

Instytut Fizyki UMCS

Longin GŁADYSZEWSKI

**Radioteleskop do rejestracji promieniowania radiowego Słońca i Galaktyki
na częstotści 105 MHz**

A Radio Telescope for Detecting the Sun and Milky Way at 105 MHz

Радиотелескоп для наблюдений Солнца и Галактики на частоте 105 МГц.

W pracy opisano skonstruowany przez autora radioteleskop przeznaczony do rejestracji promieniowania radiowego tła galaktycznego i radiowej emisji Słońca. Jest to jedno z ćwiczeń w Pracowni Astrofizyki i Dydaktyki Astronomii, z którym zapoznają się studenci fizyki. Opis radioteleskopu uzupełniono przez przytoczenie wyników ciekawszych rejestracji.

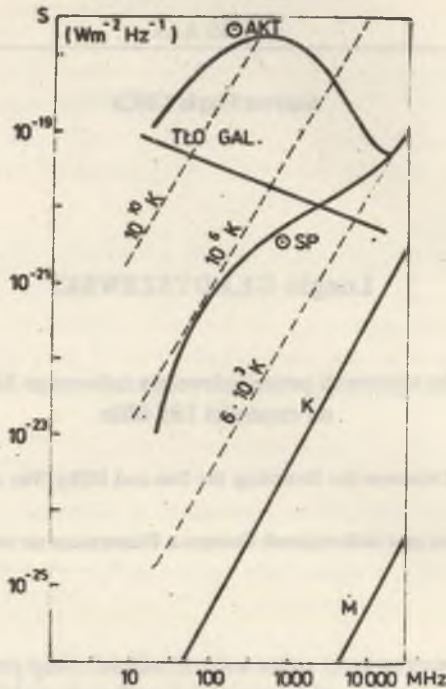
WSTĘP

Sygnaly wzmacniane i rejestrowane przez odbiornik radioteleskopu mają naturę szumów, zwykle o widmie ciągłym, szerokopasmowym. Gęstość strumienia promieniowania radiowego jest bardzo mała; np. w przypadku Słońca tzw. spokojnego na fali o długości 1 m wynosi 10^{-21} W/m²Hz [1].

Na ryc. 1 przedstawiono widma promieniowania radiowego kilku typowych radioźródeł, takich jak: Słońce w okresie wzmózonej aktywności, Słońce spokojne, tło promieniowania synchrotronowego Galaktyki, widmo promieniowania Księżycy i Marsa. Ze względu na niewielkie strumienie energii, w radioastronomii stosuje się bardzo czułe odbiorniki radiowe oraz dokonuje się rejestracji sygnałów mniejszych od poziomu szumów własnych aparatury odbiorczej.

Wydzielenie słabego sygnału można przeprowadzić przez kompensację sygnału szumowego [1], pod warunkiem oczywiście, że poziom szumów własnych pozostaje stały przez cały czas trwania pomiaru.

Na ryc. 1 można wyróżnić widmo promieniowania radiowego o naturze termicznej



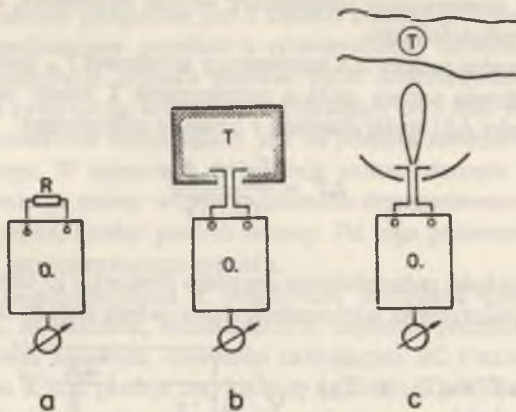
Ryc. 1. Widma promieniowania radiowego niektórych źródeł; linie przerywane odpowiadają emisji ciała doskonale czarnego; prowadzone są wg wzoru Rayleigha-Jeansa; K – Księżyc, M – Mars, ⊙SP – Słońce spokojne, ⊙AKT – Słońce aktywne

(Słońce spokojne, Księżyc, Mars), które w radiowym zakresie częstości opisuje się zwykle prostą zależnością Rayleigha-Jeansa: $s = 2kT/\lambda^2$. Wielkość s zwana jasnością informuje o ilości energii przechodzącej w jednostce czasu przez 1 m^2 powierzchni, przypadającej na jednostkowe pasmo wzmocnienia $\Delta f = 1 \text{ Hz}$ i jednostkowy kąt bryłowy. Zatem jednostką jasności s jest $\text{W/m}^2 \text{ Hz sterad}$ (k – stała Boltzmana; $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$, T – temperatura źródła promieniowania).

