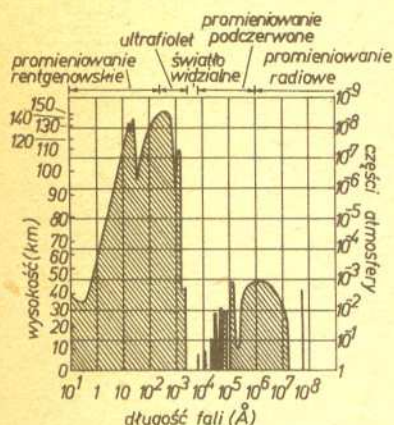


Teleskop kosmiczny

Mgr

Monika BAŁUCIŃSKA



Rys. 1. Atmosferyczna absorpcja promieniowania elektromagnetycznego. Kontur ograniczający od góry zakreślowaną powierzchnię wskazuje granicę, gdzie natężenie promieniowania przy danej długości fali spada o połowę. Długość fali podana jest w angstromach ($1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$).

Profesor C. R. O'Dell był również zaangażowany w amerykańską pomoc polskim astronomom przy budowie i wyposażeniu Centrum Astronomicznego im. M. Kopernika — PAN w Warszawie z okazji jubileuszu kopernikowskiego.

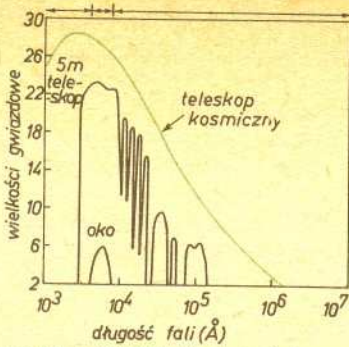
Atmosfera, niczym kokon otulająca naszą planetę, stwarza wyjątkowe warunki do rozwoju życia na Ziemi. Równocześnie jednak jest grubą zasłoną, znacznie ograniczającą możliwość poznania Wszechświata. Promieniowanie elektromagnetyczne docierające do nas ze wszystkich stron jest rozpraszane i pochłaniane w ziemskiej atmosferze. Fale krótkie (niebieskie) chętniej ulegają rozproszeniu na niewielkich rozmiarów cząsteczkach powietrza. (Grube „ziarna” kurzu, pyłu i innych zanieczyszczeń również powodują rozproszenie docierającego do Ziemi promieniowania, ale już bez specjalnej selekcji ze względu na długość fali.) Właśnie rozpraszanie w atmosferze sprawia, że mieszkańcy przemysłowych miast żyją pod szarym niebem, w obszarach wolnych od zapylenia niebo ma kolor błękitny, a w pogodne dni możemy oglądać czerwone zachody Słońca. Ten efekt uwidacznia się również przy obserwacjach astronomicznych. Ciała niebieskie wydają nam się bardziej czerwone niż są w rzeczywistości. Warstwy atmosfery przepuszczają tylko część promieniowania. Z powierzchni Ziemi mamy możliwość obserwacji tylko przez tzw. okno optyczne, a także częściowo podczerwone i radiowe. Promieniowanie ultrafioletowe, rentgenowskie oraz gamma pochłaniane jest już w górnych warstwach atmosfery przez azot i tlen. Niewielka ilość ozonu (trójatomowa cząsteczka tlenu) „wygryza” promieniowanie w tzw. paśmie Hartleya (od ok. 0,24 μm do ok. 0,3 μm). Obszar absorpcyjny pary wodnej (H_2O) i dwutlenku węgla (CO_2) wypada w podczerwieni. Fale o długościach przekraczających 1 metr, odbite od atmosfery, również nie docierają do powierzchni Ziemi. Dodatkową przeszkodą przy obserwacjach astronomicznych są ruchy mas powietrza, spowodowane różnym nagraniem warstw atmosfery. Odbija się to na ostrości obrazu, który drży i rozmywa się, co w znacznym stopniu ogranicza „zasięg” teleskopów. Wspomniane zjawiska spowodowały, że astronomowie włożyli wiele wysiłku, aby możliwe były obserwacje spoza ziemskiej atmosfery.

