



## OLIMPIADA

## errata

W tekście zadania 6 zawodów pierwszego stopnia LVII Olimpiady Matematycznej (patrz np. *Delta* 9/2005, str. vii) jest błąd.

W trzecim wierszu tekstu zamiast

odcinki  $AB$  i  $BC$

powinno być

odcinki  $AC$  i  $BC$ .

Za omyłkę przepraszamy.

*Komitet Główny OM*

Komputery zajmują we współczesnej astronomii bardzo ważne miejsce. Można nawet śmiało powiedzieć, że nowoczesna astronomia nie mogłaby istnieć bez komputerów. Sterują one pracą teleskopów, automatycznie zbierając i analizując dane, obliczają położenia obiektów w Układzie Słonecznym, umożliwiają przeprowadzanie złożonych symulacji numerycznych oraz skomplikowanych obliczeń teoretycznych. Tylko dzięki nim możliwe są loty kosmiczne, a więc również bezpośrednia eksploracja Kosmosu. Już od jakiegoś czasu komputery stały się codziennym narzędziem pracy praktycznie wszystkich astronomów. Warto zaznaczyć, że przydatność komputerów w astrofizyce wynika nie tylko z możliwości wykorzystywania ich procesorów i pamięci RAM do prowadzenia różnego rodzaju obliczeń, ale także z faktu, że bardzo pojemne dyski twarde współczesnych komputerów stwarzają ogromne możliwości archiwizacji danych pomiarowych i uzyskanych wyników. Nigdy wcześniej astronomowie nie dysponowali takimi możliwościami. Niektóre zagadnienia zostały rozwiązane dopiero po masowym wprowadzeniu komputerów do placówek astronomicznych. Przykładem może tu być nowoczesna kosmologia, która w większości opiera się na wynikach pracy komputerów.

Rola komputerów w astrofizyce jest szczególnie dobrze widoczna w przypadku masowych programów obserwacyjnych. Przykładami takich programów są nasze rodzime projekty OGLE i ASAS, jak również międzynarodowy projekt MACHO. OGLE (skrót od *Optical Gravitational Lensing Experiment*) polega na przeglądaniu pewnych obszarów nieba, na przykład centralnego zgrubienia Galaktyki i Obłoków Magellana, w celu wykrycia jak największej liczby zjawisk mikrosoczewkowania grawitacyjnego. Nazwa mikrosoczewkowanie grawitacyjne została wprowadzona do fizyki w celu wyróżnienia pewnej klasy zjawisk soczewkowania grawitacyjnego.

W klasycznym soczewkowaniu grawitacyjnym obserwowany obiekt, na ogół odległa galaktyka, widoczny jest w postaci kilku obrazów, których rozmieszczenie na niebie zależy od geometrii problemu. Przykładem takiego zjawiska może być soczewka Huchry, która także jest obserwowana przez zespół OGLE. Podczas mikrosoczewkowania grawitacyjnego obiektem soczewkowanym jest na ogół pojedyncza gwiazda, nie mamy także do czynienia z serią oddzielnych obrazów, a raczej ze wzmocnieniem strumienia promieniowania docierającego od obserwowanego obiektu do obserwatora. Kolejną wyraźną różnicą jest czas trwania zjawiska. W przypadku mikrosoczewkowania jest on rzędu dni, tygodni lub miesięcy, tak więc jak na zjawisko astronomiczne trwa ono bardzo krótko. Jest tak dlatego, że zaistnienie takiego zjawiska wymaga odpowiedniej konfiguracji geometrycznej trzech obiektów, a więc Ziemi, soczewkowanej gwiazdy oraz niewidocznej masy odgrywającej rolę soczewki.

