

# Historia teleskopu

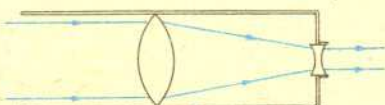
Mgr Jadwiga BIAŁA

Wynalazek teleskopu nazwać możemy wynalazkiem spóźnionym, bowiem już w starożytności znane były metody produkcji szkła, podstawowe prawa optyki oraz własności prostych układów optycznych, a więc wszystkie niezbędne wiadomości, umożliwiające skonstruowanie teleskopu. Przeglądając dzieła Arystotelesa, Euklidesa i Ptolemeusza poświęcone optyce i naturze światła przekonujemy się, że znali oni własności zwierciadeł, prostoliniowe rozchodzenie się światła oraz zjawisko załamania światła na granicy dwóch ośrodków.

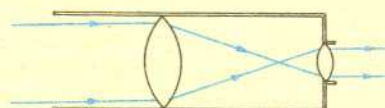
W średniowieczu badania układów optycznych, złożonych z soczewek lub zwierciadeł, kontynuowali uczeni franciszkańscy: Robert Grossetest i jego uczeń Roger Bacon. Jednak nie zajmowali się oni praktycznymi zastosowaniami tych układów. W XII wieku nastąpiło odrodzenie i udoskonalenie wyrobu szkła, co w pośredni sposób przyczyniło się do wynalezienia okularów. Wynalazku tego dokonali włoscy dominikanie z Pizy: Aleksander della Spina i Salvina degl'Armati w ostatnim dziesięcioleciu XIII wieku. Wydawać się może, że od okularów do teleskopu jest już tylko jeden krok, tymczasem upłynąć musiały aż trzy wieki, nim go skonstruowano.

Trudno ustalić, kto pierwszy zbudował teleskop. Wymienia się Włocha Gianbaptistę della Portę, który w 1580 roku w dziele „Magia Naturalis” opisał sposób oglądania odległych przedmiotów za pomocą układu dwóch soczewek: zbierającej i rozpraszającej. Następnie optyków holenderskich: Zachariasza Janssena, Hansa Lippersheya oraz Jakuba Metiusa, konstruujących około roku 1608 lunety służące do oglądania odległych przedmiotów i krajobrazów — najczęściej wybrzeży w czasie żeglugi czy ruchów wojsk nieprzyjacielskich w czasie wojny.

Powszechnie za twórcę teleskopu uchodzi jednak Galileusz, niezależnie od tego, że pierwszy teleskop skonstruował dopiero w roku 1609, wcześniej słyszał o teleskopach Holendrów, a być może znał również dzieło della Porty. Jego niewątpliwą zasługą było więc nie samo skonstruowanie teleskopu, lecz wykorzystanie go do obserwacji astronomicznych. Pierwszy teleskop Galileusza (rys. 1) składał się z dwuwypukłego obiektywu oraz dwuwklęsłego okularu i dawał trzykrotne powiększenie. Potem powstały kolejne teleskopy o większych powiększeniach. Jeden znajduje się w muzeum we Florencji — średnica obiektywu wynosi 53,5 mm, długość 1245 mm, a powiększenie 30 razy. Dzięki lunecie Galileusz zobaczył góry na Księżycu, odkrył cztery najjaśniejsze księżyce Jowisza i fazy Wenus, ujrzał ogromne ilości gwiazd składających się na Drogę Mleczną oraz plamy na Słońcu. Odkrycia Galileusza, opisywane przez niego w „Gwiezdnym zwiastunie”, wywarły ogromne wrażenie. Stał się on jednym z najbardziej znanych uczonych i otrzymał tytuł pierwszego matematyka księcia Toskanii wraz z dożywotnią pensją. Trzeba było geniuszu Galileusza oraz nowego spojrzenia na rolę doświadczenia i obserwacji w nauce, aby wykorzystać teleskop w astronomii. I trzeba było wybitnej intuicji, aby skierować teleskop w niebo, na którym nie spodziewano się znaleźć niczego, co nie byłoby widoczne nieuzbrojonym okiem.



