

Polowanie na pulsary

Mgr Joanna

UDALSKA



Rozwiązanie zadania M 550.

Równanie spełnia funkcja równa tożsamościowo zero. Założmy, że f nie jest taką funkcją. Wtedy dla każdego punktu mamy $f(x) \neq 0$. Istotnie, jeśli lewa strona równa się zero, to $f(x_0) = 0$ lub $f(y_0) = 0$. Wtedy jednak $f(x_0)f(y) = 0$ dla każdego y lub $f(x)f(y_0) = 0$ dla każdego x . Zatem zbiór zer lewej strony składa się z prostych równoległych do jednej z osi układu współrzędnych. Podobna analiza pokazuje, że zera prawej strony tworzą zbiór prostych równoległych do jednej z prostych: $x = y$, $x = -y$. To jest jednak możliwe tylko dla funkcji zerowej.

Funkcja f jest ciągła, zatem jest stałe dodatnia lub stałe ujemna.

Można teraz zdefiniować

$$h(x) = \log |f(x)|.$$

Mamy

$$h(x) + h(y) = h\left(\frac{x-y}{\sqrt{2}}\right) + h\left(\frac{x+y}{\sqrt{2}}\right).$$

skąd różniczkując względem x otrzymujemy

$$h'(x) = \frac{1}{\sqrt{2}}h'\left(\frac{x-y}{\sqrt{2}}\right) + \frac{1}{\sqrt{2}}h'\left(\frac{x+y}{\sqrt{2}}\right).$$

Różniczkując teraz względem y otrzymujemy

$$0 = -\frac{1}{2}h''\left(\frac{x-y}{\sqrt{2}}\right) + \frac{1}{2}h''\left(\frac{x+y}{\sqrt{2}}\right);$$

podstawiając $x = y$ otrzymujemy $h'' = \text{const}$, czyli h jest wielomianem drugiego stopnia, a ponieważ $h'(0) = 0$ na mocy (*), więc $h(x) = ax^2 + b$.

Ostatecznie

$$\log |f(x)| = ax^2 + b,$$

skąd

$$f(x) = C \cdot e^{ax^2}.$$

W listopadzie 1967 roku Jocelyn Bell z Cambridge University odkryła tajemniczy ślad w obrazie radiowym pewnego obszaru nieba. Jego niecodziennosc polegała na tym, że w odróżnieniu od innych, znanych źródeł radiowych składał się z serii niesłychanie krótkich, regularnych pulsów. Początkowo astronomowie dość sceptycznie potraktowali to odkrycie przypuszczając, że tego rodzaju pulsy mogą być tzw. efektem instrumentalnym (np. wynikiem interferencji). Na wszelki wypadek nie zaniechano jednak dalszych obserwacji. Dość niespodziewanie okazało się, że podczas kolejnych nocy coraz bardziej intrygujące źródło zajmowało tę samą pozycję na niebie. Powoli przestawał budzić wątpliwości fakt jego rzeczywistego istnienia. Potwierdzana przez każdą obserwację niewiarygodna wprost regularność pulsów, niezwykle krótki czas ich trwania i okres powtarzalności doprowadziły do powstania szalenie ekscytującej hipotezy, zgodnie z którą pulsy miałyby pochodzić od jakiejś odległej cywilizacji. W związku z tym źródło zostało nazwane LGM (od angielskiego *Little Green Men* – zielone ludziki). Żywot hipotezy i związanej z nią nazwy był jednak krótki, bowiem zaledwie w ciągu kilku tygodni odkryto w innych obszarach nieba podobne źródła, pulsujące z różnymi okresami. Na dobre uwierzono, że są to obiekty naturalne, wkrótce też nadano im bardziej odpowiadającą rzeczywistości nazwę – pulsary (od angielskiego *pulsing star*).