Początki należą do rakiet V-2 zdobytych w czasie II wojny światowej przez aliantów. Przewiezione potem do Stanów Zjednoczonych służyły do transportowania aparatury pomiarowej na duże wysokości. Początkowe wyniki dotyczące przede wszystkim Słońca (ze względu na łatwość lokalizacji obiektu) były tak rewelacyjne, że zachęciły do dalszych badań. Stwierdzono m.in. istnienie korony wokół Słońca o temperaturze ok. 1,5 miliona K, będącej źródłem promieniowania rentgenowskiego. Od tej pory przeprowadzono setki eksperymentów za pomocą rakiet, balonów, samolotów i satelitów, które wносиły w przestrzeń aparaturę naukową zdolną do odbioru sygnałów w różnych zakresach promieniowania elektromagnetycznego.

Astrofizyka teoretyczna burzliwie rozwijająca się w ostatnich latach stawia coraz większe wymagania w stosunku do obserwacji astronomicznych. Stało się jasne, że aby rozstrzygnąć wiele sporów, astronomowie muszą dysponować niezwykle precyzyjnym i czułym teleskopem.

Pomysł budowy kosmicznego obserwatorium zrodził się na początku lat sześćdziesiątych wśród amerykańskich astronomów, ale dopiero w 1971 roku rozpoczęto szczegółowe studia dotyczące budowy takiego teleskopu. Poważnym problemem było zdobycie zarówno funduszy, jak i znakomitych astronomów zdolnych poświęcić swój czas i częściowo karierę naukową na pracę organizacyjną, która, jak się okazało, miała trwać kilkanaście lat. Pierwszy problem rozwiązał Kongres amerykański zatwierdzając w 1977 roku plan finansowy budowy teleskopu (ok. 750 mln \$) oraz Europejska Agencja Kosmiczna (ESA) godząc się na 15% udział w kosztach w zamian za możliwość korzystania (w tym samym procencie) z wyników uzyskanych przez kosmiczne obserwatorium. Pewne trudności sprawiało dobranie odpowiedniego zespołu kierującego naukowymi planami obserwatorium. Ta dziwna sytuacja nie wynikała z faktu, że astronomów nagle przestało interesować to niezwykle przedsięwzięcie, ale spowodowana była zwykłym brakiem czasu. Początek lat siedemdziesiątych obfitował w liczne odkrycia i intensywne badania m.in. kwazarów, pulsarów i promieniowania tła, tak że niewielu astronomów zdecydowanych było na rezygnację ze swej dotychczasowej pracy. Na czele naukowego zespołu kierującego przygotowaniem stał profesor C. R. O'Dell z University of Chicago. Termin uruchomienia obserwatorium na orbicie wokół Ziemi jest ustalony na 1986 rok.

Całe obserwatorium mieścić się będzie w cylindrze, którego długość niewiele przekracza 13 metrów, a średnica wynosi prawie 4,5 metra. Zostanie ono umieszczone przez wahadłowiec na orbicie położonej 500 km nad powierzchnią Ziemi, a nachylonej do płaszczyzny równika pod kątem 28°,5. Przewiduje się, że obserwatorium będzie pracować co najmniej 15 lat. Przy tak długim okresie eksploatacji niezbędne staną się remonty i konserwacja urządzeń. Będą tego dokonywać co 2,5 roku (w razie awarii części) astronauty pracujący na wahadłowcu. W sytuacjach, gdy awaria będzie zbyt poważna, całe obserwatorium może być sprowadzone na Ziemię w celu dokonania reperacji. Zasadniczą częścią obserwatorium kosmicznego jest teleskop o średnicy głównego zwierciadła ok. 2,4 m (dokładnie 94 cale). Przy jego użyciu uzyskać będzie można obraz źródła punktowego ze zdolnością rozdzielczą 0',1 (dla porównania zdolność rozdzielcza 5 metrowego teleskopu na Mount Palomar wynosi 1'',0). Taki rezultat uzyskano dzięki bardzo precyzyjnemu wyszlifowaniu zwierciadła, które z założenia powinno być paraboloidą obrotową, a odstępstwa od tej teoretycznej figury są mniejsze niż $2,5 \times 10^{-6} \text{ cm}$ (gdyby powierzchnię zwierciadła powiększyć do rozmiarów Warszawy, wówczas odchylenie od



