

## Jak można wykryć cywilizację pozaziemską

Przed przystąpieniem do właściwego tematu chciałbym uczynić dwa zastrzeżenia:

1. Będą to rozważania dotyczące rzeczywistych możliwości wykrycia innych cywilizacji w naszej Galaktyce, przy użyciu aparatury naukowej aktualnie istniejącej lub możliwej do skonstruowania. Nie będziemy tu mówić o spotkaniach z mieszkańcami innych planet, którzy przylatywali na Ziemię, aby rozbiierać polskiego rolnika.
2. Zajmiemy się tylko jednym z możliwych sposobów wykrycia „ucywilizowanej” planety, a mianowicie za pomocą wyłapywania niekontrolowanych „przecieków” energetycznych, związanych z aktywnością techniczną. Ponieważ jedyną znaną nam zamieszkałą planetą jest na razie Ziemia, prześledzimy przecieki energetyczne z Ziemi w przestrzeń międzygwiazdową i spróbujemy stąd wywnioskować, czego mógłby dowiedzieć się o Ziemi obserwator z odległej planety, rejestrujący odbierane impulsy.

### Podstawowe rodzaje sygnałów z innych planet

Metody poszukiwania sygnałów z innych planet można podzielić na dwie klasy:

1. Metody oparte na wyławianiu informacji celowo wysyłanych w przestrzeń przez inne cywilizacje, z zamiarem nawiązania łączności międzygwiazdowej.
2. Metody oparte na poszukiwaniu sygnałów uciekających w przestrzeń w sposób niekontrolowany.

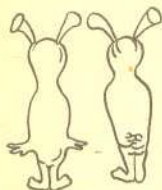
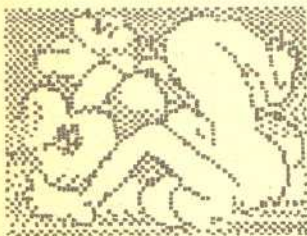
Metody tego drugiego typu są mniej znane, lecz wydają się równie obiecujące, ponieważ tylko bardzo wysoko rozwinięta cywilizacja mogłaby i chciała pozwolić sobie na inwestowanie wielkich ilości energii w tak mało praktyczne i tak niepewne przedsięwzięcie, jak nadawanie sygnałów w przestrzeń. Przecieki energetyczne pojawiają się natomiast już w mniej rozwiniętych cywilizacjach, i, jak zobaczymy za chwilę, nawet nasza ziemską cywilizacja produkuje ich dostatecznie dużo, aby dały się zaobserwować z planet innych gwiazd, mających cywilizacje na podobnym etapie rozwoju.

### Źródła przecieków energetycznych na Ziemi

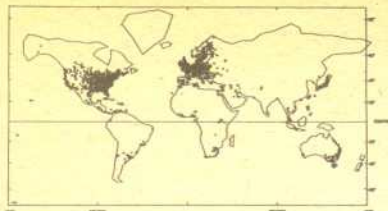
Działalność techniczna ludzi związana jest z emitowaniem fal elektromagnetycznych przez znaczną liczbę źródeł (np. stacje telewizyjne i radiowe, radary, satelity telekomunikacyjne). Strumienie tych fal uciekające w przestrzeń międzygwiazdową stanowią najłatwiejsze do wykrycia sygnały cywilizacji ziemskiej. Spróbujemy ustalić, które z tych sygnałów mogłyby zostać wykryte i zanalizowane przez obserwatorów na innej planecie. Urządzenia radiowe na ziemi pracują na bardzo różnych częstotliwościach fal elektromagnetycznych: od ok. 10 kilohertzów dla systemu telekomunikacyjnego okrętów podwodnych do wielu gigahertzów dla satelitów telekomunikacyjnych (1 gigahertz = 1 GHz =  $10^9$  Hz). Sygnały o częstotliwościach niższych niż ok. 20 megahertzów (1 megahertz = 1 MHz =  $10^6$  Hz) odbijają się jednak od jonosfery i wracają ku ziemi, nie mogą więc być wykryte z daleka. Pominiemy je w dalszych rozważaniach. Spośród źródeł fal radiowych o wyższych częstotliwościach możemy pominąć stacje radiowej łączności lotniczej, radiotelefony, telegrafy oraz satelity telekomunikacyjne, ponieważ moc ich sygnałów jest zanedbywalnie mała w porównaniu z tymi, które uwzględnimy dalej. Wiązki fal o dość znacznej mocy wypromieniowują (dzięki wielkiej liczbie nadajników pracujących na Ziemi) przenośne radiostacje oraz radary używane w meteorologii, żegludze morskiej i lotnictwie, jednak i one są całkowicie przyćmione przez dwie grupy najsilniejszych źródeł, które omówimy poniżej.