Całkowita energia odbierana w jednostce czasu przez antenę radioteleskopu o powierzchni A , od źródła zajmującego kąt bryłowy Ω , przy paśmie wzmacnianych częstości Δf będzie wynosiła:

$$w = s \cdot \Omega \cdot \Delta f \cdot A \text{ watów.}$$

Należy dodać, że często stosuje się wzór Rayleigha-Jeansa dla promieniowania radiowego o naturze (a zatem i widmie) nietermicznej. Dysponując zmierzoną jasnością s źródła wylicza się równoważną temperaturę jasnościową, tzn. taką, jaką powinno mieć ciało



Ryc. 2. Radioteleskop jako przyrząd do pomiaru temperatury ciała doskonale czarnego znajdującego się przed anteną; a – do zacisków wejściowych radioodbiornika podłączony jest opornik R posiadający temperaturę T ; b – antena radioteleskopu umieszczona wewnątrz ciała doskonale czarnego o temp. T ; c – w polu widzenia anteny znajduje się rozciągnięty obiekt o temp. T ; we wszystkich trzech przypadkach do wejścia odbiornika dochodzi sygnał szumowy o tej samej mocy

doskonale czarne, umieszczone na miejscu realnego obiektu o takiej samej jasności. Według tego sposobu podawania jasności, centrum Galaktyki na fali 3 m ma temperaturę równoważną 10 000 K. Jasność jest stosowana dla scharakteryzowania rozciągniętych źródeł promieniowania radiowego.

W przypadku źródeł o małych rozmiarach kątowych używa się wielkości zwanej gęstością strumienia S :

$$S = s \cdot \Omega.$$

Jednostką tej wielkości jest $\text{W}/\text{m}^2\text{Hz}$, a w przypadku Słońca używana jest tzw. „jednostka słoneczna” (solar unit) – 1 s.u. = $10^{-22} \text{W}/\text{m}^2\text{Hz}$.

PODSTAWOWE UKŁADY ELEKTRONICZNE STOSOWANE DO WZMACNIACZA I REJESTRACJI

Typowy układ odbiorczy radioteleskopu składa się z anteny kierunkowej, szerokopasmowego odbiornika radiowego, specjalnego detektora i obwodu całkującego, wydzielających składową stałą sygnału – wielkość proporcjonalną do mocy odbieranego promieniowania.

Każdy układ elektroniczny wytwarza szumy własne, których poziom można podawać

przez wskazanie tzw. równoważnej temperatury wejścia odbiornika, T_R . Temperatura ta decyduje o czułości radioteleskopu.

Minimalna wykrywalna zmiana ΔT temperatury antenowej T_A spowodowana pojawieniem się w polu widzenia anteny ciała o temperaturze T zależy od szerokości pasma wzmacnianych częstotliwości Δf i stałej czasowej τ obwodu całkującego:

$$\Delta T = \frac{T_R + T_A}{\sqrt{\Delta f \cdot \tau}}$$

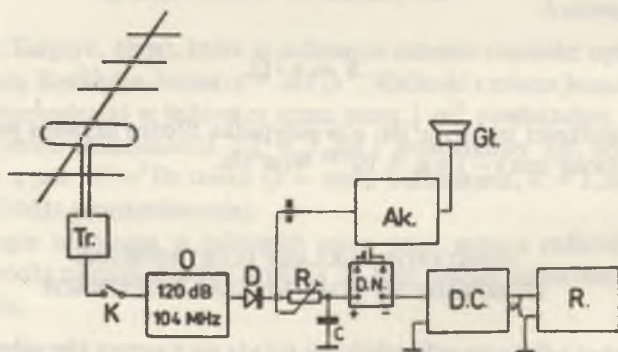
W rzeczywistości o czułości radioteleskopu decyduje również, i to często w znacznej mierze, niestabilność współczynnika wzmocnienia mocy całego układu $\Delta K/K$:

$$\Delta T = (T_R + T_A) \cdot \sqrt{\frac{1}{\Delta f \cdot \tau} + \left(\frac{\Delta K}{K}\right)^2}.$$

OPIS STOSOWANEJ APARATURY

Dla zapewnienia możliwości odbioru synchrotronowego promieniowania radiowego Galaktyki oraz rejestracji ciekawych zjawisk niezwykle, zachodzących w promieniowaniu radiowym Słońca przy konstrukcji radioteleskopu wybrano stosunkowo niską częstotliwość 105 MHz.