Rys. 2. Czulość i zdolność rejestracji obrazu przez teleskop kosmiczny porównane są z możliwościami pięciometrowego teleskopu oraz ludzkiego oka. Na osi poziomej odłożona jest długość fali, natomiast na pionowej osi w jednostkach wielkości gwiazdowych przedstawione są jasności najślabszych obiektów, których obraz można zarejestrować odpowiednio przy pomocy teleskopu kosmicznego, pięciometrowego teleskopu oraz ludzkiego oka. Wzrost o 1 wielkość gwiazdową odpowiada spadkowi jasności o czynnik ok. 2,5.

Zdolność rozdzielcza spektrografu $\frac{\lambda}{\Delta\lambda}$, gdzie λ — długość fali, $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ jest różnicą długości fali między najbliższymi położonymi rozdzielonymi liniami widmowymi w spektrografie (w okolicach dł. λ).

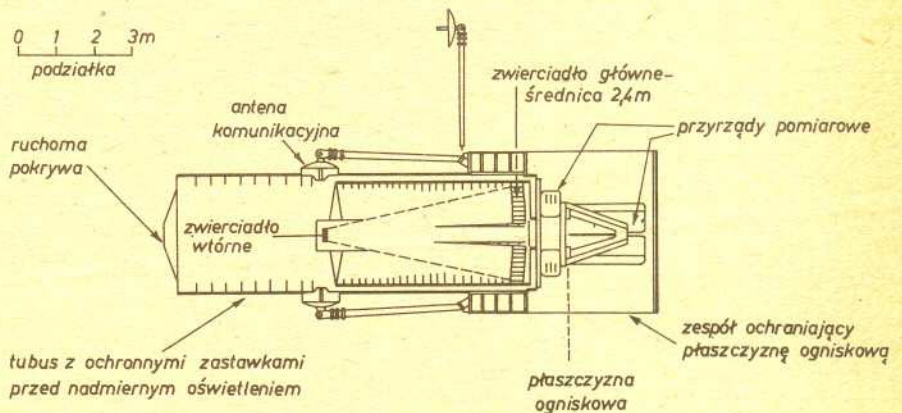
średniej powierzchni nie byłyby większe od 1,5 mm). Lustro wykonane jest ze specjalnego rodzaju szkła o bardzo małym współczynniku rozszerzalności termicznej. Zwierciadło będzie odbijać fale w bardzo szerokim zakresie od 1150 Å (daleki ultrafiolet) do 1 mm (daleka podczerwień) (na rys. 2 porównano ten zakres czulości do zakresu pięciometrowego teleskopu i ludzkiego oka).

Przedstawię teraz niektóre parametry przyrządów, co, mam nadzieję, przekona Czytelników o wyjątkowej klasie tych urządzeń.

Oko szerokokątnej kamery uczulone jest na promieniowanie o długości fali od 1150 Å do 11000 Å. Dzięki systemowi 48 kolorowych filtrów uzyskamy informację o barwach badanego źródła. Kamera ta wymaga jednak niskiej i stałej temperatury. Umieszczona zatem będzie w specjalnym termosie chłodzonym do -95 stopni Celsjusza. Przewiduje się, że za pomocą tej kamery będziemy mogli zobaczyć punktowe obiekty do 28 wielkości gwiazdowej, czyli prawie 100 razy słabsze niż obserwowane do tej pory pięciometrowym teleskopem (patrz rys. 2). W urządzeniach zapewniających właściwą orientację teleskopu zwykle stosowany system żyroskopowy okazał się zbyt mało dokładny, jak na wymagania stawiane kosmicznemu teleskopowi. Precyzyjna pozycja ustalana będzie dodatkowo za pomocą jasnych gwiazd znajdujących się w polu widzenia instrumentu, których współrzędne z bardzo dużą dokładnością wyznaczane są przy użyciu teleskopów na Ziemi. Oczekuje się takiej stabilności układu, że możliwa będzie obserwacja źródła w ciągu 10 godzin z dokładnością wyznaczenia pozycji do $0',01$.

