

ELEKTRONIKA W ASTRONOMII

Streszczenie. Omówiono niektóre ważniejsze zastosowania elektroniki w astronomii, począwszy od zegarów elektronicznych, poprzez metody radioastronomiczne badania nieba aż do urządzeń kosmonautycznych i prób znalezienia cywilizacji pozaziemskich. Wskazano na wpływ wymagań astronomii na rozwój elektroniki oraz na osiągnięcia w dziedzinie znajomości nieba uzyskane dzięki elektronicznie.

Elektronika jest dziś w tak powszechnym użyciu, stosuje się ją w tak różnych dziedzinach nauki i techniki, jest ona tak nierozzerwalnie związana z naszym życiem codziennym, że trudno nam sobie wyobrazić czasy, w których ona jeszcze nie istniała. Ludzie przyzwyczajają się bardzo szybko do zdobyczy techniki, nie potrafią się bez nich obejść, uważają je za oczywiste i należne im udogodnienia.

Dlatego trudna jest dla nas ocena działalności i wyników pracy ludzi, którzy żyli wiele lat przed nami, zapominamy bowiem o tym, że pracowali oni w zupełnie innych warunkach, mieli do dyspozycji znacznie prymitywniejsze narzędzia pracy. Szczególne trudności sprawia to nam - technikom, zapatrzonym we wspaniałe osiągnięcia nauki i techniki drugiej połowy XX wieku!

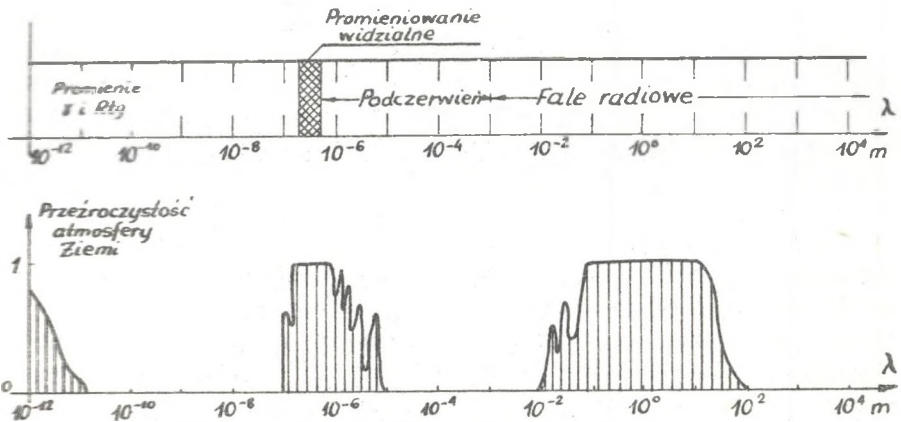
Dlatego mówiąc o Koperniku i o wynikach jego pracy nie wolno zapominać, że posługiwał się on przyrządami astronomicznymi, które niewiele odbiegały od tych, których używali w starożytności Hipparch i Ptolemeusz. Swoje wielkie odkrycia zawdzięcza Kopernik przede wszystkim genialnemu umysłowi a nie nowym przyrządom astronomicznym.

Z wielu źródeł np. wynika, że Kopernik nie posługiwał się zegarem, stosował więc wyłącznie astronomiczne metody wyznaczania czasu, oparte na obserwacjach gwiazd. Zegary mechaniczne istniały już wprawdzie za czasów Kopernika, ale znaczny błąd (ok. 15 min. na dobę) nie pozwalał na użycie ich do celów astronomicznych. Dopiero wynalezienie w XVII w. zegara wahadkowego (Ch. Huygens) dało możliwość uzyskania lepszych dokładności, ale jeszcze np. Heweliusz narzekał, że żaden z jego kilku zegarów nie wskazuje dokładnie. Mechaniczne zegary astronomiczne osiągnęły w XIX wieku dokładność potrzebną do pracy, rzędu 10^{-6} do 10^{-7} . Dopiero jednak rozwój elektroniki pozwolił na zaspokojenie wymagań astronomii na dokładny pomiar czasu: dokładność zegara kwarcowego (1929 r. W.A. Marrison) rzędu 10^{-8} pozwoliła na wykrycie nierównomierności ruchu obrotowego ziemi (1937 r.).

