

Rys. 1

O planetach z pierścieniami słyszeliśmy – w Układzie Słonecznym jest ich aż cztery, a Saturna z pierścieniami zapewne każdy widział. Okazuje się jednak, że pierścienie (czy dyski) wokół gwiazd są też obiektami bardzo często spotykanymi (pisaliśmy o tym w *Delcie* 8/1987). W bardzo nielicznych przypadkach te dyski, a właściwie bardzo rozległe płaskie obłoki pyłowe, są widoczne w podczerwieni, w ogromnej jednak większości są to małe dyski o rozmiarach niewiele większych niż sama gwiazda centralna, a o ich istnieniu dowiadujemy się na podstawie obserwacji spektroskopowych – i o tym trochę opowiemy.

Cała klasyfikacja widmowa gwiazd opiera się na wyglądzie ich widm absorpcyjnych. Doskonale tłumaczy je klasyczna teoria atmosfer gwiazdowych, według której – w ogromnym skrócie – ze światła fotosfery (o widmie ciągłym) przy przechodzeniu przez atmosferę wylapywane są fotony o pewnych wybranych częstościach, w wyniku czego w widmie objawia się ich brak, czyli linie absorpcyjne. Tymczasem w widmach wielu gwiazd obserwuje się też linie emisyjne. Pierwsze takie gwiazdy (typu B) zostały odkryte w 1886 r. przez A. Secchiego. W roku odkrycia znano ich zaledwie pięć, a w 1970 r. ukazał się katalog Wackerlinga zawierający ich już prawie 3000. Lista ta jest ciągle uzupełniana. Obiekty takie oznacza się symbolem Be, gdy stwierdzi się obecność linii emisyjnych wodoru, często w towarzystwie linii emisyjnych jednokrotnie zjonizowanych metali, głównie żelaza. Pewna liczba jaśniejszych gwiazd Be ma dodatkowo w swoim widmie wzbronione linie emisyjne. Nazywa się je dlatego niezwykłymi, osobliwymi i oznacza jako Bep (literka „p” pochodzi od angielskiego słowa *peculiar*, tzn. dziwny, osobliwy, szczególny). Jest ich jednak niewiele, natomiast szacuje się, że w ogóle gwiazdy Be stanowią 20 % wszystkich gwiazd typu B, przy czym najczęściej ich występuje w typach B2 – B3. Obecność linii emisyjnych coraz częściej zauważa się u gwiazd każdego właściwie typu widmowego. Co więcej, obserwuje się również podwójne linie emisyjne.



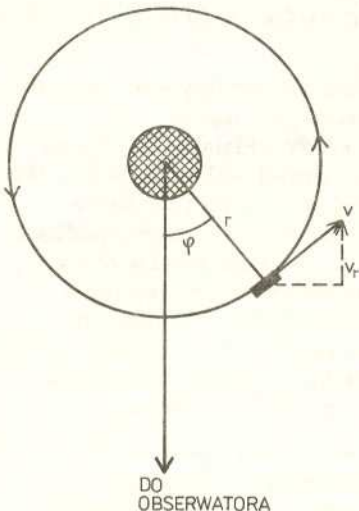
**Harmonia** była uznana przez pitagorejczyków za najważniejszą i najciekawszą własność świata.

Przez harmonię rozumieli oni coś, co powoduje, że najróżniejsze zjawiska tak materialne, jak intelektualne lub duchowe składają się na stabilną całość zwaną Wszechświatem. Pitagorejczycy wierzyli, że to, co dziś nazywamy matematyką, najlepiej może wyrazić harmonię świata.

Dziś harmonia kojarzy się nam ze współbrzmieniem, z estetyką, z pięknem. Nie jest to w żadnej sprzeczności z poglądami pitagorejczyków. Jednym ze sposobów obejrzenia, jak dalece piękno bliskie jest matematyce, jest graficzne przedstawienie rozwiązań matematycznych równań i nierówności.

Na następnych stronach przedstawiamy wykonane przez Klub Komputerowy Zespołu Szkół Elektrycznych w Zamościu pod kierunkiem nauczyciela, **Eugeniusza Jakubasa** wykresy rozwiązań czterech dość skomplikowanych nierówności trygonometrycznych. Oczywiście, wykonać taki wykres może jedynie komputer. Dla tych, którzy mają dostęp do komputera, podajemy też program w PASCALu, który był użyty do uzyskania wykresów. Fragmenty, które mogą różnie wyglądać dla różnych komputerów, wydrukowaliśmy kursywą. Dla języka Turbo Pascal na komputerach IBM PC należy je zastąpić następującymi instrukcjami:

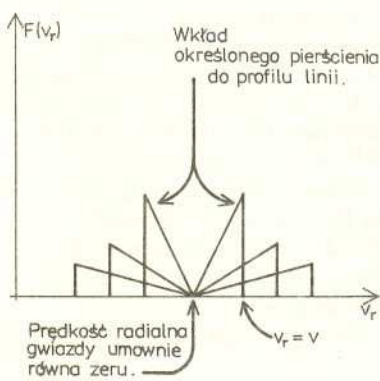
```
Użyj: uses CRT, GRAPH; var x, y, sx, sy: real; var
Driver, Mode: integer;
Zacznij: Driver := Detect; InitGraph(Driver, Mode,
''); SetBkColor(0); SetColor(7); ClearDevice;
RysujPunkt: PutPixel Jak: 7
Poczekaj: repeat until KeyPressed; CloseGraph;
```