Kamera rejestrująca obrazy słabych obiektów zbudowana jest przez europejski zespół inżynierów. Jest to urządzenie uzupełniające pracę szerokokątnej kamery. Wprawdzie uczulone jest na fale z węższego zakresu długości (od 1200 Å do 5000 Å), ale za to uzyskuje niezwykłą rozdzielczość kątową do 0,007 sekundy łuku. Oznacza to, że używając tej kamery można byłoby przeczytać artykuł w *Delcie* z odległości ok. 30 km. Warto dodać, że źródła radiowe lokalizowane są z jeszcze większą zdolnością rozdzielczą.

Spektrograf przeznaczony do obserwacji słabych źródeł o nie najwyższej zdolności rozdzielczej ($\frac{\lambda}{\Delta\lambda} \sim 10^2 - 10^3$) będzie mógł mierzyć polaryzację światła oraz rejestrować zmiany jasności jasnych źródeł w czasie nawet 10 milisekund. Spektrograf ultrafioletowy będzie jednym z lepszych spektrografów używanych do tej pory. W zakresie fal od 1100 Å do 3200 Å osiągnąć może zdolność rozdzielczą $1,0 \times 10^5$. „Szybki” fotometr swą nazwę zawdzięcza możliwości rejestracji zmian natężenia promieniowania docierającego do odbiornika w odcinkach czasowych 10 mikrosekund. Szczególnie użyteczny będzie przy badaniu zmian jasności zwartych obiektów, takich jak czarne dziury, gwiazdy neutronowe czy białe karły, ponieważ charakterystyczny czas potrzebny, aby sygnał z prędkością światła przebył drogę równą rozmiarowi np. gwiazdy neutronowej, jest właśnie rzędu 10 mikrosekund.



Rys. 3. Schemat teleskopu kosmicznego.

Obserwatorium kosmiczne z racji niezwykłej precyzji urządzeń, jak i miejsca, skąd przeprowadzone będą badania, stwarza astronomom niezwykłą szansę.

Fundamentalnym problemem dla kosmologów jest wyznaczenie odległości do dalekich galaktyk. Jedną z dokładniejszych metod jest tzw. metoda cefeid, oparta na zależności okresu zmian blasku gwiazd pulsujących (cefeid) od ich jasności absolutnej. Dla wielu odległych galaktyk, które przez ziemskie teleskopy widoczne są jak mgiełki z zaznaczoną tylko strukturą, ta metoda była bezużyteczna. Polepszając znacznie jakość obrazu można będzie odróżnić pojedyncze gwiazdy i znajdując cefeidy wyznaczyć odległość. Oko szerokokątnej kamery skierowane będzie m.in. na gromadę galaktyk Virgo i Coma. Obserwacje te wiążą się z wyznaczeniem tzw. stałej Hubble'a,

Rozwiązanie zadania M 358. Ponieważ $x_n > 0$, mamy:

$$\sum_{k=1}^n \frac{x_k}{k} < \sum_{k=1}^{n^2+2n} \frac{x_k}{k} = \sum_{m=1}^n \sum_{k=m}^{(m+1)^2-1} \frac{x_k}{k}$$