Dzisiaj stosuje się już zegary atomowe, oparte na wykorzystaniu maserów (1949 r. MBS), które pozwalają na uzyskanie dokładności rzędu 10^{-10} (1 s na 300 lat), dają się zaś do dokładności rzędu 10^{-12} , co umożliwi wykonywanie najbardziej subtelnych pomiarów astronomicznych.

Rozwój zegarów elektronicznych jest dobrym przykładem wzajemnych powiązań astronomii i elektroniki: potrzeby astronomii wymuszały postęp w elektronice, co z kolei umożliwiało nowe osiągnięcia astronomii, nowe potrzeby itd. Takich przykładów dodatnich sprzężeń zwrotnych między tymi dość odległymi dziedzinami wiedzy można przytoczyć wiele.

Wprowadzenie zegarów elektronicznych dało zwiększenie dokładności pomiaru czasu, nie wywołało jednak istotnych zmian pojęciowych w astronomii. Zupełnie inny, wręcz rewolucyjny wpływ na astronomię, miało wprowadzenie metod tzw. radioastronomii.



Rys. 1

Człowiek obserwował od wielu tysięcy lat zjawiska astronomiczne za pośrednictwem swego wzroku, najdoskonalszego zmysłu wykształconego w toku ewolucji biologicznej i dostosowanego do warunków panujących na ziemi. Wzrok ludzki reaguje na wąskie pasmo promieniowania elektromagnetycznego, pochodzącego głównie od słońca i przedostającego się przez atmosferę ziemską. Z rys. 1 wynika, że człowiek jest ślepy na ogromne widmo promieniowania elektromagnetycznego, w tym również na zakresy promieniowania przechodzące swobodnie przez atmosferę ziemską. Astronomia wykorzystywała przez całe tysiąclecia informacje dochodzące do nas za pośrednictwem wzroku, a więc ograniczone do bardzo wąskiego pasma częstotliwości. Nie były natomiast dostępne informacje zawarte w pozostałej części widma elektromagnetycznego.

Tajemniczne prace J.C. Maxwella (1873 r.) i ich doświadczalne potwierdzenie przez H. Hertza (1887 r.) zwróciły uwagę na możliwość promieniowa-

nia ciał niebieskich w zakresie pozawidzialnym. Pierwsze próby wykonane w r. 1890 (A.E. Kennelly i T.A. Edison) i w r. 1894 (O.J. Lodge) nie dały pozytywnych wyników wskutek użycia zbyt prymitywnej aparatury, spowodowały jednak zaniechanie dalszych badań w tym kierunku na prawie 40 lat. Dopiero w latach 1928-32 K. Jansky otrzymał wyniki wskazujące na istnienie promieniowania pochodzącego z drogi mlecznej. Pomiaru Jansky'ego były przeprowadzane dla wykrycia przyczyn zakłóceń atmosferycznych odbioru radiowego, odkrycie promieniowania gwiazd było więc czystym przypadkiem. Prace Jansky'ego były kontynuowane przez wiele lat tylko przez radioamatorów. Jeden z nich (G. Reber 1936-47) doprowadził do wykreślenia radiowej mapy promieniowania nieba. W czasie II Wojny Światowej uzyskano również pewne obserwacje przy pomocy stacji radarowych, gdyż w pewnych przypadkach promieniowanie ciał niebieskich (przede wszystkim słońca) powodowało zakłócenia odbioru radarowego.

Radioastronomia stała się poważną nauką w okresie po zakończeniu II wojny światowej. Jej rozwój był uwarunkowany przez osiągnięcia w dziedzinie budowy anten kierunkowych na różne zakresy częstotliwości oraz w dziedzinie budowy wzmacniaczy o niskim poziomie szumów (masery, półprzewodnikowe wzmacniacze parametryczne).

Podstawowym przyrządem radioastronomii jest radioteleskop, czyli antena kierunkowa na określony zakres częstotliwości. Radioteleskop pracuje w znacznie gorszych warunkach niż teleskop optyczny, co wynika z niekorzystnego stosunku jego średnicy do długości fali. Kąt rozdzielczy teleskopu jest bowiem równy λ/D [rad]. Dla teleskopów optycznych stosunek ten jest rzędu 10^{-6} , natomiast dla radioteleskopów rzędu 10^{-1} do 10^{-3} , wobec czego kąt rozdzielczy radioteleskopów jest wielokrotnie większy niż dla przyrządów optycznych. Są więc one gorsze. Przeciętny radioteleskop ma kąt rozdzielczy rzędu $1/10^0$, można go jednak zmniejszyć różnymi metodami, np. interferencyjnymi. Osiągnięcie małego kąta rozdzielczego radioteleskopu wymaga użycia anten o bardzo dużych wymiarach geometrycznych, np. obrotowe anteny paraboliczne mają średnicę dochodzącą do kilkudziesięciu metrów a nieruchome do 300 m. Wymagane tolerancje wykonania tych anten są rzędu $0,1 \lambda$ lub mniej, co przy dużych konstrukcjach ruchomych stwarza poważne trudności.