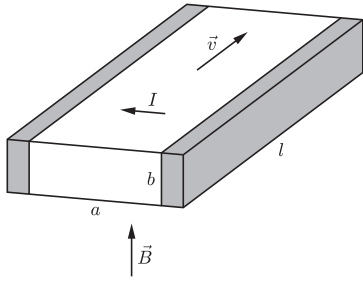
Zarówno soczewkowana gwiazda, jak i niewidoczny obiekt soczewkujący mają na ogół dość duże prędkości względem Ziemi przy stosunkowo małych odległościach. Skutkuje to szybką zmianą wzajemnego położenia obiektów i sprawia, że okoliczności sprzyjające zaobserwowaniu zjawiska mikrosoczewkowania trwają krótko. Z uwagi na fakt, że jednym z ważnych parametrów jest tu masa niewidocznego obiektu soczewkującego, obserwowanie zjawisk mikrosoczewkowania i ich analiza statystyczna mogą dostarczać informacji na temat rozkładu części ciemnej materii w Galaktyce – obiektów małych, masywnych, ale niewidocznych, które dają o sobie znać jedynie poprzez wzmocnianie światła odległych gwiazd. Z powodu względnej rzadkości występowania tego zjawiska w celu wykrycia znaczącej ilości przypadków należy w sposób ciągły prowadzić obserwacje rozległych obszarów nieba. Podczas całego procesu analizowane są miliony gwiazd. Oczywiście trudno sobie wyobrazić funkcjonowanie projektu takiego jak OGLE bez nowoczesnych komputerów. To samo dotyczy również innych wspomnianych wyżej projektów, zwłaszcza projektu ASAS (*All Sky Automated Survey*). ASAS, w przeciwieństwie

\* Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Warszawskiego



### Rozwiązanie zadania F 655.

Niech  $\sigma$  oznacza przewodność właściwą płynu,  $a$ ,  $b$  i  $l$  rozmiary pompy.



Opór elektryczny między przewodzącymi ściankami wynosi

$$R = \frac{a}{\sigma bl}$$

Na skutek ruchu przewodnika wytwarza się w nim siła elektromotoryczna równa  $Bva$ , więc z prawa Ohma natężenie prądu między ściankami wynosi

$$I = \frac{U - vBa}{R} = \frac{\sigma lbU}{a} - \sigma lvB$$

Siła działająca na całą objętość płynu jest więc równa

$$F = BIa = \sigma lbUB - \sigma labvB^2$$

a skuteczna moc

$$P_1 = Fv = \sigma labB^2 \left( \frac{U}{aB} - v \right) v$$

$P_1$  jest funkcją kwadratową prędkości i dla

$$v = \frac{U}{2aB}$$

przyjmuje wartość maksymalną

$$P_{\max} = UI = \frac{\sigma lbU^2}{4a}$$

Natężenie prądu  $I$  wynosi w tej sytuacji

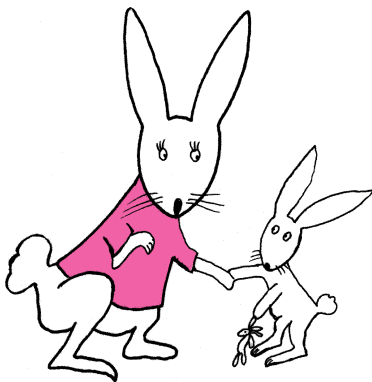
$$\frac{\sigma lbU}{2a}$$

a moc pobierana ze źródła prądu

$$P_2 = UI = \frac{\sigma lbU^2}{2a}$$

Sprawność urządzenia to

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_2} = \frac{1}{2}$$



do OGLE, wykorzystuje znacznie mniejsze, a w związku z tym także „szybsze” teleskopy. To pozwala temu projektowi przeglądać bardzo duże obszary nieba, a także analizować gwiazdy jasne, takie, które są zdecydowanie zbyt jasne dla dużego i czułego teleskopu OGLE. W przypadku OGLE praktycznie cały proces pozyskiwania danych jest zautomatyzowany i sterowany przez komputer, który naprowadza i odpowiednio ustawia teleskop, pobiera obraz w postaci cyfrowej, a następnie poddaje go obróbce, tworząc bazy danych. Komputer na bieżąco analizuje dane na temat dziesiątek tysięcy gwiazd i potrafi natychmiast wykryć i zareagować na charakterystyczne pojaśnienie obiektu, które w wyniku późniejszej analizy może okazać się przejawem mikrosoczewkowania. Komputer, pobierając i przetwarzając nowe obrazy, bezustannie powiększa bazy danych na temat wszystkich obiektów znajdujących się w danym obszarze nieba. Wielkości tych baz danych są rzędu terabajtów. Bez archiwizacyjnych możliwości, jakie dają komputery, tworzenie takich baz byłoby niemożliwe. Poza tym takie bazy danych zawierają ogromną ilość ciekawych informacji zupełnie niezwiązanych ze zjawiskiem mikrosoczewkowania grawitacyjnego, na przykład dane na temat setek tysięcy różnego rodzaju gwiazd zmiennych, innych układów planetarnych, a nawet kwazarów i supernowych. Analiza takich danych jest również przeprowadzana za pomocą komputera. Bez tej pomocy żaden zespół ludzi nie byłby, w stanie wykonać tego typu pracy.