Rys. 1. Teleskop Galileusza.



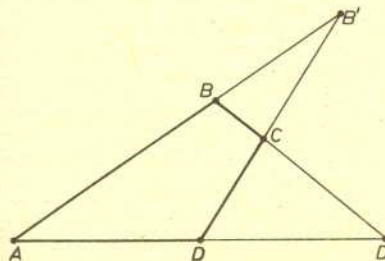
Rys. 2. Teleskop Keplera.

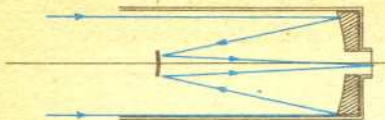
Inny typ lunety opisał w 1611 roku Johann Kepler. Składa się ona z dwóch dwuwypukłych soczewek (rys. 2). Ten typ teleskopu około roku 1640 prawie całkowicie wyparł z użycia teleskop Galileusza.

## Bardzo trudne zadanie

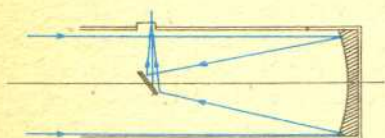
Dany jest czworokąt  $ABCD$ , w którym  $AB + BC = AD + DC$ . Proste, na których leżą jego przeciwległe boki, przecinają się odpowiednio w punktach  $B'$  i  $D'$ . Wykazać, że  $AB' + B'C = AD' + D'C$ .

Jak widać, treść zadania jest bardzo prosta. Rozwiązanie jednak może nastreczyć wiele trudności. Proszę spróbować. Gdyby trudności okazały się zbyt wielkie, na stronie 3 można znaleźć wskazówkę. W przeciwnym razie — nowe zadanie na stronie 14.





Rys. 3. Teleskop Cassegraina.



Rys. 4. Teleskop Newtona.



Rozwiązanie zadania M 380. Zauważmy, że

- (1)  $S(a+b) \leq S(a) + S(b)$  (dodawanie „pisemne”),
- (2)  $S(a_1 + \dots + a_n) \leq S(a_1) + \dots + S(a_n)$  (indukcyjne z (1) i
- (3)  $S(k \cdot a) \leq k \cdot S(a)$  ((2), zastosowane dla  $a_1 = \dots = a_n$ ),
- (4)  $S(a \cdot b) \leq S(a) \cdot S(b)$  (mnożenie „pisemne”, (3) i (2)).

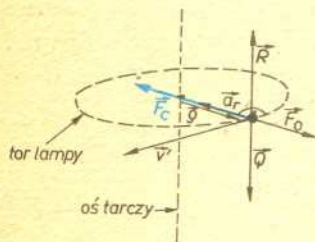
Mamy teraz:

$$S(n) = S(1000 \cdot n) = S(125 \cdot 8n) \leq S(125) \cdot S(8n) = 8 \cdot S(8n),$$

$$\text{czyli } S(8n) \geq \frac{1}{8} S(n).$$



Rozwiązanie zadania F 161. Przedstawiony paradoks pokazuje, że siła odśrodkowa nie może być jedyną siłą bezwładności.



Pozorne siły bezwładności wprowadza się tak, aby II zasada dynamiki Newtona mogła obowiązywać także w układach nieinercjalnych. Lampa, gdy obserwujemy ją z wirującej tarczy, porusza się po okręgu o promieniu  $\rho$  z prędkością kątową  $\omega$ , czyli ma przyspieszenie  $a_r = -\omega^2 \rho$ .

Aby utrzymać w mocy wzór Newtona  $F = ma$ , trzeba oprócz siły odśrodkowej  $F_0 = m\omega^2 \rho$  wprowadzić dodatkową siłę bezwładności  $F_c$  taką, że

$$F_0 + F_c = -m\omega^2 \rho,$$

stąd

$$F_c = -2m\omega^2 \rho.$$

Jeśli przez  $v'$  oznaczymy prędkość lampy względem wirującego układu odniesienia, to