Wyniki obserwacji radioastronomicznych należą do największych sensacji naukowych ostatnich lat. Odkryto nowe, nieznanne poprzednio, rodzaje gwiazd np. pulsary (1968 r.). Są to gwiazdy o masie zbliżonej do masy słońca, lecz o średnicy ok. 10 km, czyli o ogromnej gęstości rzędu 10^{14} g/cm³, o silnym polu magnetycznym (10^{12} gauss), których promieniowanie pulsuje z częstotliwością rzędu 0,5 do 30 Hz (o stałości rzędu 10^{-7}), prawdopodobnie wskutek ruchu obrotowego. Duża gęstość tych gwiazd wskazuje na to, że złożone są one z samych neutronów. Mamy więc tu do czynienia z nieznanym dotychczas stanem materii.

Pulsary są pozostałościami gwiazd super-nowych, przy czym udało się zidentyfikować szereg pulsarów jako pozostałości gwiazd, których wybuchy obserwowano przed wiekami. Np. w kronikach chińskich i japońskich znaleziono wzmianki o pojawieniu się nowej gwiazdy w gwiazdozbiórze Kassiopei w r. 1181, widocznej przez ok. pół roku. Ostatnio udało się tę gwiazdę znaleźć jako silne źródło radiowe w tym gwiazdozbiórze. Podobnych odkryć dokonano wiele.

Podobnym zainteresowaniem cieszą się odkryte nieco wcześniej kwassary (Quasi Stellar Objects) 1960 r., emitujące również silne promieniowanie elektromagnetyczne, w tym również widzialne, przesunięte silnie w kierunku nadfioletu.

Ostatnio powstały możliwości odbioru promieniowania absorbowanego całkowicie przez atmosferę ziemską dzięki umieszczeniu odpowiednich przyrządów na dużych wysokościach za pomocą rakiet lub balonów stratosferycznych. Stosuje się do tego celu specjalnie skonstruowane teleskopy na promieniowanie Rentgena lub γ co umożliwiałoby wykrywanie źródeł tych promieniowań i uzyskiwanie dodatkowych informacji o otaczającym nas świecie. W przyszłości powstaną zapewne obserwatoria astronomiczne na orbitach okołoziemskich lub na księżycu, co uwolni całkowicie obserwacje od zakłóceń powodowanych przez atmosferę ziemską.

Astronomia radarowa powstała jako produkt uboczny II wojny światowej, jako wykorzystanie przypadkowych obserwacji uzyskanych za pomocą radarów wojskowych. J.S. Hey zauważył np. odbicia wiązki radarowej, które można było zidentyfikować jako odbicia od śladów meteoroidów w atmosferze. Powstała w ten sposób bardzo skuteczna metoda badania meteoroidów, dająca szczegółowe informacje o ich masie, torze i prędkości. Stwierdzono np. w ten sposób, że wszystkie meteoryty są związane z naszym układem słonecznym.

Radary są również stosowane do badania księżyca, słońca i planet. Możliwość użycia radaru jest określana przez stosunek mocy wysłanej przez nadajnik do mocy odbitej od obiektu i odebranej przez odbiornik radarowy:

$$\frac{P_{\text{nad}}}{P_{\text{odb}}} = k \frac{D^4}{S}$$

gdzie:

D - odległość obiektu badanego,

S - jego powierzchnia odbijająca promieniowanie.