Ponieważ ciąg (x_1, x_2, \dots) maleje, mamy

$$\sum_{k=m}^{(m+1)^2-1} \frac{x_k}{k} \leq x_m^2 \left(\sum_{k=m}^{(m+1)^2-1} \frac{1}{k} \right) = x_m^2 \left(\sum_{k=m^2}^{m^2+m-1} \frac{1}{k} + \sum_{k=m^2+m}^{m^2+2m} \frac{1}{k} \right) \leq x_m^2 \left(\frac{m^2+m-1}{m^2} + \frac{m+1}{m^2+m} \right) = x_m^2 \cdot \frac{2}{m}$$

i ostatecznie

$$\sum_{k=1}^n \frac{x_k}{k} < \sum_{m=1}^n \sum_{k=m}^{(m+1)^2-1} \frac{x_k}{k} \leq \sum_{m=1}^n \frac{2x_m^2}{m} \leq 2.$$

klóra charakterystyczne prędkości ekspansji Wszechświata, a jej odwrótność daje informację o czasie, jaki dzieli nas od Wielkiego Wybuchu. Badania widm galaktyk, ich przesunięć ku czerwieni, jasności oraz rozmiarów mają kluczowe znaczenie przy wyborze modelu ewolucji Wszechświata.

Kwazary, punktowe źródła przypominające gwiazdy, a emitujące promieniowanie przewyższające swą mocą promieniowanie jasných galaktyk, są wciąż obiektami tajemniczymi. Ogromne przesunięcia ku czerwieni widm kwazarów, jeśli wiązać je z prędkością ucieczki po Wielkim Wybuchu, świadczą, że obserwujemy obiekty z bardzo wczesnych okresów ich życia. W programie badań przewidziana jest identyfikacja słabych kwazarów i pomiary przesunięć ku czerwieni ich widm. Wyniki te porównane będą z obserwacjami aktywnych jąder galaktyk w celu weryfikacji dotychczasowych teorii.

Planowane są badania bardzo dalekich radioźródeł, których współrzędne wyznaczono z bardzo dużą dokładnością, a nie zdołano znaleźć ich optycznych odpowiedników.

Wprawdzie Galaktyka tworzy naszą najbliższą okolicę, kryje jednak wiele tajemnic. Nie wiemy na przykład, czy w jądrze naszej Galaktyki znajduje się pojedyncze, bardzo masywne ciało o nieznanym charakterze (może czarna dziura?), czy też wiele mniej masywnych obiektów. Gromady kuliste — ogromne skupiska gwiazd są tematem wielu teoretycznych rozważań. Szczególnie interesujące jest zagadnienie, co dzieje się w centralnych ich częściach, czy następuje segregacja gwiazd ze względu na ich masy, czy też w sposób równomierny rozłożone są w całej gromadzie. Obserwacje spoza ziemskiej atmosfery pozwolą zobaczyć pojedyncze gwiazdy w bardziej centralnych częściach. Badaniom poddane będą również obszary zjonizowanego wodoru (tzw. obszary HII) oraz mgławice planetarne w celu uzyskania informacji o ich składzie chemicznym, rodzaju promieniowania oraz o charakterze obiektów centralnych. Ciemna chmura w gwiazdozbiórze Byka podejrzewana jest o to, że w jej centrum formują się nowe gwiazdy. Ruchy materii związane z tworzeniem się takiej gwiazdy jak Słońce są na tyle szybkie, że zmiany powinny być obserwowane w ciągu kilkunastu lat trwania pracy teleskopu. Daje to niezwykłą okazję obserwowania „na gorąco” procesu formacji oraz przekonania się, czy utworzy się dysk stwarzający potencjalną możliwość powstania układu planetarnego. Osobnym planem objęte są badania Układu Słonecznego. Obserwowane będą atmosfery planet, przede wszystkim Jowisza i Saturna, w celu weryfikacji teorii powstawania wirów i plam, jakie zaobserwowano w czasie ostatnich misji Voyagera. Jeden z czterech galileuszowych satelitów Jowisza, Io, jest dość niezwykłym obiektem. Widoczne są wokół niego delikatne chmurki zawierające m.in. sól, potas i siarkę prawdopodobnie z aktywnego wulkanu. Część badań dotyczyć będzie rozkładu masy wewnątrz planet oraz struktury ich powierzchni. Okazją będzie możliwość dokładniejszego przyjrzenia się kometom (może nawet kometce Halleja, jeśli termin rozpoczęcia pracy przez teleskop nie będzie opóźniony), a szczególnie zbadaniu struktury ich centralnych części. Planuje się również poszukiwania innych układów planetarnych. Światło odbite przez typową planetę jest ok. 100 milionów razy słabsze niż światło dochodzące z centralnej gwiazdy. Bardzo dokładne pomiary pozycji „podejrzenie” ruszających się gwiazd stwarzają szansę sukcesu. Te anomalne ruchy mogą właśnie być spowodowane oddziaływaniem grawitacyjnym gwiazdy z planetą.