Najsilniejszymi źródłami fal radiowych są specjalne radary Systemu Wczesnego Ostrzegania przed Pociskami Balistycznymi (Ballistic Missile Early Warning System — w skrócie BMEWS), zainstalowanego w Stanach Zjednoczonych. Każdy z radarów wysyła ściśle ukierunkowaną wiązkę promieniowania, o mocy ok.  $2 \cdot 10^{11}$  watów, omiatającą znaczną część jego horyzontu. Dzięki temu sygnał radaru „oświetla” wiele gwiazd, przy czym jest na tyle silny, że może być wykryty z odległości do ok. 18 lat świetlnych przy użyciu aparatury już istniejącej na Ziemi, oraz do ok. 250 lat świetlnych przy użyciu aparatury będącej w stadium projektów i możliwej do skonstruowania w najbliższej przyszłości. Liczba radarów tego systemu, zainstalowanych na Ziemi, jest niewielka (ok. 10), działają one impulsowo, przy czym czas trwania impulsu wynosi tylko 1/9 czasu trwania przerwy między impulsami, zaś częstotliwość użytych fal radiowych podlega, ze względów bezpieczeństwa, ciągłym zmianom. Okoliczności te, zwłaszcza ostatnia z nich, sprawiają, że obserwator z dalekiej planety nie mógłby zdobyć wielu informacji naukowych o Ziemi tą drogą. Mimo to, sygnały radarów systemu BMEWS mogą posłużyć do wykrycia Ziemi jako źródła fal radiowych i w ten sposób zapoczątkować dokładniejsze obserwacje radiowe Ziemi.

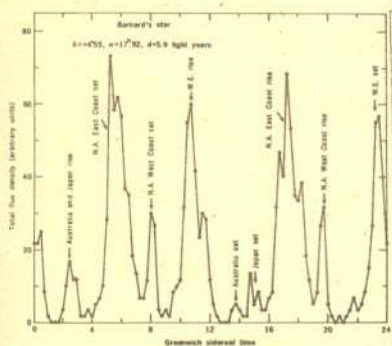
Drugim z kolei źródłem fal elektromagnetycznych są telewizyjne stacje nadawcze. Najsilniejsze z nich wysyłają promieniowanie o mocy ok. miliona razy mniejszej od pojedynczego radaru BMEWS, lecz liczba stacji wynosi ok. 15000, przy czym każda działa nieprzerwanie przez wiele godzin, emitując fale radiowe o dość ściśle ustalonej częstotliwości we wszystkich kierunkach w płaszczyźnie horyzontu. Dzięki temu, jak się zaraz przekonamy, właśnie stacje telewizyjne mogą dostarczyć odległym obserwatorom najwięcej informacji o Ziemi.







1. Rozmieszczenie 2191 nadajników telewizyjnych o efektywnej mocy promieniowania nie mniejszej niż 50 kW, uwzględnionych w artykule. Rzucają się w oczy znaczne skupienia nadajników w Ameryce Północnej, Europie Zachodniej, Japonii i Australii. Nie udało się zdobyć pełnych informacji z terenu ZSRR i Chin, lecz według przybliżonych ocen moc promieniowania nadajników telewizyjnych jest tam znikoma.