$$v' = \omega \rho$$

i wartość wprowadzonej siły bezwładności

$$F_c = 2mv'v'.$$

Stosunkowo szybko teleskop dotarł do Polski. W 1613 roku jezuita belgijski Karol Malapert przywiózł teleskop do kolegium w Kaliszu i przez wiele lat obserwował przez niego plamy na Słońcu. Instrumenty konstruował w Kaliszu Polak Aleksy Sylwius. Między innymi zastosował on swobodne zawieszenie z przeciwwagą, co umożliwiło konstruowanie lunet o długich tubusach. W takich długich instrumentach mniejsza była aberracja sferyczna i chromatyczna, które są odwrotnie proporcjonalne do długości ogniskowej podzielonej przez średnicę obiektywu. Przykładem takiej ogromnej lunety był 45-metrowy instrument Jana Heweliusza, który umożliwił wykonanie bardzo dokładnych obserwacji Księżyca zebranych w dziele „Selenografia” (1647).

Teleskopy soczewkowe, zwane refraktorami, miały wady optyczne — aberrację sferyczną i chromatyczną oraz wady technologiczne — złą jakość i niejednorodności szkła oraz niedokładności w szlifowaniu powierzchni soczewek. Znacznie łatwiejsze było wykonywanie zwierciadeł i z czasem teleskopy zwierciadlane — reflektory zaczęły odgrywać decydującą rolę w astronomii. Pierwszy reflektor wykonał w roku 1619 jezuita Zucchi — niestety, nie zachowały się dokładniejsze informacje o tym teleskopie.

W 1663 roku szkocki astronom James Gregory przedstawił projekt teleskopu, w którym główne zwierciadło paraboloidalne kierowało promienie świetlne do zwierciadła elipsoidalnego, a to z kolei do okularu umieszczonego za centralnym otworem w zwierciadle głównym. Pierwszy teleskop według tego projektu wykonał fizyk angielski Robert Hooke. Podobny typ teleskopu przedstawił w 1672 roku we Francji Guillaume Cassegrain. Różnica polegała na tym, że wtórne zwierciadło miało kształt hiperboloidalny (rys. 3). Ten typ teleskopu używany jest do tej pory.

Obecnie używany jest również, szczególnie w instrumentach amatorskich, typ reflektora zaprojektowanego przez Izaaka Newtona w roku 1668. W tym teleskopie na drodze promieni odbitych od głównego zwierciadła wklęsłego ustawione jest pod kątem 45 stopni płaskie zwierciadło odbijające promienie prostopadle do osi teleskopu w kierunku okularu, znajdującego się z boku tubusa (rys. 4). Newton dokonał za pomocą pryzmatu rozszczepienia światła białego na barwną wstęgę widma i wykazał, że promienie światła o różnej długości załamane są pod różnymi kątami. W ten sposób wyjaśnił zjawisko aberracji chromatycznej soczewek. Błędnie jednak sądził, że aberracji tej nie da się usunąć, a jego autorytet spowodował utrzymanie się tego błędnego poglądu przez kilkadziesiąt lat.

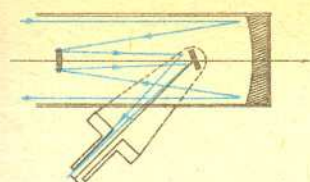
Jednym z pierwszych zadań, jakie starano się rozwiązać za pomocą teleskopów, było wyznaczenie dokładnych pozycji gwiazd i planet. W tym celu wprowadzono mikrometry z ruchomą nicią (astronom włoski Gascoigne w 1640 roku oraz astronomowie francuscy, inicjatorzy zbudowania w 1671 roku w Paryżu pierwszego obserwatorium państwowego w Europie: Jean Picard i Adrian Auzout). Następnie zaś skonstruowano specjalistyczne instrumenty służące do wyznaczania dokładnych pozycji gwiazd — instrument przejściowy (1689) oraz koło południkowe (1690). Konstruktorom tych instrumentów był astronom duński Olaf Römer, znany z pierwszego pomiaru prędkości światła na podstawie obserwacji zaćmień w układzie księżyców Jowisza.

