

# Co można zrobić z $10^{11}$ pomiarów?

Radostaw POLESKI\*

\* Obserwatorium Astronomiczne  
Uniwersytetu Warszawskiego

O G Ł O S Z E N I E

Hala Miziowa, Korbielów  
2–20 sierpnia 2009 roku



Zdjęcie: <http://hala.miziowa.pl/>

Już od 43 lat International Astronomical Youth Camp pomaga rozwijać pasję młodzieży zainteresowanej astronomią i naukami ścisłymi podczas corocznego, trzytygodniowego Międzynarodowego Młodzieżowego Obozu Astronomicznego. Na czym polega wyjątkowość IAYC? W kilku słowach, jako doświadczony obozowicz, powiem, że IAYC różni się od większości polskich obozów astronomicznych właśnie międzynarodowym charakterem oraz tym, że każdy uczestnik przez trzy tygodnie trwania obozu pracuje nad własnym projektem naukowym. O randze IAYC świadczy fakt, iż podczas trwania obozu powstał szereg nagradzanych projektów, również na Europejskim Konkursie Młodych Naukowców. Wielu spośród byłych uczestników i liderów IAYC wybrało profesjonalną karierę naukową, obecnie wykładają i pracują w CalTech, MIT, Cambridge, Oxford, Max-Planck-Institute, CERN, NASA, ESO – Garching, King's College in London i wielu innych.

Jeśli, Drogi Czytelniku, zastanawiasz się, co IAYC jest w stanie Ci zaoferować, zapewniam, że wybór projektów jest szeroki (od praktycznych prób zglębnienia tajników astrofotografii po zaawansowane symulacje komputerowe) i niezależnie od poziomu Twojej wiedzy znajdziesz coś dla siebie w jednej z 9 grup: Amateur Astronomy, Basic Astro Questions, Brainstorming on Life, Universe & Everything, Photons of Destiny, Quantum Computations, Simulating the Universe in Motion, Suns and Extrasolar Planets oraz Time Travel Team. A teraz wiadomość najważniejsza – obóz odbywa się co roku w innym kraju, a w tym roku organizatorzy mają przyjemność poinformować, że IAYC odbędzie się po raz pierwszy w Polsce! Chcesz wiedzieć więcej? Wszystkiego dowiesz się na

[www.iayc.org](http://www.iayc.org)

Juta KAWALEROWICZ

Od kilkunastu lat astronomowie z Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Warszawskiego (OAUW) pod kierunkiem prof. Andrzeja Udalskiego prowadzą projekt obserwacji mikrosoczewek grawitacyjnych zwany Optical Gravitational Lensing Experiment (OGLE). Soczewkę grawitacyjną można zaobserwować, gdy odległe źródło światła znajduje się na jednej linii widzenia z jakimś masywnym i bliższym nam obiektem. Zgodnie z ogólną teorią względności światło, biegnące od źródła, jest zakrzywiane w polu grawitacyjnym tego obiektu i pewien obszar nieba staje się jaśniejszy. Jeżeli ten obszar jest na tyle mały, że w największych teleskopach jest obserwowany jako punktowy, to zjawisko nazywamy mikrosoczewkowaniem grawitacyjnym. Jak Czytelnik się łatwo domyśla, prawdopodobieństwo zajścia takiego zjawiska jest bardzo małe. By mieć obserwacje wielu soczewek, trzeba obserwować te obszary nieba, w których gęstość gwiazd jest największa. W dodatku trzeba te obserwacje wykonywać dość często.