Zastosowana antena – 7-elementowa antena Yagi, umocowana na obrotowym maszcie z elementami anteny umieszczonymi poziomo mogła być kierowana w dowolny obszar nieba. Ze względu na szeroką charakterystykę kierunkowości, można w trakcie całodzienniej rejestracji promieniowania radiowego Słońca pozostawić antenę nieruchomą w płaszczyźnie południka.



Ryc. 3. Schemat skonstruowanego radioteleskopu; Tr. – transformator dopasowujący, K – kontaktron, O – odbiornik, D.N. – dekadowy dzielnik napięcia, Ak. – wzmacniacz akustyczny, D.C. – wzmacniacz napięć wolnozmennych, R – rejestrator

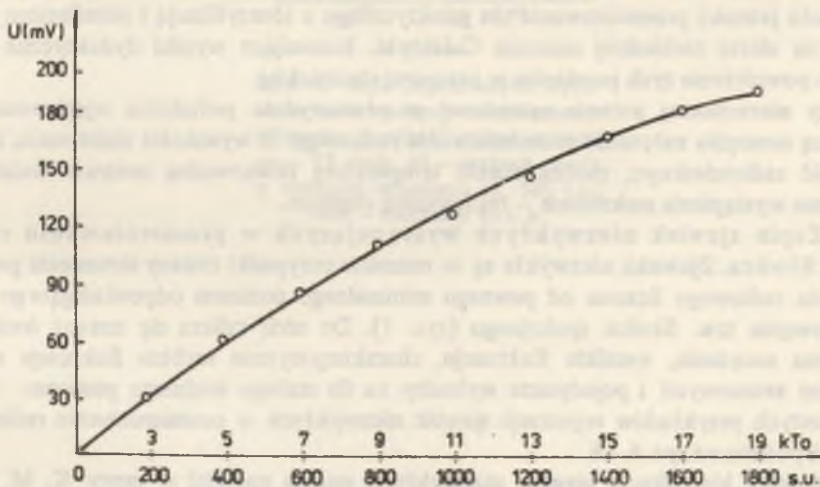
Dipol pętlowy anteny połączony jest z kablem koncentrycznym przez transformator dopasowujący, umożliwiającą przejście z symetrycznego odbioru energii z dipola na niesymetryczne przesyłanie sygnału poprzez kabel koncentryczny do odbiornika. Na wejściu odbiornika znajduje się kontaktron odłączający co 5 min. na czas ok. 10 s antenę od odbiornika. Kontaktron uruchamiany jest za pomocą niesymetrycznego multiwibratora tranzystorowego. W momencie odłączenia anteny samopis włączony do wyjścia radioteleskopu rejestruje szumy własne odbiornika skompensowane za pomocą dekadowego dzielnika napięcia, kreśląc poziom zerowy. Od tego poziomu mierzy się na taśmie samopisu wielkość zarejestrowanego sygnału.

Odbiornik to superheterodyna z pojedynczą przemianą częstotliwości, ze stopniami: wysokiej częstotliwości, mieszaczem, wzmacniaczem częstotliwości pośredniej 10 MHz i pasmem 100 kHz, detektorem liniowym, obwodem całkującym RC i wzmacniaczem prądu stałego. Samopis typu K-100 pracuje zwykle przy czułości 5 mV/cm i szybkości przesuwu taśmy 12 cm/h. Współczynnik wzmocnienia napięciowego układu wynosi $3 \cdot 10^5$, a poziom szumów własnych odniesiony do wejścia odbiornika wynosi $0,6 \mu\text{V}$. Opór wejściowy układu – 50 Ω .