Poważny postęp w optyce teleskopowej nastąpił po wynalezieniu obiektywu wolnego od aberracji chromatycznej, złożonego z soczewek wykonanych z różnych gatunków szkła: flintu i krunu. Pierwszy obiektyw achromatyczny zbudował adwokat angielski Chester Moor Hall w roku 1729. Niestety, nie ogłosił on swego wynalazku i za konstruktora obiektywu achromatycznego uważa się powszechnie angielskiego optyka Johna Dollonda, który wykonał swój obiektyw w roku 1757.

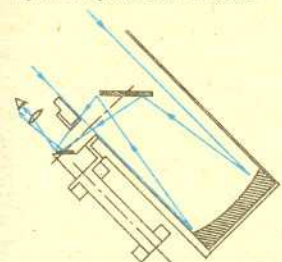
Kolejne instrumenty astrometryczne — heliometr i koło wertykalne wprowadzono w XIX wieku. W 1826 roku Joseph von Fraunhofer, twórca spektroskopii i odkrywca linii w widmie Słońca, zbudował heliometr — lunetę o przepołowionym obiektywie soczewkowym. Instrument ten służył do precyzyjnego mierzenia odległości między gwiazdami. Za jego pomocą Friedrich Bessel wyznaczył w 1838 roku paralaksę gwiazdy 61 Cygni. Koło wertykalne skonstruował w 1839 roku Wasyl Struwe. W odróżnieniu od koła południkowego koło wertykalne ma pionową oś obrotu oraz pionowe koło z podziałką i służy jedynie do wyznaczania deklinacji gwiazd.

Do połowy XIX wieku zwierciadła do teleskopów wykonywane były ze stopów metali, najczęściej z brązu. Zaletą tych stopów było to, że można je było łatwo polerować. Niestety, zwierciadła metalowe miały poważne wady: ogromną wagę i wysoką cenę. Największy teleskop z metalowym zwierciadłem wykonał astronom irlandzki William Parsons (Lord Rosse) w roku 1845. Zwierciadło miało średnicę 182 cm, a ogniskową 17 m. Teleskop ten był największy na świecie aż do roku 1917, kiedy ustawiono teleskop ze zwierciadłem szklanym o średnicy 254 cm w Obserwatorium Mount Wilson w Stanach Zjednoczonych.

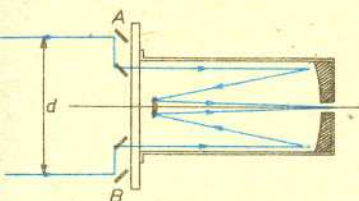
W 1856 roku fizyk francuski Jean Foucault (znany z eksperymentu z wahadłem, który potwierdził ruch wirowy Ziemi) zastosował metodę osadzenia cienkiej warstwy srebra na szkło, wynalezioną przez Justusa Liebiga, do wykonywania zwierciadeł szklanych powlekanych srebrem.



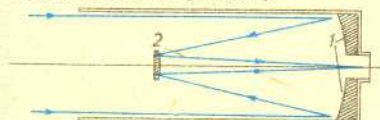
Rys. 5. Przykład układu coudé



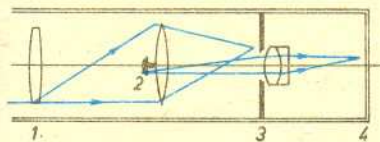
Rys. 6. Przykład układu coudé.



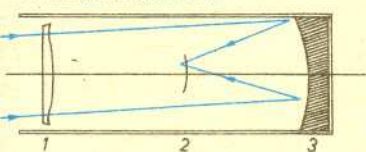
Rys. 7. Interferometr gwiazdowy.



Rys. 8. Teleskop Ritchey-Chrétiena  
1. hiperboloidalne zwierciadło główne,  
2. hiperboloidalne zwierciadło wtórne.



Rys. 9. Koronograf  
1. obiektyw,  
2. sztuczny księżyc,  
3. przesłona,  
4. płaszczyzna ogniskowa.



Rys. 10. Teleskop Schmidta  
1. płyta korekcyjna,  
2. „płaszczyzna” ogniskowa,  
3. sferoida.