Rys. 2

Teorię tłumaczącą obecność charakterystycznych podwójnych linii emisyjnych w widmach gwiazd Be zaproponował w 1931 r. Otto Struve. Jak łatwo domyśleć się na podstawie tytułu artykułu, teoria ta przyjmuje właśnie istnienie gazowego dysku obracającego się wokół centralnej gwiazdy. Według modelu Struwego gwiazda byłaby zanurzona w otoczce rozciągniętej w jej płaszczyźnie równikowej. Taki dysk jest jonizowany przez promieniowanie nadfioletowe centralnej gwiazdy (temperatura powierzchniowa gwiazd typu B jest rzędu 20 000 K, a zatem maksimum energii przypada na fale 0,15  $\mu\text{m}$ , czyli bliski nadfiolet) i w procesie rekombinacji wysiewa następnie kwanty odpowiadające liniom emisyjnym. Taka interpretacja wymaga dysków o promieniach 5 – 15 promieni gwiazdy centralnej i gęstości  $10^{10} - 10^{12}$  atomów/ $\text{cm}^3$ .

Skoro zapostulowano istnienie dysku wokół gwiazdy, to rozdwojenie linii jest zrozumiałe: przy odpowiednim ustawieniu względem kierunku widzenia jedna część rotującego dysku oddala się od obserwatora, a druga zbliża – wtedy efekt Dopplera powoduje owo rozdwojenie. Przyjęty tu model umożliwia jednak ponadto odtworzenie całego profilu rozdwojonej linii (profil to przebieg zależności natężenia promieniowania od częstości w obrębie linii). Wyobraźmy sobie więc, że obserwator jest w płaszczyźnie dysku i że ruch cząstek dysku odbywa się według praw Keplera. Prędkość na orbicie kołowej o promieniu  $r$  wynosi wtedy  $v = \sqrt{GM/r}$ , gdzie  $G$  oznacza stałą grawitacji, a  $M$  masę gwiazdy. Jeżeli kąt pozycyjny, liczony w płaszczyźnie dysku, oznaczyć przez  $\phi$ , to prędkość radialna cząstki w tym miejscu wyniesie  $v_r = v \sin \phi$  (rys. 2). Natężenie światła zależy – jak powiedzieliśmy – od jego częstości, a więc pośrednio od prędkości radialnej, czyli  $F(v_r)$ . Wytnijmy z całego dysku cienki pierścień, którego jednostka długości świeci z mocą  $F_0$ . Mały element długości tego pierścienia będzie tym jaskrawszy, im więcej jego atomów ustawi się wzdłuż linii widzenia (przyjmujemy tu następane założenie, że dysk jest przezroczysty), jego wkład do natężenia światła będzie zatem proporcjonalny do  $F_0 |\sin \phi| = F_0 |v_r|/v \sim F_0 |v_r| \sqrt{r}$ . Należy tu, oczywiście, pamiętać, że zależność ta jest spełniona tylko dla  $|v_r| \leq v$ , zaś dla  $|v_r| > v$  pierścień już nie istnieje i wkład do jasności linii jest zerowy (zerowanie się natężenia przy  $v_r = 0$  wynika tylko z niedoskonałości modelu). Dla ustalonego  $r$  pierścień daje więc profil linii składający się z dwóch symetrycznych zębów. Profil ostateczny będzie sumą (w sensie sumowania natężeń) takich symetrycznych zębów dawanych przez poszczególne pierścienie, przy czym wkład pierścienia mniejszego będzie mniejszy (bo mniej w nim jest świecących atomów), za to obejmujący większy zakres prędkości radialnych (bo mniejszy pierścień obraca się szybciej) – patrz rysunek 3. Zauważmy, że doszło tu jeszcze jedno założenie, iż cały dysk wszędzie świeci z tą samą mocą. Widzimy teraz, jak bardzo uproszczony jest ten nasz model, a mimo to – jak się okazuje – niezłe zgadza się z rzeczywistością. Przyroda jest jednak bardziej skomplikowana i z pewnością nie trzyma się ściśle poczynionych tu założeń, za to ten sam model może pasować do przezroczystych dysków bez względu na to, czy są to, jak w tym artykule, fragmenty otoczek gwiazd Be, czy dysków akrecyjnych wokół czarnych dziur.



Rys. 3

```

program motyl;
  Użyj
begin
  Zaczynij
  sx := 80; sy := 27; x := -127/sx;
  while x < 126/sx do
  begin x := x+1/sx; y := -95/sy;
  while y < 95/sy do
  begin y := y+1/sy;
  if sin(y/(x*sin(y))+x/(y*cos(x))) < 0
  then RysujPunkt(round(x*sx)+128,
                  round(y*sy)+95,
                  Jak);
  end;
  end;
  end;
  Poczekaj
end.

```