W ramach projektu OGLE obserwowane są: *bulge*, czyli centralne zgrubienie Galaktyki, oraz Mały i Wielki Obłok Magellana (w skrócie z angielskiego odpowiednio SMC i LMC). Pierwsze obserwacje zostały wykonane w roku 1992 jednometrowym teleskopem Swope w Obserwatorium Las Campanas w Chile. Dość szybko udało się osiągnąć sukces – pierwsze w historii obserwacje mikrosoczewkowania. Potrzeba było jednak więcej obserwacji, zbieranych najlepiej przez cały rok, i to było impulsem do budowy teleskopu specjalnie do tego programu. W roku 1996 rozpoczęto obserwacje nowym Teleskopem Warszawskim o średnicy 1,3 m w ramach drugiej fazy projektu OGLE. Wówczas kamera miała jeden chip CCD o rozmiarach 2048 na 2048 pikseli. Sześć lat później wraz z wymianą kamery na większą rozpoczęła się faza trzecia, a już niedługo będzie kolejna zmiana na jeszcze większą kamerę i rozpocznie się faza czwarta. Obecnie używana kamera ma 8 chipów CCD, każdy o rozmiarach 2048 na 4096 pikseli, a kolejna będzie miała takich chipów 32. Dodatkowe zwiększenie ilości danych będzie osiągnięte przez skrócenie czasu odczytywania z kamery zebranych danych. Obecnie trwa to około 90 s, a w przyszłości będzie dziesięć razy krótsze.

Z reguły teleskopy w profesjonalnej astronomii nie są przeznaczone wyłącznie do jednego projektu. Pozwala to różnym badaczom obserwować różne obiekty, co powinno przyczyniać się do lepszego wykorzystania dostępnego instrumentarium. W przypadku OGLE możliwość wykorzystania teleskopu podczas każdej pogodnej nocy, miejsce obserwacji o dobrym „astroklimacie” (a także to, że obserwacje prowadzone są wedle ściśle ustalonego schematu na sprzecz, który co kilka lat jest unowocześniany, a jego konfiguracja nie jest często zmieniana) pozwala zebrać dużą ilość jednorodnie otrzymywanych danych. Jest to bardzo ważne przy badaniu niektórych zjawisk astronomicznych. Do tej pory w ramach projektu m.in. odkryto pierwsze planety pozasłoneczne metodami mikrosoczewkowania grawitacyjnego i tranzytów (tj. obserwacji przesłaniania gwiazd przez planety), zaobserwowano mikrosoczewkowanie grawitacyjne w kierunku LMC i SMC, także przez układy podwójne, oraz stworzono mapy ekstynkcji międzygwiazdowej w kierunku centrum Galaktyki.

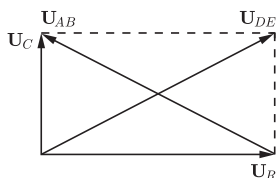
Bardzo duża liczba pomiarów umożliwiła także odkrycie i badanie wielu gwiazd zmiennych. Na podstawie danych OGLE II stworzono katalog gwiazd zmiennych zawierający 268 tysięcy obiektów (niestety, nie wszystkie z nich mają określony typ zmienności). Jest to największy istniejący obecnie katalog tego typu. Drugim co do wielkości jest General Catalogue of Variable Stars, tworzony od wielu lat w moskiewskim Instytucie Astronomicznym im. Sternberga. Wraz z dodatkami ma 68 tysięcy gwiazd, a dane w nim zawarte pochodzą nie z jednego programu obserwacyjnego, lecz ze wszystkich doniesień o odkryciu zmienności gwiazd, które ukazały się w publikacjach astronomicznych. Powoduje to dużą niejednorodność tego zbioru, co utrudnia statystyczne badanie cech gwiazd różnych typów.





### Rozwiązanie zadania F 737.

Na rysunku przedstawiony jest diagram wektorów napięć w tym obwodzie.



Zatem  $U_{DE} = U_C + U_R$  jest przekątną prostokąta na diagramie, o długości  $U_{DE} = |U_C + U_R| = 220 \text{ V}$ . Wektor napięcia między punktami  $A$  i  $B$  jest równy różnicy  $U_C - U_R$ , i przedstawia drugą przekątną na diagramie. Zatem wartość  $U_{AB} = U_{DE} = 220 \text{ V}$ . Napięcie to jest w fazie  $\phi$  względem napięcia wejściowego, gdzie

$$\phi = 2 \arctg \frac{U_C}{U_R} = 2 \arctg \frac{1}{\omega C R}.$$

Trzeci na liście największych z 50. tysiącami obiektów jest katalog stworzony na podstawie danych z All Sky Automated Survey (patrz *Delta* 07/2007), który jest prowadzony przez Grzegorza Pojmańskiego z OAUW.

Obecnie członkowie projektu OGLE pracują nad swego rodzaju podsumowaniem dotychczasowych obserwacji – stworzeniem katalogu gwiazd zmiennych OGLE-III, który według obecnych oszacowań ma zawierać około miliona obiektów. Zadanie wydaje się dość ambitne ze względu na ilość danych do przeanalizowania. Do tej pory, na podstawie ponad 200 000 zdjęć nieba, wykonano  $10^{11}$  pojedynczych pomiarów fotometrycznych dla około 200 milionów gwiazd. Dane zajmują około 25 TB miejsca na dyskach. Gdyby je skopiować na płyty CD, to byłoby ich około 36 000. Gdyby te płyty układać jedna na drugiej, mielibyśmy wieżę wysokości 40 m! Ilość danych ma dwa podstawowe aspekty. Po pierwsze, pozwala na badanie właściwości wielu różnych typów gwiazd zmiennych i to zarówno pod kątem statystycznych własności tych obiektów, jak i wyszukiwania obiektów bardzo nietypowych, czasem stanowiących rodzaj „brakującego ogniwa”. Po drugie, pojawiają się poważne problemy techniczne – nawet prosta analiza zajmuje szybkim komputerem dość dużo czasu, a przechowywanie danych i ich kopii zapasowych wymaga specjalnych starań.

Przy tworzeniu katalogu podstawową kwestią jest wyznaczenie okresów zmienności gwiazd. Nie wszystkie gwiazdy zmieniające swoją jasność robią to w sposób ściśle periodyczny, więc i wyniki poszukiwania okresów nie dają zawsze jasnych i od razu zrozumiałych odpowiedzi. Przy badaniu pulsacji dość dużo można wywnioskować z diagramu okres-jasność absolutna. Jeżeli analizujemy tylko gwiazdy z jednej galaktyki lub gromady, to jasność absolutną możemy zastąpić przez jasność obserwowaną, gdyż wszystkie gwiazdy w danym obiekcie znajdują się właściwie w tej samej odległości od nas. Ale w rzeczywistości mamy z reguły dane dla gwiazd, które są obserwowane w określonym obszarze nieba i nie możemy a priori odróżnić gwiazd z danej galaktyki czy gromady od innych obserwowanych w tym samym kierunku.

Zastanówmy się chwilę nad diagramem okres-jasność dla cefeid z LMC. Ogólnie w przypadku gwiazd pulsujących można powiedzieć, że obiekty, których pulsacje są wywoływane przez ten sam mechanizm, leżałyby na tym diagramie w przybliżeniu na linii prostej. Odwrotne stwierdzenie nie musi być oczywiście prawdziwe. Przykładowo, punkty diagramu odpowiadające zmiennym typu RR Lyr z Galaktyki mogą pokrywać się z punktami odpowiadającymi krótkookresowym cefeidom z LMC (gwiazdy RR Lyr są jaśniejsze niż cefeidy, jeżeli mają te same okresy i są w tej samej odległości). Można na tej podstawie wysnuć wnioski dotyczące metody klasyfikacji gwiazd pulsujących. Wystarczy wybrać gwiazdy położone w pobliżu odpowiedniej prostej i już mamy próbkę gwiazd zawierającą żądane obiekty. Następnie trzeba z tej próbki odrzucić obiekty, których zmienność ma inne przyczyny. Krok ten bywa czasem pomijany, co może prowadzić do błędnych wyników. Przy tworzeniu katalogu gwiazd zmiennych OGLE-III wszystkie obiekty będą przeglądane przez człowieka. Takie przeglądanie jest nużące, a wykonanie go dla miliona (tak!) gwiazd będzie samo w sobie wyzwaniem. Przy hurtowej weryfikacji na jeden obiekt poświęca się z reguły parę sekund. Część obiektów będzie przeglądana wielokrotnie. Warto się więc zastanowić, czy ma to sens.

Spotykamy też różne niespodzianki. Pewna gwiazda, która w danych OGLE-III wykazuje zmienność z okresem 7,7905 dni, ma też jasność średnią odpowiednią dla cefeidy z LMC. Dla centralnych obszarów bulge'u, LMC i SMC dostępne są także dane OGLE-II. Po połączeniu danych z obu części projektu okazało się, że zmiany z okresem około 7 dni u tej gwiazdy zachodzą, ale mamy do tego wyraźne jej wyjaśnienie i następnie trwający tysiące dni spadek jasności. Nie tylko okazało się więc, że obiekt ten nie jest cefeidą, ale wydaje się, że tego typu zmienność u innych gwiazd jest nieznaną. Autorowi nie udało się znaleźć podobnych krzywych w atlasie krzywych zmian blasku gwiazd zmiennych. Być może mamy do czynienia z jakimś przypadkowym nałożeniem się różnych typów zmian, które nie są bezpośrednio związane, a być może w przyszłości znajdzie się więcej podobnych obiektów i będzie można mówić o nowym



### Rozwiązanie zadania M 1237.

Daną nierówność możemy przepisać w postaci

$$\frac{mn}{(m, n)} + \frac{(m+1)(n+1)}{(m+1, n+1)} > \frac{2mn}{\sqrt{m-n}},$$

gdzie  $(k, l)$  oznacza największy wspólny dzielnik liczb  $k, l$ . Oznaczmy  $a = (m, n)$ ,  $b = (m+1, n+1)$ .

Korzystając z nierówności między średnią arytmetyczną a geometryczną, uzyskujemy

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \left( \frac{mn}{a} + \frac{(m+1)(n+1)}{b} \right) &\geq \\ &\geq \sqrt{\frac{mn(m+1)(n+1)}{ab}} > \frac{mn}{\sqrt{ab}}. \end{aligned}$$

Zauważmy, że różnica dwóch liczb całkowitych jest podzielna przez ich największy wspólny dzielnik. Zatem liczba  $m - n$  jest podzielna zarówno przez  $a$ , jak i przez  $b$ . Ponadto liczby  $a, b$  są względnie pierwsze, gdyż jedna jest dzielnikiem liczby  $m$ , a druga liczby  $m + 1$ . Wobec tego liczba  $m - n$  jest podzielna przez  $ab$ , skąd w szczególności wynika, że  $m - n \geq ab$ . Stąd oraz z uzyskanej wyżej nierówności dostajemy tezę.



### Rozwiązanie zadania M 1238.

Oznaczmy dane trójmiany przez  $f(x)$ ,  $g(x)$ ,  $h(x)$  oraz niech  $a > b > c$  będą odpowiednio ich współczynnikami stojącymi przy  $x^2$ . Wówczas  $f(x) - g(x)$  jest trójmianem kwadratowym, który ma dokładnie jeden pierwiastek, a zatem  $f(x) - g(x) = (a - b)(x - x_1)^2$ . Wobec tego dla dowolnej liczby rzeczywistej  $x$  mamy  $f(x) \geq g(x)$ . Analogicznie dowodzimy, że  $g(x) \geq h(x)$ . Ale ponieważ istnieje taka liczba  $x_0$ , że  $f(x_0) = h(x_0)$ , to wartości wszystkich trzech trójmianów w punkcie  $x_0$  muszą być równe. Stąd teza.

wydzielonym typie zmienności. Bez przeglądania gołym okiem krzywych zmian blasku trudno by było tak nietypową gwiazdę wykryć.

Wspomniane wcześniej liczenie okresów też nie jest prostym zadaniem. Ilość danych jest na tyle duża, że obliczenia dla 35 milionów gwiazd z LMC zajęły superkomputerom z Interdyscyplinarnego Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego UW dwa tygodnie. Strach pomyśleć, że w centralnym zgrubieniu Galaktyki gwiazd jest kilkakrotnie więcej, co dostarcza więcej obserwacji. Nie trzeba chyba tłumaczyć, że takie obliczenia na zwykłym komputerze trwałyby zbyt długo – prawdopodobnie całe lata. Zanim zostałyby ukończone, zebrano by olbrzymią ilość nowych pomiarów i wyniki uzyskane z obliczeń trwających lata byłyby mało użyteczne.