Zwierciadła posrebrzane znacznie lepiej odbijały światło niż zwierciadła metalowe. Miały jednak tę wadę, że warstwa srebra była nietrwała i posrebrzanie należało powtarzać nawet dwa razy w roku.

Istotnym postępem w konstrukcji teleskopów było zbudowanie teleskopu o stałym położeniu ogniska. Od francuskiego słowa *coudé*, co znaczy zgięcie, nazwano ten typ konstrukcji układem *coudé*. Jako twórców układu wymienia się Francuza Ranyarda oraz Niemców: Forstera i Fritscha, którzy swoją konstrukcję przedstawili w 1876 roku. Układ *coudé* przypomina układ Cassegraina, z tym że światło odbite od zwierciadła wtórnego jest odprowadzone przez układ zwierciadeł płaskich do ogniska znajdującego się na osi bieżącej teleskopu. W ten sposób, niezależnie od ustawienia teleskopu, ognisko jest w stałym miejscu i jest nieruchome (rys. 5 i 6). Układ *coudé* stosowany jest w spektroskopii i fotometrii, gdzie ciężkie spektrografy, fotometry i inne urządzenia można zamontować na stałe nie obciążając tubusa teleskopu.

Znany amerykański fizyk, laureat nagrody Nobla, Albert Abraham Michelson, razem ze swym rodakiem Francisem Pease, wykonał w roku 1919 interferometr gwiazdowy (rys. 7), który zainstalowano na 2,5-metrowym teleskopie na Mount Wilson w Kalifornii. Interferometr ten zbudowano w celu wyznaczenia średnic największych i stosunkowo bliskich gwiazd.

W przyrządzie interferują promienie, odbite od dwóch zwierciadeł A i B, znajdujących się w odległości  $d$ . Odległość  $d$  zmienia się, aż do zaobserwowania maksimum interferencji w płaszczyźnie ogniskowej. Mierząc odległość  $d$  oraz odległość prążków interferencyjnych można wyliczyć średnicę gwiazdy. Pierwszymi gwiazdami, którym zmierzono średnicę, były: Betelgeuse z Oriona — średnica 0,045 sekundy łuku i Antares ze Skorpiona — 0,04 sekundy łuku.

W latach 1922—1924 amerykański astronom i konstruktor teleskopów Georg Ritchey oraz francuski matematyk i astronom Andre Chrétien opracowali nowe rozwiązanie teleskopu o dużym powiększeniu i dużym polu użytecznym, nie obciążonym aberracjami. Układ Ritchey-Chrétiena jest modyfikacją układu Cassegraina (rys. 8). Zwierciadła główne i wtórne są hiperboloidalne.

Koronograf, czyli teleskop do obserwacji protuberancji i korony słonecznej poza całkowitymi zaćmieniami Słońca, skonstruował w 1930 roku astronom francuski Bernard Lyot.

Koronograf jest teleskopem soczewkowym (rys. 9), wewnątrz którego umieszczona jest przesłona (sztuczny Księżyc) przyciśnięta do soczewki polowej oraz przesłona irysowa i obiektyw obrazowy. Sztuczny Księżyc przesłania tarczę Słońca, a przesłona irysowa i soczewka polowa usuwają rozproszenie światła słonecznego wewnątrz teleskopu.

W roku 1932 doszło do kolejnego ulepszenia technologii wykonywania zwierciadeł. Zamiast nietrwałego posrebrzania Strong wprowadził powlekanie powierzchni szklanej cienką warstwą aluminium przez rozpylanie aluminium w próżni. Powłoka aluminiowa nie ulega zniszczeniu przez około 5 lat.

Dużym osiągnięciem optyki teleskopowej było skonstruowanie w 1930 roku przez Bernharda Schmidta, optyka w obserwatorium w Hamburgu, teleskopu zwierciadlanego z płytą korekcyjną, charakteryzującego się dużą światłością oraz dużym polem widzenia (rys. 10). Teleskop ten wolny jest od wszystkich aberracji z wyjątkiem krzywizny pola. W teleskopie Schmidta zwierciadło jest sferyczne i w celu skompensowania aberracji wprowadza się płytę korekcyjną o bardzo skomplikowanym kształcie oraz średnicy mniejszej od średnicy zwierciadła. Ponieważ powierzchnia ogniskowa nie jest płaska, do fotografowania używa się klisz odpowiednio wygiętych.