Za pomocą generatora szumów [2] wycechowano tor odbiorczy radioteleskopu, a znając zysk anteny, jej powierzchnię skuteczną i straty w linii koncentrycznej, wychyleniu pióra samopisu przyporządkowano gęstość strumienia promieniowania radiowego Słońca dla początkowego zakresu charakterystyki:

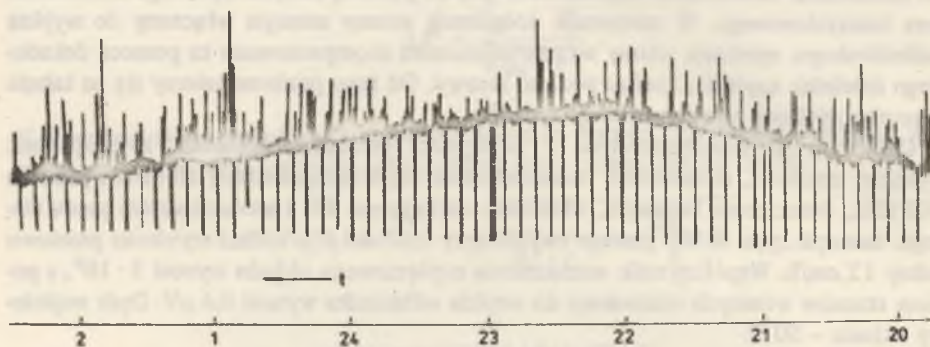
$$1 \text{ cm} = 40 \text{ s.u.}$$

Krzywa cechowania radioteleskopu przedstawiona jest na ryc. 4.



Ryc. 4. Krzywa cechowania odbiornika radioteleskopu

29/30 VI. 104 MHz



Ryc. 5. Zapis przejścia centrum Galaktyki; pionowe kreski powstają w wyniku odłączania anteny przez kontaktron; dolne końce kresek wskazują poziom zerowy natężenia; na osi poziomej – czas uniwersalny UT; prędkość taśmy samopisu 4 cm/h

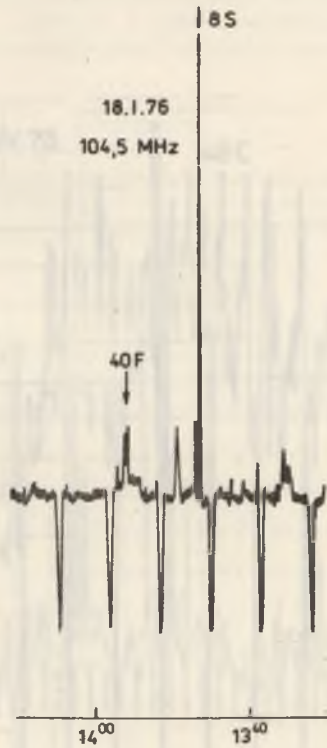
UZYSKANE WYNIKI

1. Rejestracja przejścia centrum Galaktyki przez pole widzenia anteny. W początkowym okresie rozwoju radioastronomii przeprowadzono dokładne pomiary rozkładu jasności promieniowania tła galaktycznego z identyfikacją i określeniem położenia na sferze niebieskiej centrum Galaktyki. Inerujące wyniki dydaktyczne przyniosło powtórzenie tych pomiarów w pracowni studenckiej.

Przy nieruchomej antenie ustawionej w płaszczyźnie południka rejestrowano za pomocą samopisu natężenie promieniowania radiowego. Z wysokości maksimum, znając czułość radioteleskopu, można ocenić temperaturę równoważną centrum Galaktyki, a z czasu wystąpienia maksimum – rektascensję centrum.