2. Względna gęstość strumienia promieniowania stacji telewizyjnych, którą zmierzylby w ciągu dnia gwiazdowego obserwator umieszczony na kierunku gwiazdy Barnarda, tzn. w pobliżu płaszczyzny równika niebieskiego, gdyby wszystkie stacje pracowały całą dobę bez przerwy. Gęstość strumienia promieniowania została zsumowana po wszystkich częstotliwościach, na osi pionowej odłożono jej stosunek do całkowitej mocy promieniowania wszystkich stacji. Poszczególne maksima sygnalizują kolejno: 1. Wschód Australii i Japonii, 2. Zachód wschodniego wybrzeża USA, 3. Zachód zachodniego wybrzeża USA, 4. Wschód Europy, 5. Zachód Australii, 6. Zachód Japonii, 7. Wschód wschodniego wybrzeża USA, 8. Wschód zachodniego wybrzeża USA, 9. Zachód Europy.

## Własności fal elektromagnetycznych emitowanych przez stacje telewizyjne

Spośród 15000 stacji istniejących na świecie tylko ok. 2000 stanowi grupę istotną z naszego punktu widzenia, ponieważ moc ich sygnałów wynosi ok. 97% całkowitej mocy wszystkich stacji. Dokładniej mówiąc, przedstawione dalej wyniki oparte są na badaniach 2191 stacji, z których 999 (46%) znajduje się w Ameryce Północnej, 636 (29%) w Europie Zachodniej, 138 (6%) w Europie Wschodniej, 108 (5%) w Japonii, 81 (4%) w Australii i 229 (10%) w reszcie świata. Załączona schematyczna mapa (rys. 1) pokazuje położenia stacji uwzględnionych w badaniach. Każda z tych stacji wysyła fale elektromagnetyczne z jednakowym natężeniem we wszystkich kierunkach poziomych, skoncentrowane w wąskim kącie ( $2^\circ - 7^\circ$ ) wokół płaszczyzny poziomej. Częstotliwość fal emitowanych, charakterystyczna dla każdej stacji, jest utrzymywana z dokładnością do 1/10 hertza, ale wskutek obrotu Ziemi każda stacja porusza się względem obserwatora na innej planecie. Efekt Dopplera, związany z ruchem obrotowym Ziemi, powoduje, że częstotliwość fal odbieranych zmienia się o kilkaset hertzów między wschodem i zachodem danej stacji. Wreszcie, każda ze stacji pracuje tylko w określonych godzinach, zaś w pozostałych jest wyłączona. Typowe godziny nadawania programu (wg lokalnego czasu słonecznego) są następujące: 6.00 do 1.00 w Stanach Zjednoczonych, Kanadzie Australii i Japonii, 10.00 do 23.00 w Europie Zachodniej i 16.00 do 23.00 w reszcie świata.

## Promieniowanie radiowe Ziemi obserwowane z innego układu planetarnego

Na podstawie danych, znając położenie obserwatora na niebie, jego odległość od nas i dzień roku ziemskiego, w którym dokonuje on obserwacji, możemy obliczyć odbierany przez niego strumień fal elektromagnetycznych z Ziemi jako funkcję czasu (gwiazdowego) w ciągu doby.

Należy po prostu sprawdzić dla każdej stacji telewizyjnej, czy jest w danej chwili czynna, czy jej promieniowanie jest skierowane tak, że dany obserwator odbiera je, obliczyć natężenie odbieranego promieniowania, i zsumować przyczynki od wszystkich stacji (oczywiście rachunek ten wykonuje komputer). Załączony rysunek 2 pokazuje względną gęstość strumienia promieniowania jako funkcję czasu, obserwowaną z gwiazdy Barnarda, przy założeniu, że wszystkie stacje są włączone w momentach ich wschodu i zachodu. Gwiazda Barnarda jest trzecią pod względem odległości od Słońca, o deklinacji  $\delta \approx +5^\circ$ , leży więc blisko płaszczyzny równika ziemskiego. Obserwator na innej gwiazdzie o tej samej deklinacji, lecz rektascensji różniącej się o  $\Delta t$ , zaobserwowałby taki sam obraz, przesunięty o  $\Delta t$  po poziomej osi. Maksyma obserwowanego natężenia pojawiają się w momentach wschodu lub zachodu dużej grupy położonych blisko siebie stacji. Cztery największe maksima związane są ze wschodem i zachodem dwu największych grup, a mianowicie kolejno od lewej: zachodem atlantyckiego wybrzeża USA i Kanady, wschodem Europy, wschodem atlantyckiego wybrzeża USA i zachodem Europy.