Bardzo istotnym czynnikiem było także wprowadzenie do astrofizyki obserwacyjnej detektorów CCD, które wyparły klisze fotograficzne. Znacznie większa czułość tych elektronicznych urządzeń pozwala na osiągnięcie znacznie wyższej dokładności pomiarów. Detektory CCD są także znacznie wydajniejsze i umożliwiają znacznie szybszą pracę. Naukowcy nie muszą już czekać na wywołanie kliszy, dane w postaci cyfrowej są od razu przesyłane do komputera, gdzie podlegają natychmiastowej analizie i archiwizacji.

Dzięki elektronicznej, czyli duetowi komputer plus CCD, możliwe stało się powstanie tak zwanych Systemów Wczesnego Ostrzegania. Ich istota jest bardzo prosta. Skoro zautomatyzowany teleskop sterowany przez komputer jest w stanie na bieżąco redukować i analizować zbierane dane, to można go zaprogramować w taki sposób, aby sam identyfikował i koncentrował się na interesujących zjawiskach. O tego typu procesie wspomnieliśmy już wcześniej – podczas przeglądu nieba komputer potrafi w czasie rzeczywistym wykrywać zjawiska mikrosoczewkowania grawitacyjnego, nawet w bardzo wczesnym stadium. Jeżeli taki przypadek ma miejsce, komputer przede wszystkim informuje o tym obserwatora (stąd nazwa System Wczesnego Ostrzegania) i utrzymuje teleskop na danym obiekcie. Zapewnia to ciągłe zbieranie danych w najbardziej interesującej fazie zjawiska. Oczywiście, taki system nie jest doskonały i niejednokrotnie zdarzają się fałszywe alarmy. Poza tym kontynuowanie obserwacji może być niemożliwe z zupełnie innych, obiektywnych powodów. Dany obiekt może, na przykład, po prostu przestać być dobrze widoczny z miejsca, gdzie dokonywane są obserwacje.

Dochodzimy do momentu, w którym bardzo istotna staje się współpraca zespołów astronomów z różnych ośrodków rozsianych po całej Ziemi. Jeżeli ograniczymy się do pomiarów dokonywanych z powierzchni Ziemi, to tylko taka kooperacja umożliwi ciągłe, całodobowe zbieranie danych. Przykładem takiej współpracy jest zespół WET (*Whole Earth Telescope*), który koncentruje się głównie na pulsujących białych karłach i gwiazdach pulsujących typu  $\delta$  Scuti. W gwiazdach tego rodzaju wzbudzonych jest wiele modów oscylacji, a ich częstotliwości są rozmaite. Całodobowe obserwacje są w tym przypadku niezbędne do przeprowadzenia analizy fourierowskiej krzywych zmian blasku i identyfikacji poszczególnych modów. Problemy z Systemami Wczesnego Ostrzegania nie zmieniają jednak faktu, że wprowadzenie takiego systemu w projekcie OGLE wydatnie zwiększyło liczbę odkrywanych co roku przypadków mikrosoczewkowania. Wpłynęło to także na samą jakość danych.

Lepsze obsadzenie punktami pomiarowymi krzywej zmian blasku mikrosoczewki czyni ją znacznie bardziej przydatną do analizy i modelowania teoretycznego. Systemy Wczesnego Ostrzegania są używane także przy poszukiwaniu zupełnie innych obiektów i zjawisk, na przykład tranzytów planetarnych, gwiazd nowych, supernowych czy też tak zwanych rozbłysków gamma (*Gamma Ray Bursts*). W każdym z tych przypadków ich rola jest trudna do przecenienia, gdyż umożliwiają natychmiastową reakcję obserwatorów i koncentrację na poszukiwanym zjawisku, które trwa na ogół krótko. Zauważmy, że to właśnie zespół OGLE przedstawił nową metodę poszukiwania planet wokół innych gwiazd, tak zwaną metodę tranzytów planetarnych. Metoda ta, mierząca pociemnienie gwiazdy spowodowane przejściem jej planety na tle jej tarczy, pozwala wykrywać bardzo różnorodne planety, nie tylko duże i masywne.