Światłota jest stosunkiem średnicy obiektywu do efektywnej długości ogniskowej.

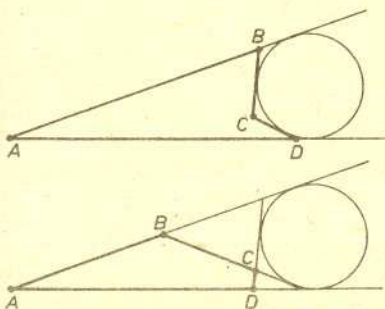


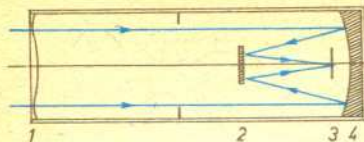
## Zupełnie inny, ale równoważny problem

Mówimy, że okrąg jest dopisany do czworokąta, gdy jest styczny do wszystkich prostych zawierających boki czworokąta i nie jest wpisany w czworokąt. Na rysunku są dwa przykłady. Można udowodnić, że okrąg dopisany do czworokąta  $ABCD$  wewnątrz kąta  $BAD$  istnieje wtedy i tylko wtedy, gdy  $AB + BC = AD + DC$ .

Gdyby się to udało udowodnić i nam, mielibyśmy rozwiązanie zadania ze strony 1, bo z założenia istniałby okrąg dopisany do czworokąta  $ABCD$ , który byłby również dopisany do czworokąta  $AB'CD'$ , a więc mielibyśmy  $AB' + B'C = AD' + D'C$ .

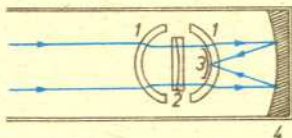
Gdyby się komuś to nie udało, może znaleźć na stronach 5, 7, 11 pewne informacje przydatne do przeprowadzonego na stronie 12 dowodu.





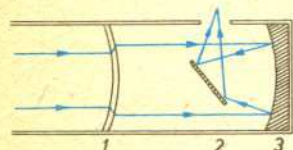
Rys. 11. Teleskop Bakera-Schmidta  
1. płyta korekcyjna,  
2. zwierciadło pomocnicze,  
3. płaszczyzna ogniskowa,  
4. zwierciadło główne.

Modyfikacje systemu Schmidta zmierzają do uzyskania płaskiej płaszczyzny ogniskowej, aby nie trzeba było deformować klisz fotograficznych. W teleskopie Jamesa Gilberta Bakera, skonstruowanym w 1940 roku, wyprostowanie płaszczyzny ogniskowej uzyskuje się przez wprowadzenie między płytę korekcyjną i zwierciadło główne dodatkowego zwierciadła wypukłego (rys. 11). Baker skonstruował też układ zwany Super-Schmidtem, służący do obserwacji meteorów i sztucznych satelitów, o polu widzenia ponad 50 stopni (rys. 12). Zwierciadło główne jest w tym układzie sferyczne, a układ kompensujący składa się z dwóch menisków i płyty korekcyjnej między nimi.

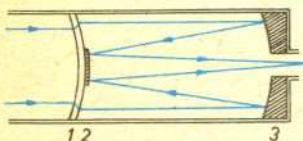


Rys. 12. Teleskop Super-Schmidt  
1. warstwy sferyczne — meniski,  
2. płyta korekcyjna,  
3. „płaszczyzna” ogniskowa,  
4. zwierciadło sferyczne.

Wprowadzenie układów meniskowych wiązało się z trudnościami w wykonywaniu płyt korekcyjnych o skomplikowanej powierzchni w układach Schmidta. Układy meniskowe były zaprojektowane i zbudowane w 1941 roku niezależnie przez astronoma radzieckiego Maksutowa, Holendra Bouwersa, Niemca Penninga i Anglika Gabora. Teleskopy meniskowe mają dwa razy mniejszą długość niż teleskopy Schmidta, o porównywalnych parametrach, a dodatkowo łatwiej jest wykonać menisk (płytę szklaną o obu powierzchniach sferycznych) niż płytę korekcyjną. Teleskopy meniskowe mogą być realizowane w różnych układach, np. Newtona, Cassegraina (rys. 13 i 14).