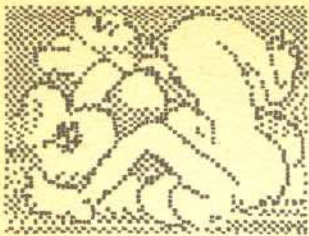
Jeżeli obserwator znajduje się w pobliżu płaszczyzny równika, to odstępy czasu między wschodem i zachodem każdej grupy stacji wynoszą zawsze ok. 12 godzin. Dla obserwatorów położonych daleko od równika przebieg natężenia odbieranego promieniowania jako funkcji czasu jest inny, np. przy obserwacji z nadbiegu bieguna północnego stacje półkuli północnej nigdy nie zachodzą. Z gwiazdy Kruger 60, o deklinacji  $57^\circ$ , grupa stacji Ameryki Północnej zbliża się do horyzontu tylko raz w ciągu doby, dając jedno maksimum, zaś Europa nie daje żadnego maksimum. Pamiętając o tych, możliwych do obliczenia, różnicach, zajmiemy się dalej tylko efektami obserwowanymi z gwiazdy Barnarda, ponieważ są łatwiejsze do opisanie.

Chwile włączenia i wyłączenia poszczególnych stacji są dostosowane do czasu słonecznego w danym miejscu Ziemi. Pokazany na rys. 2 obraz będzie więc ulegał cyklicznym zmianom w ciągu roku ziemskiego: każda z grup stacji będzie w pewnych miesiącach wschodziła (dla danego obserwatora) w tym właśnie czasie, gdy wszystkie stacje są wyłączone. Obserwator stwierdzi więc, że każde z widocznych na rysunku maksimów znika na przeciąg kilku miesięcy, by potem pojawić się znów.

Jeśli obserwator będzie mógł identyfikować częstotliwości wiązek fal pochodzących od pojedynczych stacji, to stwierdzi, że znikanie maksimów w pewnych okresach wiąże się z wyłączeniem poszczególnych stacji, a nie ze spadkiem natężenia ich promieniowania. Jeśli ponadto będzie on w stanie identyfikować natężenie promieniowania z poszczególnych stacji, to stwierdzi, że każda stacja ma inną częstotliwość w momencie zachodu niż w momencie wschodu (wskutek efektu Dopplera). Wnioski z tej obserwacji opiszemy dalej.

Obliczenia wskazują, że przyrząd identyczny z największym aktualnie radioteleskopem na Ziemi (w Arecibo na Jamajce), zdolny do rozróżniania częstotliwości poszczególnych stacji, mógłby wykryć najsilniejsze ziemskie stacje telewizyjne z odległości 1,8 roku świetlnego. Jest to połowa odległości od najbliższej gwiazdy (Alfa Centauri). W fazie projektów znajduje się jednak radioteleskop systemu „Cyklop”, składający się z 1000 anten o średnicy 100 m każda. Przyrząd tego typu mógłby wykryć sygnały stacji telewizyjnych z odległości 25 lat świetlnych. W takim promieniu od Ziemi znajduje się już ok. 300 gwiazd. Jeśli któraś z nich ma ucywilizowaną planetę, na której wynaleziono telewizję, to wykrycie jej powinno być możliwe w najbliższej przyszłości. Nie jest wykluczone, że Ziemia jest już stamtąd obserwowana.





## Czego można dowiedzieć się o Ziemi z obserwacji radiowych

Pierwszym pytaniem, które wymaga odpowiedzi, jest: czy obserwator z odległej planety domyśliłby się, że odbierane z Ziemi sygnały zostały wytworzone przez istoty inteligentne. Jest to bardzo trudne pytanie, na które nie ma pewnej odpowiedzi. Mamy liczne przykłady na naszej własnej planecie na to, że różne cywilizacje bywają oddzielone od siebie przepaścią kulturową prawie niemożliwą do przebycia. Nie możemy więc domyślić się, jak wyjaśniłby sobie sygnały z Ziemi astronom z innej planety. Być może, jego zdolni koledzy-teoretycy potrafiliby wytłumaczyć te obserwacje jakimiś efektami naturalnymi i uznali je za najbardziej prawdopodobne.