O trudnościach związanych z badaniem planet może dać pojęcie poniższe zestawienie:

Obiekt:	samolot 200 km	Księżyc	Słońce	Wenus	Mars	Merkury	Jowisz
Względna moc odb.	1000	1	10^{-5}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}

Trudności związane z użyciem radaru gwałtownie rosą przy badaniu planet bardziej odległych od Ziemi, zmuszając do stosowania doskonalszych anten kierunkowych i lepszych wzmacniaczy elektronicznych oraz bardziej subtelnych metod pomiarowych. Z tych powodów zdobywanie systemu słonecznego za pomocą radaru posuwa się stosunkowo powoli. Pierwsze badania księżycza udało się przeprowadzić już w r. 1946, ale Wenus dopiero w r. 1961, Merkurego w r. 1962, Marsa w r. 1963. Jakie trudności napotyka stosowanie radaru do tych celów ilustrują następujące dane: z mocy 100 kW wyemitowanej w kierunku Marsa powraca do anteny odbiorczej 10^{-21} W, czyli następuje przy tym zmniejszenie mocy 10^{26} razy!

Badania radarowe planet stosuje się obecnie do dokładnego wyznaczania ich odległości od ziemi, przy czym osiąga się dokładności rzędu 10^{-5} do 10^{-6} , co w porównaniu z dokładnością metod optycznych (rzędu 10^{-3}) daje znaczny postęp. Ponadto badania radarowe dają możliwość wyznaczania gładkości powierzchni, jej ukształtowania, przenikalności elektrycznej warstwy powierzchniowej planety, prędkości ruchu obrotowego planet itp.

Warto dodać, że istnieją metody jeszcze dokładniejszego wyznaczania odległości planet oparte na wykorzystaniu promieniowania spójnego (koherentnego) otrzymanego z laserów. Dzięki umieszczeniu na powierzchni księżycza specjalnych zwierciadeł odbijających można uzyskać w dobrych warunkach dokładność pomiaru odległości rzędu kilku cm (rzęd 10^{-9}).

Omówiono w ten sposób główne zastosowania nowoczesnej elektroniki w astronomii. Istnieje jednak jeszcze olbrzymia różnorodność aparatury pomocniczej, niezbędnej do codziennej pracy astronoma, począwszy od przyrządów fotoelektrycznych, służących do pomiarów promieniowania gwiazd poprzez urządzenia służące do rejestracji automatycznej wyników obserwacji aż po elektroniczne maszyny cyfrowe, służące do obliczeń numerycznych, tak znacznie obciążających uprzednio astronomów i opóźniających uzyskanie wyników. Trudno sobie dziś wyobrazić pracę astronoma bez licznych pomocniczych urządzeń elektronicznych ułatwiających i przyspieszających jego pracę.

Ukoronowaniem współpracy astronomów i techników jest kosmonautyka, która pozwala na oderwanie człowieka od kuli ziemskiej, umożliwia bezpośrednie lub pośrednie dotarcie do ciał niebieskich i przeprowadzenie tam badań, o których można było tylko marzyć jeszcze dwadzieścia lat temu. Kosmonautyka powstała dzięki rozwojowi techniki raketowej i elektroniki jako udane, choć nieślubne, dziecko zimnej wojny. Wymagania stawiane urządzeniom technicznym kosmonautyki przewyższały wielokrotnie najostrzejsze wymagania stawiane uprzednio jakimkolwiek tworum umysłu i rąk ludzkich, co zmusiło do rewizji podstawowych zasad technologii i konstrukcji urządzeń kosmicznych, do poczynienia ogromnych wysiłków nad podniesieniem jakości tych urządzeń. Miało to szczególny wpływ na elektronikę, doprowadziło do rewolucyjnych zmian technologicznych, mających trudne do przewidzenia konsekwencje na przyszłość. Dążenie do miniaturyzacji układów elektronicznych doprowadziło do powstania obwodów scalonych, półprzewodniko-

wych, pozwalających na wielokrotne (rzędu 10^{-4} do 10^{-6}) zmniejszenie objętości i ciężaru tych układów, do zwiększenia ich niezawodności i zmniejszenia kosztów produkcji. Obwody scalone umożliwiają realizację dowolnie skomplikowanych urządzeń np. cyfrowych w bardzo małym gabarycie, o małym poborze mocy, co ma szczególne znaczenie dla pojazdów kosmicznych. Dopiero te osiągnięcia elektroniki umożliwiły należyte wyposażenie statków kosmicznych w aparaturę nawigacyjną (łącznie z maszyną cyfrową), aparaturę pomiarową i badawczą, aparaturę do zdalnego sterowania i automatyki itp.