Ta nazwa już na zawsze przygłęła do źródeł milisekundowych pulsów, choć nie należy jej kojarzyć z pulsacjami gwiazd. Zważywszy, że okresy pulsarów zawierają się w przedziale od 0,033 s do 3,75 s, nie sposób sobie wyobrazić, aby gwiazdy mogły zmieniać jasność pulsując w tak zawrotnym tempie. Nie jest również możliwe, aby źródłem obserwowanych pulsów był szybki obrót normalnych gwiazd o nierównomiernym rozkładzie jasności powierzchniowej, bowiem uległyby one rozerwaniu pod naporem gigantycznych sił odśrodkowych. Trzydziestu obrotów na sekundę nie wytrzymałby nawet biały karzeł, znacznie mocniej związany siłą grawitacji. Tego rodzaju rozważania teoretyczne wskazały na konieczność poszukiwania pulsarów wśród znacznie bardziej „egzotycznych” obiektów niebieskich.

W czasach odkrycia pierwszego pulsara teoretycznie przewidywano już możliwość istnienia obiektów obdarzonych jeszcze silniejszymi, niż w przypadku białych karłów, potencjalami grawitacyjnymi – gwiazd neutronowych. Nawet proste rozważania dotyczące równoważenia się siły grawitacji i siły odśrodkowej prowadzą do wniosku, że silnie związana struktura gwiazdy neutronowej nie ulega zaburzeniom pod wpływem tak szybkiego obrotu. W tym względzie gwiazdy neutronowe spełniały więc warunki kandydatów na pulsary. Pozostała do wyjaśnienia przyczyna nierównomiernego rozkładu ich jasności powierzchniowych. W powszechnie akceptowanym obecnie modelu pulsarów za nierównomierny rozkład ich jasności w głównej mierze odpowiedzialne jest bardzo silne pole magnetyczne. Czastki wystrzelwane z gorącej plamy pod biegunem magnetycznym wylatują w przybliżeniu wzdłuż linii pola magnetycznego promieniując w wyniku tzw. zjawiska synchrotronowego. W rezultacie promieniowanie to emitowane jest również średnio w kierunku osi pola magnetycznego. Wzajemne nachylenie osi magnetycznej i osi obrotu sprawia, że wiązka promieniowania pulsara omiata określone obszary nieba niczym światło latarni morskiej.

Już w końcu 1968 roku teoria istnienia tak niezwyklej obiektów znalazła wspaniałe potwierdzenie w obserwacjach, kiedy to odkryto pulsara w centrum Mgławicy Krab – jednej z najbardziej znanych pozostałości po wybuchach gwiazd supernowych. Aby w pełni docenić wartość tego odkrycia, należy pamiętać, że zgodnie z rozważaniami teoretycznymi gwiazdy neutronowe powstają w wyniku wybuchu supernowych. Zaobserwowanie pulsara w Mgławicy Krab potwierdziło więc z jednej strony słuszność modeli ewolucyjnych, z drugiej zaś fakt, że pulsary są szybko rotującymi gwiazdami neutronowymi.



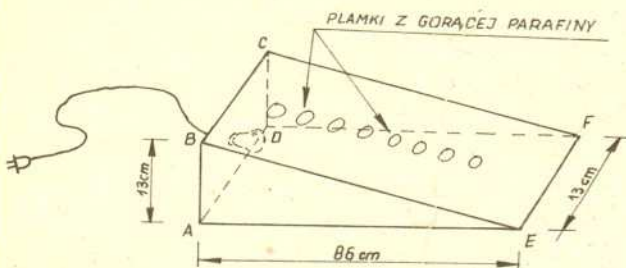
Rzecz jasna, jeden tego typu przypadek nie usatysfakcjonował jeszcze w pełni astronomów. Od ponad dwudziestu lat pilnie wypatrują oni pulsarów w pozostałościach po wybuchach gwiazd supernowych. Każde takie odkrycie przyczynia się bowiem do ugruntowania istniejących teorii. Tymczasem wyniki obserwacji wprawiają w lekkie zakłopotanie. Spośród ponad trzystu pulsarów, odkrytych od 1968 roku, zaledwie o kilku można powiedzieć, że ponad wszelką wątpliwość znajdują się w pozostałościach po wybuchu gwiazdy supernowej. Co gorsza, na ogół w tych pozostałościach nie zaobserwowano pulsarów. W pewnym stopniu teorię ratują dane dotyczące warunków, w jakich następuje eksplozja gwiazdy supernowej. Gigantyczna energia przekazana pulsarowi podczas wybuchu może prowadzić do znacznego oddalenia się go od reszty mgławicy. Ponadto żywot mgławicy, ulegającej nieustannemu rozpraszaniu, jest stosunkowo krótki, a więc w okolicach odpowiednio starych pulsarów obłoki powstające podczas eksplozji supernowej zdążyły już zniknąć. Wielu pulsarów istniejących zapewne w pozostałościach po wybuchach supernowych po prostu nie mamy szansy odkryć. Niekorzystne z punktu widzenia naszych obserwacji ustawienie ich osi magnetycznych sprawia, że wiązka wysyłanego przez nie promieniowania w ogóle do nas nie dociera.