Oczywiście sygnały te zostałyby niewątpliwie uznane za sztuczne, gdyby czułość aparatury była wystarczająca nie tylko do wykrycia promieniowania pojedynczych stacji, ale także do... odebrania nadawanego przez nie programu telewizyjnego. Wymagałoby to anten odbiorczych o czułości 20000 razy większej, tzn. mających 100 razy większą średnicę. Jest to całkowicie poza obecnymi możliwościami ziemskiej techniki.

Załóżmy jednak, że nasz odległy astronom przyjął poważnie hipotezę, że odbiera sygnały ziemskiej cywilizacji. Czego mógłby dowiedzieć się o Ziemi, gdyby zanalizował je dokładnie?

Wskutek ruchu orbitalnego Ziemi wokół Słońca częstotliwości odbieranych sygnałów podlegają cyklicznym zmianom w okresie 1 roku, wynikającym z efektu Dopplera. Ponieważ analogiczna sytuacja występuje w przypadku gwiazd podwójnych spektroskopowych (gdzie przesunięciem częstotliwości podlega światło emitowane przez gwiazdę), które są dobrze znane wszystkim astronomom, nasz astronom pozaziemski bez trudu zinterpretowałby ten efekt. Obserwując radiowe sygnały z Ziemi w ciągu przynajmniej 1 roku i mierząc zmiany ich częstotliwości mógłby obliczyć składową prędkość Ziemi w kierunku obserwacji dla każdego punktu jej orbity, stąd zaś, standardowymi metodami astronomicznymi, wyznaczyć:

1. Okres obiegu Ziemi wokół Słońca,
2. Mimośród orbity,
3. Pozycję perihelium na orbicie,
4. Moment przechodzenia Ziemi przez perihelium,
5. Wielkość  $a \cos \beta$ , gdzie  $a$  jest półosią wielką orbity Ziemi, zaś  $\beta$  — kątem między kierunkiem obserwacji a płaszczyzną ekliptyki.
6. Tzw. funkcję mas układu Słońce-Ziemia:  $M_S^3 \cos^3 \beta / (M_S + M_Z)^2$ , gdzie  $M_S$  — masa Słońca,  $M_Z$  — masa Ziemi.

Ponadto nasz obserwator zaobserwowałby pewnie Słońce (jako zwykłą gwiazdę) i z braku efektu Dopplera w jego widmie wywnioskował, że jest ono nieruchome, a więc znacznie cięższe od Ziemi. W tym przypadku  $M_S^3 \cos^3 \beta / (M_S + M_Z)^2 \approx M_S \cos^3 \beta$ . Gdyby ponadto potrafił ze swoich teorii astrofizycznych obliczyć masę Słońca  $M_S$  (co jest bardzo prawdopodobne), wyznaczyłby  $\beta$ , a więc i półoś orbity Ziemi. Zauważyłby też, że roczny okres orbitalnego efektu Dopplera pokrywa się z rocznymi cyklami zniknięć i pojawień się poszczególnych maksimum w natężeniu odbieranych sygnałów. Mógłby stąd domyślić się, że okresy włączenia poszczególnych stacji są związane z lokalnym czasem słonecznym, nie zaś z czasem gwiazdowym. Raptowne znikanie poszczególnych stacji z pola widzenia zinterpretowałby pewnie jako skutek ich zachodu poza Ziemię („zaćmienia” przez Ziemię), zaś z faktu, że maksyma dziennych zmian efektu Dopplera przypadają tuż przed zachodem i tuż po wschodzie stacji, wywnioskowałby, że wysyłają one swoje promieniowanie stycznie do powierzchni Ziemi.

Rejestrując dokładnie momenty pojawienia się i znikania poszczególnych stacji nasz obserwator mógłby obliczyć pozycję osi obrotu Ziemi oraz prędkość liniową punktów na równiku, stąd zaś i ze zmierzonego wprost okresu obrotu Ziemi, wyznaczyć promień Ziemi. Wiedząc to wszystko, mógłby następnie sporządzić mapę rozmieszczenia poszczególnych stacji: przy pomiarze czasu z dokładnością do 1s i częstotliwości fali elektromagnetycznej do 1 Hz, można umiejscowić każdą stację z dokładnością do kilku kilometrów.

Oprócz informacji fizycznych i astronomicznych, podanych wyżej, nasz pozaziemski astronom mógłby pokusić się o zdobycie pewnych danych dotyczących naszej kultury i cywilizacji. Sporządzona przez niego mapa rozmieszczenia stacji ukazałaby dwa wielkie skupiska, kilka mniejszych, duże obszary pozbawione stacji zupełnie, rozmaite typy anten i urządzeń nadawczych, z których każde ma swój własny rozkład natężeń w zależności od częstotliwości (widmo), okres działania, moc. Z tych danych można wydedukować w przybliżeniu np. zasięg wspólnot politycznych (w ramach jednej wspólnoty parametry techniczne wszystkich stacji są podobne), przebieg granic politycznych (w jednolitym obszarze politycznym godziny włączenia i wyłączenia są te same dla wszystkich stacji), rozmieszczenie obszarów najgęściej i najrzadziej zamieszkałych.

## Wnioski

Poszukiwanie odległych cywilizacji przez śledzenie ich przecieków energetycznych pozwala na zdobycie dość obfitych informacji, i to niezależnie od tego, co tamta cywilizacja chciałaby nam sama o sobie powiedzieć. Kontakt za pośrednictwem sygnałów emitowanych celowo z zamiarem przekazania informacji wymaga odkodowania sygnału, co jest procedurą bardzo trudną i czasochłonną.

**Rozwiązanie zadania F 82**  
Ograniczmy się do jakościowego rozważania zachodzących procesów. Zauważmy najpierw, iż opory wolframowych żarówek w temperaturze pokojowej są około dziesięciokrotnie niższe niż w warunkach nominalnych. Zwróćmy również uwagę, że gdy na zimne, szeregowo połączone żarówki podamy napięcie, wtedy szybciej nagrzewać się będzie ta, której włókno ma mniejszy przekrój (dlaczego?).

W pierwszym przypadku włókno żarówki  $Z_2$  ulega stopieniu wcześniej niż opór żarówki  $Z_1$  zdąży wzrosnąć na tyle, aby obniżyć moc pobieraną przez  $Z_2$  i zabezpieczyć ją przed zniszczeniem.

W drugim przypadku włączenie  $Z_2$  do obwodu (poprzez otwarcie W) następuje przy dużym oporze  $Z_1$ . Żaróweczka od razu znajduje się w warunkach zbliżonych do swoich warunków nominalnych, świeci więc normalnie.



Rozwiązanie zadania M 243. Możliwy układ płci dzieci Smithów (starsze na pierwszym miejscu): chl.-chl., chl.-dz., dz.-chl.; a więc szukane prawdopodobieństwo wynosi 1/3. Dla Jonesów są tylko dwie możliwości: dz.-dz., dz.-chl. i odpowiednie prawdopodobieństwo jest równe 1/2.

Nadawcy takich sygnałów mogliby, w celu ułatwienia nam ich odczytania, nadawać je w taki sposób, aby skompensować efekty Dopplera związane z obrotem i ruchem orbitalnym ich planety. Uwolniliby to odbiorcę od śledzenia częstotliwości fali w zależności od czasu, lecz równocześnie uniemożliwiłoby zebranie niemal wszystkich podanych wyżej informacji. Jest więc rzeczą rozsądną poszukiwanie obydwu rodzajów sygnałów.

Na zakończenie należy dodać, że poszukiwanie sygnałów od innych cywilizacji odbywa się przy użyciu typowej aparatury radioastronomicznej, skonstruowanej na potrzeby zwykłych badań. Nie wiąże się więc z budową wielkich i kosztownych urządzeń specjalnych. Na definitywne wyniki trzeba będzie jednak poczekać jeszcze przynajmniej kilkanaście lat.