Równocześnie jednak okazało się, że układy elektroniczne opracowane do celów kosmonautyki można łatwo dostosować do urządzeń naziemnych, gdzie również wykazują one znakomite właściwości i duże perspektywy ekonomiczne. Obwody scalone zaczynają dziś wchodzić jako podzespoły do sprzętu powszechnego użytku (odbiorniki radiofoniczne i telewizyjne) i profesjonalnego (maszyny cyfrowe, automatyka, telekomunikacja), umożliwiając uzyskanie dobrych właściwości, małych wymiarów i niskich cen produkcji. Wyniki takie nie byłyby możliwe w tak krótkim czasie, gdyby obwody scalone nie były niezbędne dla kosmonautyki.

Sądzę, że przytoczone tu przykłady wzajemnych powiązań dwóch pozornie tak znacznie odległych dziedzin wiedzy jak astronomia i elektronika, wskazują na użyteczność współpracy różnych gałęzi nauki i nie zasklepiania się w wąskich jej specjalnościach.

Na koniec trzeba wspomnieć o problemie, który jest tematem wielu legend, obiektem fantazji artystów i rozważań uczonych od tysięcy lat: zagadnienie życia pozaziemskiego, istnienia istot rozumnych na odległych ciałach niebieskich. Dzisiejsza astronomia daje pewność, że w naszym systemie słonecznym nie istnieje życie wyżej zorganizowane, jest natomiast prawdopodobne istnienie warunków rozwoju takiego życia na niektórych planetach innych gwiazd. Jedyną możliwością stwierdzenia obecności istot rozumnych poza ziemią jest odbiór sygnałów radiowych przynoszących określone informacje. Hipotetyczne istoty rozumne muszą więc dysponować wysoko rozwiniętą cywilizacją techniczną, podobną do naszej, muszą również operować systemem pojęć naukowych i logicznych, zbliżonym do naszego, muszą się mieścić w naszej skali czasu, naszym zakresie widma promieniowania elektromagnetycznego itp. Spełnienie tych wszystkich warunków jest trudne, ale nie nieprawdopodobne. Dotychczasowe badania dały wyniki negatywne, są jednak prowadzone tak krótko, że nie może to zniechęcać do dalszych prac. Perspektywy tej dziedziny astronomii mogą mieć konsekwencje daleko idące dla całego rozwoju ludzkości, dlatego problemy te pasjonują dziś wielu teoretyków i eksperymentatorów.

LITERATURA

- [1] Botley C.M.: The alleged Supernova of 1006. *Nature* t. 222 (1969), str. 649.
- [2] Burbidge G.R., Burbidge E.M.: Quasistellar objects - a progress report, *Nature* t. 224 (1969), str. 21.
- [3] Cocke W.J., Disney M.J., Taylor D.J.: Discovery of optical signals from pulsar NP 0532, *Nature* t. 221 (1969), str. 525.
- [4] Dornes D.: New radio results on supernova remnants, *The Astronomical J.*, t. 76 (1971), str. 305.
- [5] Feldmann P.A., Rees M.J., Werner M.W.: Infrared and microwave astronomy, *Nature*, t. 224 (1969), str. 752.
- [6] Gold T.: Rotating neutron stars and the nature of pulsars. *Nature* t. 221 (1969), str. 25.
- [7] Herr K.C., Horn D., Mc Affee J.M., Pimentel G.C.: Martian topography from the Mariner 6 and 7 infrared spectra, *The Astronomical J.* t. 75 (1970), str. 883.
- [8] Kellermann K.I., Pauliny-Toth I.K.: Radio observations of the infrared object 10216, *The Astrophysical J.*, t. 166 (1971), P. 1. Nr 1.
- [9] Kiang T.: Possible dates of birth of pulsars from ancient Chinese records, *Nature*, t. 223 (1969), str. 599.
- [10] Neutron stars still favoured, *Nature* t. 225 (1970), str. 14.
- [11] Quasars and pulsars - the same inside, *Nature* t. 223 (1969), str. 1097.
- [12] Stephenson F.R.: A suspected supernova in A.D. 1181, *The Quart.J. of R.A.S.*, t. 12 (1971), str. 10.
- [13] Sturrock P.A.: A model of pulsars, *The Astrophysical J.*, t. 164 (1971), P. 1. Nr 3, str. 529.
- [14] Smith A.G., Carr Th.D.: *Badania radiowe układu planetarnego*, Warszawa, 1968.
- [15] Smith F.G.: *Radioastronomia*, Warszawa, 1966.
- [16] Zajdler L.: *Dzieje zegara*, Warszawa, 1956.