Wszystkie te argumenty nie zmieniają jednak faktu, że dla pełnego potwierdzenia teorii przydałoby się więcej nie budzących zastrzeżeń odkryć pulsarów w pozostałościach po wybuchach gwiazd supernowych. Nic więc dziwnego, że wraz z odkryciem supernowej w Wielkim Obłoku Magellana (SN 1987A) zrodziły się nadzieje na zaobserwowanie związanego z nią pulsara. Blisko dwa lata nie pozbawionych emocji oczekiwań nie przynosiły pozytywnego rozstrzygnięcia. Silne promieniowanie gęstej, młodej mgławicy skutecznie uniemożliwiali dostrzeżenie jakiegokolwiek śladu. I wreszcie w lutym bieżącego roku poszły w świat pierwsze doniesienia o dokonaniu tego jakże oczekiwanego odkrycia. W obserwacjach przeprowadzonych 18 stycznia 1989 r. w chilijskim obserwatorium Cerro Tololo dostrzeżono 0,5-milisekundowe pulsy pochodzące najprawdopodobniej od młodego pulsara powstałego podczas wybuchu SN 1987A. O ile dalsze obserwacje potwierdzą rzeczywiste istnienie pulsara, będzie to z pewnością jedno z najbardziej znaczących odkryć ostatnich kilku lat. Na ostateczne rozstrzygnięcie musimy jednak jeszcze trochę poczekać.

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

KORESPONDENCYJNY KLUB FIZYKÓW

1. Budujemy fotometr. Jest to przyrząd, który po wycechowaniu pozwoli nam mierzyć oświetlenie. Wykorzystamy przy tym zjawisko zanikania tłustej plamy na kartce papieru oświetlonej z dwóch stron w sytuacji, gdy oświetlenia po obu stronach są jednakowe. Zróbmy drewniane (w ostateczności może być i kartonowe) pudełko zgodnie z rysunkiem. Podano na nim przykładowe wymiary dobrane do 40-watowej żarówki, zamocowanej w miejscu wskazanym na rysunku.



Wnętrze pudełka malujemy na biało lub wykładamy białym kartonem, aby światło dobrze się rozpraszało. Ściankę $BCEF$ stanowi biały papier, na który nanosimy 10 - 12 plamek za pomocą rozgrzanej parafiny. Pomiar oświetlenia w danym miejscu przez zewnętrzne źródło światła, polega na ustawieniu

w tym miejscu ścianki z plamkami naszego przyrządu przy zapalanej żarówce wewnętrznej i zaobserwowanie, która plamka jest niewidoczna. W tej sytuacji jedna z plamek sąsiadujących będzie jaśniejsza, a druga ciemniejsza od papieru, na którym są zrobione. Pozostaje, oczywiście, problem wycechowania przyrządu. Jest to właśnie treścią drugiego zadania.

2. Zaproponuj sposób wycechowania opisanego przyrządu. Możesz to zrobić, nawet jeżeli nie zbudowałeś go sam, a opierasz się tylko na podanym opisie. Zwróć szczególną uwagę na dokładność, jaką można osiągnąć przy cechowaniu.

3. Zaproponuj ciekawe doświadczenia, jakie można zrobić za pomocą takiego fotometru.

4. Zadanie rachunkowe:

W rakiacie poruszającej się z przyspieszeniem $5g$ ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) wyznaczono okres wahań wahadła matematycznego (w dobrym przybliżeniu kulka na sznurku) o długości 10 cm. Ile wynosi okres wahań?

Redaguje doc. dr Tomasz HOFMOKL

Listy prosimy przysyłać pod adresem:
Korespondencyjny Klub Fizyków,
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego,
ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa.