zupełnie wystarczające. Jednak w miarę zwiększania rozmiarów zwierciadła, a tym samym jego ciężaru, konieczne staje się zwiększenie liczby podpór.



Rys. 2

Liczbę koniecznych podpór i ich rozmieszczenie dla zwierciadła w zależności od jego rozmiarów, grubości i rodzaju szkła, ustala tzw. „Reguła Coudera”, określająca stopień ugięcia cylindrycznej płyty szklanej w danych warunkach. D. Maksutow podaje następującą wersję tej reguły:

$$d = K \times \frac{d}{E} \times \left(\frac{D^4}{h^2}\right) \times \cos z \qquad (1)$$

gdzie: D — średnica zwierciadła, h — grubość zwierciadła, d — gęstość szkła, E — moduł Younga dla danego szkła, z — to kąt między kierunkiem pionu, a osią symetrii zwierciadła (rys. 1). Współczynnik K zależy od sposobu podparcia zwierciadła i zastosowanego systemu jednostek.

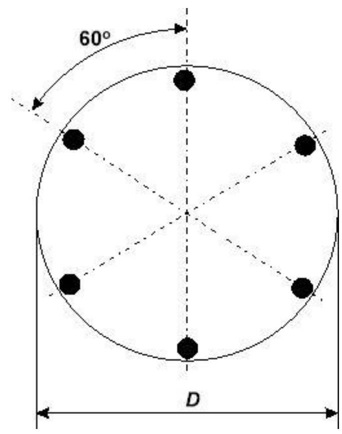
Człon d/E charakteryzuje mechaniczne właściwości zwierciadła, a (D^4/h^2) określa jego geometryczną sztywność przy danych rozmiarach, sposobie podparcia i nachylenia do pionu. Można powiedzieć, że określona zostaje w ten sposób wspomniana elastyczność zwierciadła.

Przy konkretnych obliczeniach wygodnie posłużyć się zmodyfikowaną postacią wzoru (1):

$$s = C_n \times \left(\frac{h^2}{D^4}\right) \times \frac{E}{d} \qquad (2)$$

gdzie symbol s też określa sztywność zwierciadła z tym, że $s = 1$ jest tu wartością graniczną. Dla $s < 1$ zwierciadło jest zbyt cienkie dla danego sposobu podparcia, a dla $s > 1$ zwierciadło posiada odpowiedni zapas sztywności. C_n spełnia tę samą rolę co K w równaniu (1) z tym, że wartości C_n zostały ustalone doświadczalnie na podstawie badań przeprowadzonych przez A. Coudera. Rozpatrując najmniej korzystne ustawienie zwierciadła przy $z = 0$ i kładąc $s = 1$, znajdujemy $h_{\min}$ ze wzoru (2), czyli minimalną grubość lustra przy danym sposobie podparcia:

$$h_{\min} = D^2 \sqrt{\frac{d}{C_n E}}$$



Rys. 3

Ze względu na rozmiary zwierciadeł stosowanych w teleskopach amatorskich, wystarczy rozpatrzyć podparcie na 3, 6, 9 i 18 punktach. Odpowiednie współczynniki C_n są następujące:

$$C_3 = 580 \qquad C_6 = 5200 \qquad C_9 = 7500 \qquad C_{18} = 50000$$

Są one tak dobrane, by nie nastąpiło zauważalne pogorszenie jakości obrazów gwiazd, wywołane uginaniem się szkła. Dla Pyrexu $d = 2.25, E = 6200$. D i h są w milimetrach.

Wstawiając te wartości do wzoru (3), możemy ułożyć tabelki z D i h minimalnym:

Dla 3 punktów: $h_{\min} = \dfrac{D^2}{1250}$

D	50	60	80	100	150	200	250
$h_{\min}$	50	60	80	100	150	200	250

Dla 6 punktów: $h_{\min} = \dfrac{D^2}{3780}$

D	150	200	250	300	350	400	450
$h_{\min}$	6	10.6	16.5	23.8	32.5	42.3	53.6

Dla 9 punktów: $h_{\min} = \dfrac{D^2}{4546}$

D	250	300	350	400	450	500	550
$h_{\min}$	14	19.8	27	32.5	44.6	55	66.6

Dla 18 punktów: $h_{\min} = \dfrac{D^2}{11738}$

D	400	450	500	550	600	650	700
$h_{\min}$	13.6	17.3	21.3	25.8	30.7	36	41.7

W przypadku szkła typu Kron, które jest cięższe od Pyrexu, jego gęstość i moduł Younga wynoszą odpowiednio: $d = 2.53, E = 7000$. Formuły na $h_{\min}$ będą następujące:

$$h_{\min} = \frac{D^2}{1267.3} \qquad \text{(3 punkty)},$$
$$h_{\min} = \frac{D^2}{3794.5} \qquad \text{(6 punktów)},$$
$$h_{\min} = \frac{D^2}{4557} \qquad \text{(9 punktów)},$$
$$h_{\min} = \frac{D^2}{11766.2} \qquad \text{(18 punktów)},$$

Punkty podparcia, na których zwierciadło spoczywa, muszą być rozmieszczone w określony sposób. Przy podparciu w 3 i 6 punktach, miejsca podparcia mogą być rozmieszczone blisko krawędzi płyty zwierciadła, co 120 lub 60 stopni względem jego środka (rys. 2 i 3). Jeśli punktów podparcia jest 9 lub 18, sposób rozmieszczenia jest bardziej skomplikowany. Stosowną metodę podał J.H. Hindle. Polega ona przede wszystkim na ustaleniu tzw. okręgów równowagi — (ang. *radii of equilibrium*), na których są umieszczone punkty podparcia.

Lucjan Newelski
Tomasz Krzyt