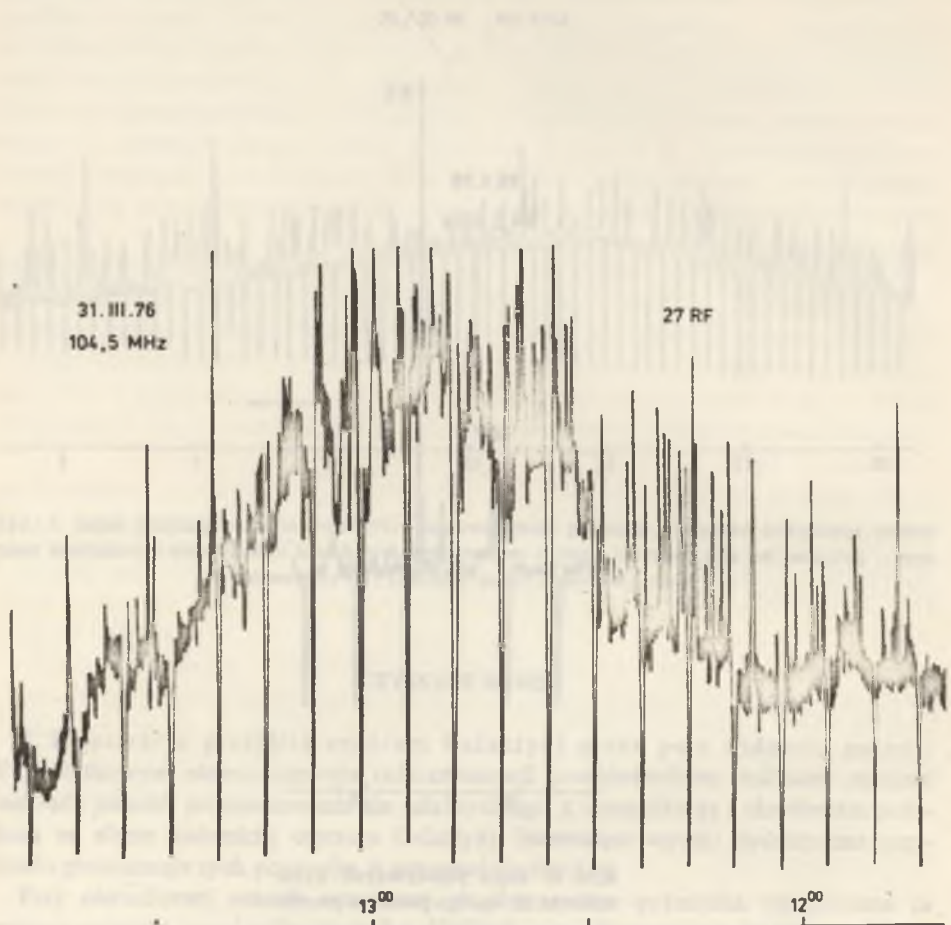
2. Zapis zjawisk niezwykłych występujących w promieniowaniu radiowym Słońca. Zjawiska niezwykłe są to rozmaite przypadki zmiany strumienia promieniowania radiowego liczone od pewnego minimalnego poziomu odpowiadającego promieniowaniu tzw. Słońca spokojnego (ryc. 1). Do nich zalicza się zmiany średniego poziomu natężenia, wszelkie fluktuacje, charakterystyczne szybkie fluktuacje zwane burzami szumowymi i pojedyncze wybuchy na tle stałego średniego poziomu. Kilka ciekawszych przykładów rejestracji zjawisk niezwykłych w promieniowaniu radiowym Słońca podano na ryc. 6–8.

Dokładną klasyfikację zjawisk niezwykłych można znaleźć w pracy K. M. Borowskiego [3] oraz w publikacji H. Tanaki [4].