Przedstawione plany eksperymentów są tylko sygnalizacją możliwości wykorzystania czasu przeznaczanego na obserwacje. Dalsze propozycje ciągle napływają i pozostaje tylko czekać na moment umieszczenia teleskopu na orbicie wokółziemskiej oraz na pierwsze wyniki.

Rozwiązanie zadania F 150. Kula, podobnie jak w zadaniu 149, zsuwa się ze stopnia ruchem postępowym. Wzrasta przy tym energia kinetyczna, która następnie jest częściowo tracona podczas zderzenia niesprężystego. Gdy ruch jest ustalony, na każdym schodku odtwarza się sytuacja ze stopnia poprzedniego.

Jeśli kula ma po zeslizgnięciu się ze schodka n -tego prędkość v_n , to wskutek zderzenia niesprężystego znika jej składowa $v_n \sin \beta$ i zeslizgiwanie z $(n+1)$ -go stopnia rozpoczyna się z prędkością u_n (rys.). Oczywiście $u_n = v_n \cos \beta$.

Zapisując zasadę zachowania energii dla zeslizgiwania się kuli z n -tego stopnia mamy:

$$\frac{mv_{n-1}^2}{2} + mgL = \frac{mv_n^2}{2}$$

Alc $u_n = v_n \cos \beta = v_n \frac{L}{R} = \frac{u_{n-1} L}{R}$

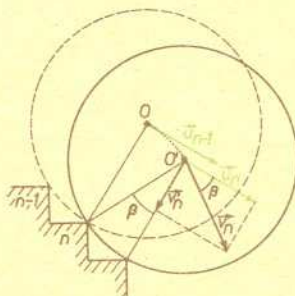
wiec $u^2 + 2gL = \frac{u^2 R^2}{L^2}$

uwzględniając że $\sin \frac{\beta}{2} = \frac{L}{R}$

otrzymuje się po prostych przekształceniach wynik:

$$u = \frac{R^2 - L^2}{\sqrt{2R^2 - L^2}} \sqrt{\frac{2g}{L}}$$

Gdy dodatkowo skorzysta się z założenia $L \ll R$, otrzymuje się ostatecznie $u = R \sqrt{g/L}$.



Rozwiązanie zadania M 359. Przypuśćmy, że przecięcie każdej pary wielokątów W_1 i W_j ma powierzchnię mniejszą niż $\frac{1}{9}$. Wynika stąd, że wielokąt $U_k = W_k - (W_1 \cup W_2 \cup \dots \cup W_{k-1})$ ma powierzchnię większą niż $1 - \frac{k-1}{9}$. Wynikałoby stąd, że w naszym prostokącie leżą rozłączne wielokąty U_1, U_2, \dots, U_5 o sumie pól większej niż $1 + \frac{8}{9} + \frac{7}{9} + \dots + \frac{1}{9} = \frac{45}{9} = 5$, co przeczy założeniu, że pole prostokąta jest równe 5. Wynika stąd, że dla pewnej pary W_i, W_j mamy $S_{W_i \cap W_j} \geq \frac{1}{9}$ c.n.d.