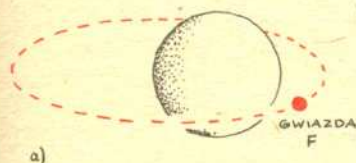
Jak widać, problem istnienia innych cywilizacji może być badany metodami ściśle naukowymi, zatem i w tej dziedzinie można łatwo odróżnić poważne projekty i wyniki od zwykłych oszustw, których bywaliśmy świadkami.

(Na podstawie artykułu :W.T. Sullivan III, S. Brown, C. Wetherill-Eavesdropping: The radio-signature of the Earth, Science 199, 377 (1978) opracował A. Krasinski)

## Patrz w niebo

Oprócz znanych nam z zeszłej jesieni i zimy gwiazdozbiorów Perseusza i Byka w listopadzie góruje również Woźnica (*Auriga, Aur*) z bardzo jasną gwiazdą Capellą ( $\alpha Aur$ ), szóstą co do jasności gwiazdą na niebie. Obok tej jasnej, żółcistej gwiazdy znajduje się dużo słabsza ale nie mniej ciekawa gwiazdka —  $\epsilon Aur$ . Słowo „gwiazdka” nie jest może najodpowiedniejsze w tym miejscu, albowiem  $\epsilon Aur$  była długo uważana za największą znaną nam gwiazdę we Wszechświecie. Dzisiaj już nie jesteśmy tego tak pewni. Jest to układ potrójny, jednak jedna z gwiazd jest bardzo oddalona od dwu pozostałych, które okrążają ich środek masy z okresem 9883 dni (27,06 lat). Nie byłoby w tym nic dziwnego, gdyby nie zbieg okoliczności, dzięki któremu jest to układ zaćmieniowy. Raz na 27 lat widoczna gwiazda jest zasłaniana przez niewidocznego towarzysza i jasność układu spada mniej więcej dwukrotnie. Najgłębsza faza zaćmienia trwa ponad rok (!) a spadek i wzrost jasności po prawie 200 dni. Najbliższe zaćmienie zacznie się 22 lipca 1982 a skończy 25 czerwca 1984. Układ odległy jest od nas o ok. 1 kpc. Jasna gwiazda jest 180 razy większa od Słońca i 60 tysięcy razy jaśniejsza. Jednak to jeszcze nic — składnik zaćmiewający, który bezpośrednio nie był nigdy obserwowany, miał mieć, m. in. według Kuipera, rozmiary 15 razy większe niż jasna gwiazda czyli 2700 razy większe niż średnica Słońca! Jego gęstość byłaby mniejsza niż bardzo dobra „próżnia techniczna”. Temperatura powierzchni powinna być niższa niż 1500 K, aby wytłumaczyć małą jasność w dziedzinie widzialnej. Skoro tak, to obiekt ten powinien być bardzo jasny w podczerwieni. Po wykonaniu odpowiednich pomiarów okazało się, że nie jest on wcale jaśniejszy w promieniach podczerwonych niż w widzialnych. Model niewidocznego supernadobryzma zaczął się powoli kruszyć. Proponowano inne, konkurencyjne modele, między innymi takie, jak na rysunku obok. Obecnie coraz większą liczbę zwolenników zyskuje model dysku utworzonego ze zjonizowanych gazów i otaczającego gorącą gwiazdę typu O lub B. Gwiazda ta może być dużo słabsza niż jasny towarzysz i przez to nie jest widoczna na widmach układu. Wydaje się, że dzięki tej hipotezie wytłumaczyliśmy wiele własności układu  $\epsilon Aur$ , jednak za cenę usunięcia go z pozycji lidera na liście gwiazd gigantów.

mgr Tomasz CHLEBOWSKI



Trzy modele dziwnego układu  $\epsilon Aur$ : a) model tradycyjny — gwiazda typu F jest zaćmiewana przez supergigantyczną podczerwoną gwiazdę; b) model otoczki — ciałem zaćmiewającym jest chmura gazu i pyłu otaczająca niewielką gwiazdę; c) gwiazdę F zaćmiewa cienki dysk widoczny przez nas z brzegu.