Inną dziedziną astrofizyki, w której komputery stały się codziennym narzędziem pracy setek naukowców, jest mechanika nieba. Badając dokładnie ruch obiektów w Układzie Słonecznym, natykamy się często na problem niemożności analitycznego rozwiązania równań ruchu badanego obiektu. Jeżeli w równaniach tych uwzględnimy oddziaływania grawitacyjne wielu ciał, nasz Układ da się opisać jedynie w przybliżeniu, metodą obliczeń numerycznych. Wszelkie prognozy dotyczące przyszłych położenia różnych obiektów w Układzie Słonecznym bazują na wynikach obliczeń komputerowych. W mniej skomplikowanych przypadkach, dokonując odpowiednich przybliżeń, można oczywiście otrzymać wyniki z dość dobrą dokładnością bez użycia komputera, ale powoduje to drastyczny wzrost czasu obliczeń. To, co astronomowie w latach trzydziestych i czterdziestych XX wieku obliczali za pomocą suwaków logarymicznych przez cały miesiąc, współczesny komputer może obliczyć znacznie dokładniej w przeciągu kilku sekund. Trzeba tu jednak pamiętać, że wiele rozwiązań jest bardzo czułych na warunki początkowe, czyli na obserwacyjne dane dotyczące badanych obiektów. Dane te zawsze są obciążone pewną niedokładnością. Również komputer nieuchronnie wprowadza do obliczeń pewne niedokładności, na ogół jednak niewielkie. Natomiast sama czułość rozwiązań równań ruchu ciał w Układzie Słonecznym na warunki początkowe nie jest spowodowana zastosowaniem do obliczeń komputera. Jest cechą samych tych równań.

Komputery mają także ogromne znaczenie w astrofizyce teoretycznej. Używa się ich głównie do przeprowadzania różnego rodzaju symulacji, modelowania procesów astrofizycznych i numerycznego rozwiązywania równań. Zastosowanie komputera umożliwia, na przykład, stworzenie symulacji powstawania galaktyk czy też powstawania i ewolucji ramion spiralnych w samych galaktykach. Są to fundamentalne problemy kosmologiczne, których zrozumienie posunęłoby daleko do przodu współczesną naukę. Analizując wyniki takich symulacji, a następnie porównując je z dostępnymi danymi obserwacyjnymi, jesteśmy w stanie dowiedzieć się więcej o galaktykach, o ich powstawaniu i ewolucji. Symulacje hydrodynamiczne i magneto hydrodynamiczne pomagają nam zrozumieć nie tylko Wszechświat i galaktyki, ale również strukturę różnych rodzajów gwiazd. Kolejnym polem, na którym komputery doskonale się sprawdzają, jest modelowanie obiektów i procesów fizycznych zachodzących we Wszechświecie. Astronomowie modelują bardzo wiele obiektów – gwiazdy, układy podwójne lub wielokrotne gwiazd, galaktyki i gromady galaktyk. Modelowane są także konkretne zjawiska, jak na przykład akrecja materii z otoczki czerwonego olbrzyma na białego karła, z którym olbrzym ten tworzy układ podwójny. Modele

można weryfikować, porównując ich przewidywania z danymi obserwacyjnymi. Wiele z nich przeszło pomyślnie takie testy. Dość szeroko znanym modelem jest model Słońca, opisujący strukturę i różne parametry naszej gwiazdy. Istnieją także modele zupełnie innych rodzajów gwiazd, na przykład cefeid czy supernowych.

Z drugiej strony do dzisiaj nie udało się stworzyć dobrych modeli komputerowych, na przykład dwumodalnych gwiazd pulsujących typu RR Lyrae, a więc gwiazd pulsujących jednocześnie w dwóch pierwszych modach oscylacji radialnych. Bez względu jednak na wszystkie trudności modelowanie komputerowe jest w astrofizyce bardzo pożyteczne, gdyż odtwarzając znane własności modelowanych obiektów, pozwala również na przewidywanie ich nieznanymi cechami. To z kolei może być krokiem do lepszego zrozumienia badanych obiektów lub procesów.

Ostatnie odkrycia kosmologiczne, wykrycie różnorodnych planet poza Układem Słonecznym, praca i wyniki teleskopu kosmicznego Hubble'a i wiele innych – już teraz lista osiągnięć dokonanych za pomocą komputerów wygląda niezwykle okazale.