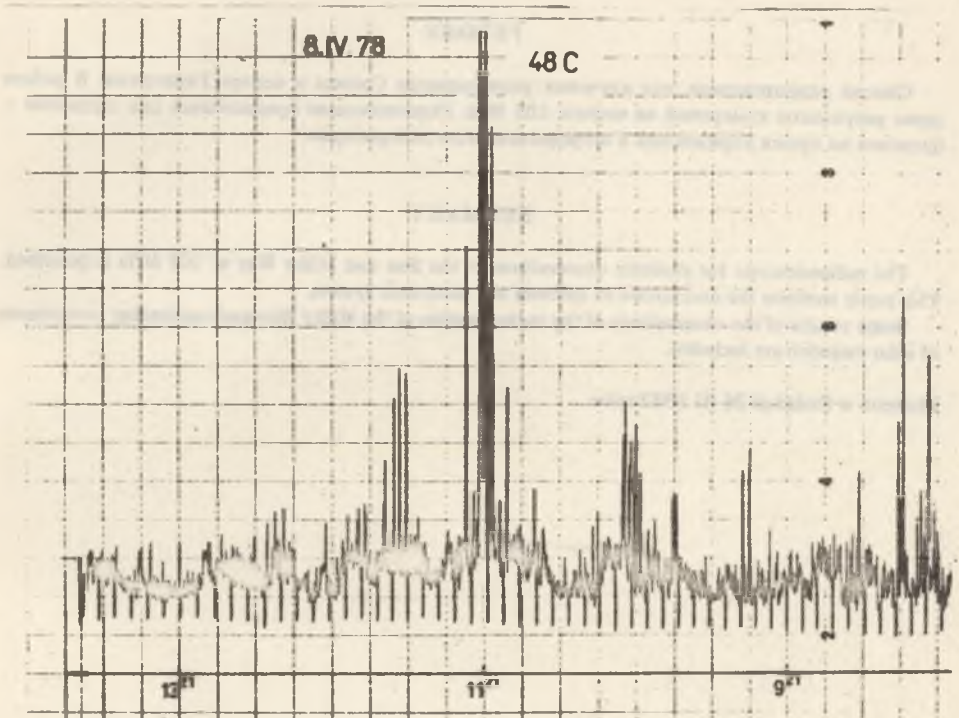


Ryc. 6. Zapis pojedynczych wybuchów na tle stałego poziomu promieniowania; prędkość taśmy samopiśsu – 12 cm/h, 8S – wybuch prosty o wielkości strumienia ok. 500 s.u.; 40F – fluktuacje 40 s. u.

Prof. Dr. hab. Andrzej Chyba, Instytut Fizyki, Uniwersytet Wrocławski, ul. Wyspiańskiego 27, 50-034 Wrocław, e-mail: andrzej.chyba@pwr.edu.pl



Ryc. 7. Zmiana poziomu promieniowania radiowego Słońca trwająca ok. 1 godzinę (27 RF); wielkość strumienia w maksimum około 500 s.u.; zmianom typu 27 RF towarzyszy burza szumowa (44 NS)



Ryc. 8. Złożone, o dużej amplitudzie, gwałtowne zmiany natężenia promieniowania radiowego Słońca (wybuch 48C)

PIŚMIENICTWO

1. Kraus J. D.: Radio Astronomy, New York 1966.
2. Pawsey J. L., Bracewell R. N.: Radio Astronomy, Oxford 1955.
3. Borkowski K. M.: Postępy Astronomii XXIV, 1, 15 (1976).
4. Tanaka H.: Instruction Manual for Monthly Report, Toyokawa Observatory, Japan 1975.

РЕЗЮМЕ

Описан радиотелескоп для изучения радиоэмиссии Солнца и центра Галактики. В работе даны результаты измерений на частоте 105 МГц. Радиотелескоп предназначен для студентов – физиков во время упряжений в астрофизическом лаборатории.

SUMMARY

The radiotelescope for students observations of the Sun and Milky Way at 105 MHz is described. This paper contains the description of antenna and electronic system.

Some results of the observations of the radioemission of the Milky Way and outstanding occurrences of solar emission are included.

Złożono w Redakcji 26 III 1982 roku.

- 1. Kozłowski J., *Prace naukowe Instytutu Fizyki*.
- 2. Wójcicki J., *Prace naukowe Instytutu Fizyki*.
- 3. Kozłowski J., *Prace naukowe Instytutu Fizyki*.
- 4. Wójcicki J., *Prace naukowe Instytutu Fizyki*.

WYKAZ

Wydanie niniejsze jest pierwszym wydaniem. Wszelkie zmiany w tekście i w ilustracjach, a także w całości, podlegają zgody Komisji Redakcyjnej. Wykaz jest zgodny z oryginałem. Wszelkie zmiany w tekście i w ilustracjach, a także w całości, podlegają zgody Komisji Redakcyjnej.

WYKAZ

Wydanie niniejsze jest pierwszym wydaniem. Wszelkie zmiany w tekście i w ilustracjach, a także w całości, podlegają zgody Komisji Redakcyjnej. Wykaz jest zgodny z oryginałem. Wszelkie zmiany w tekście i w ilustracjach, a także w całości, podlegają zgody Komisji Redakcyjnej.

Wydanie w 1982 r. w 10 egzemplarzach.

ANNALES UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA

Nakład 575 + 25 egz., B5. Ark. wyd. 7,5, ark. druk. 7,0 + 12 str. wklejek. Papier druk. III, 80 g, B1.
 Przyjęto do druku w maju 1982 r. Wydrukowano w grudniu 1982 r. Cena zł 100,-

Łączono w Oficynie Drukarskiej UMCS w Lublinie. Zam. nr 162/82. R-5

czw. 16364/36-37

Adresse:

UNIWERSYTET MARII CURIE-SKŁODOWSKIEJ
BIURO WYDAWNICTW

Plac Marii

Curie-Skłodowskiej 5

20-031 LUBLIN

POLOGNE

Cena zł 100.—