Rys. 13. Meniskowy teleskop Newtona  
1. zwierciadło główne,  
2. zwierciadło pomocnicze,  
3. płyta korekcyjna.



Rys. 14. Meniskowy teleskop Cassegraina  
1. zwierciadło główne,  
2. zwierciadło pomocnicze,  
3. płyta korekcyjna.

Kończąc tę, z konieczności krótką, historię teleskopu, warto przedstawić zestawienie kilku największych pracujących na świecie teleskopów:

| Reflektory    |               |       | Refraktory    |               |         |
|---------------|---------------|-------|---------------|---------------|---------|
| Średnica w cm | Obserwatorium | Kraj  | Średnica w cm | Obserwatorium | Kraj    |
| 600           | Zelenczuk     | ZSRR  | 102           | Yerkes        | USA     |
| 508           | Mount Palomar | USA   | 91            | Lick          | USA     |
| 460           | Mount Hopkins | USA   | 83            | Meudon        | Francja |
| 400           | Cerro Tololo  | Chile | 80            | Poczdam       | NRD     |

W Polsce największy refraktor, o średnicy soczewkowego obiektywu 30 cm, znajduje się w Planetarium i Obserwatorium Astronomicznym w Chorzowie, największy zaś reflektor, o średnicy zwierciadła 90 cm, w Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Piwnicach pod Toruniem.



## Zadania

Redaguje dr Krzysztof S. NOWIŃSKI

M 380. Oznaczmy przez  $S(n)$  sumę cyfr dziesiętnego zapisu liczby  $n$ . Wykazać, że

$$S(8n) \geq \frac{1}{8} S(n).$$

Rozwiązanie na str. 2

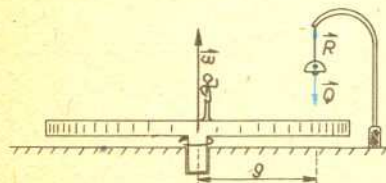
M 381. Punkty  $P$  i  $Q$  leżą na obwodzie wielokąta opisanego na okręgu o środku  $O$ . Prosta  $PQ$  dzieli zarówno pole, jak i obwód wielokąta na równe części. Wykazać, że punkt  $O$  leży na tej prostej.

Rozwiązanie na str. 15

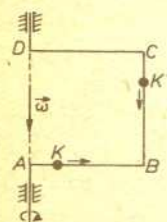
M 382. Wykazać, że każdą liczbę całkowitą nieujemną można przedstawić w postaci  $n = \frac{(x+y)^2 + 3x+y}{2}$  ( $x, y$  całkowite nieujemne) oraz że liczby  $x, y$  są określone jednoznacznie

przez liczbę  $n$ .

Rozwiązanie na str. 15



Rys. 1



Rys. 2

Redaguje mgr Tomasz TRATKIEWICZ

F 161. Nad wirującą ze stałą prędkością kątową tarczą wisi nieruchoma względem ziemi lampa (rys. 1). W układzie odniesienia związanym z ziemią siła ciężkości lampy równoważona jest przez siłę naciągu linki, na której wisi lampa. W nieinercyjnym układzie odniesienia związanym z tarczą na lampę działa dodatkowo „siła” odśrodkowa. Dlaczego lampa nie odchyła się od pionu?

Rozwiązanie na str. 2

F 162. Druciana ramka (rys. 2) wiruje ze stałą prędkością kątową  $\omega$ . Wzdłuż boków  $AB$  i  $BC$  ślizgają się, ze stałymi prędkościami  $v'$  względem ramki, koraliki. Wyznaczyć siły reakcji działające na każdy z koralików ze strony ramki. Jakie siły bezwładności działają na koraliki w wirującym wraz z ramką układzie odniesienia?

Rozwiązanie na str. 14