Obecnie zdjęcia zrobione przez Teleskop Warszawski są co kilkanaście dni kopiowane na specjalne taśmy magnetyczne. Każda kasetka ma pojemność 400 GB, czyli mniej więcej tyle, ile dyski twarde, które obecnie są montowane w komputerach, a z wyglądu przypomina tradycyjną kasetę magnetofonową. Jest od niej tylko trochę mniejsza i trwalsza. Dane na takich taśmach są dużo bezpieczniejsze, niż zapisane choćby na płycie DVD. Taśmy są przesyłane do Warszawy i tu jeszcze raz kopiowane, co już zapewnia bardzo bezpieczne przechowywanie danych. Obecnie ilość danych, które trzeba przesłać z Chile do Polski, nie jest już tak oszałamiająca, ale jeszcze kilka lat temu, gdy rozpoczynało się OGLE-III, było to dużym wyzwaniem. Kolejnym będzie na pewno początek OGLE-IV. Olbrzymie pole widzenia nowej kamery sprawi, że ilość danych zbieranych każdej nocy wzrośnie około dziesięciokrotnie, a dane z całego roku będą zajmowały około 30 TB. Wspomniana wieża z płyt CD roslaby więc w tempie około 50 m na rok, o ile ktoś chciałby te dane trzymać na tych nośnikach. Problemy związane z bezpiecznym przechowywaniem tak dużej ilości danych robią się tak duże i ważne, jak te związane z efektywnym wykorzystaniem obserwacji.

Po publikacji każdej kolejnej części katalogu dane są udostępniane w sieci. Pozwala to innym astronomom na dokładniejsze badanie cech fizycznych gwiazd zmiennych. Możliwe jest porównywanie wyników uzyskanych na podstawie danych OGLE i innych podobnych projektów – np. MOA (*Microlensing Observations in Astrophysics*), MACHO (*Massive Compact Halo Objects*), EROS (*Expérience pour la Recherche d'Objets Sombres*). Oczywiście, powinna wzrosnąć nasza wiedza nie tylko na temat gwiazd zmiennych, ale też choćby tak istotnych wielkości, jak odległość do najbliższych galaktyk. Pozostaje mieć nadzieję, że tak rzeczywiście się stanie i te  $10^{11}$  pomiarów będzie dobrze przeanalizowane.

## Konkurs zadań astronomicznych

Na rozwiązania zadań A 7 i A 8 czekamy do 1 maja 2009 r. (decyduje data stempla pocztowego) pod adresem:

Centrum Astronomiczne  
im. Mikołaja Kopernika  
ul. Bartycka 18  
00-716 Warszawa

**A 7.** Oblicz jasność (moc promieniowania) Słońca, wiedząc, że stała słoneczna wynosi  $1360 \text{ W/m}^2$ , a światło potrzebuje 499 s, by dotrzeć ze Słońca na Ziemię. [1 pkt]

**A 8.** Niektóre komety (tzw. jednopojawieniowe) poruszają się po orbitach praktycznie parabolicznych. Jaka jest prędkość takiej komety w perihelium, jeżeli znajduje się ono w odległości 1 j.a. od Słońca? Jaka prędkość osiągnęłaby taka kometa przy spadku na powierzchnię Słońca? Przyjąć, że promień Słońca wynosi 700 000 km. [2 pkt]

### Rozwiązania zadań z numeru 2/2009

**A 3.** Niech  $D_S, D_Z, D_c, D_p$  oznaczają odpowiednio średnice Słońca, Ziemi oraz cienia i półcienia Ziemi na wysokości orbity Księżyca. Zachodzi wtedy  $1 \text{ j.a.}/D_S = d/D_Z$ , gdzie  $d$  jest odległością od Ziemi końca jej cienia. Stąd  $d = 1,37 \times 10^6 \text{ km}$ . Zachodzi też  $D_c/(d - r) = D_Z/d$ , gdzie  $r$  jest promieniem orbity Księżyca. Stąd  $D_c = 9,2 \times 10^3 \text{ km}$ , co odpowiada 2,65 średnicom Księżyca. Wreszcie  $D_p \approx 2D_Z - D_c \approx 1,63 \times 10^4 \text{ km}$ , czyli 4,7 średnic Księżyca.

**A 4.** Stała słoneczna  $S$  to ilość słonecznej energii padająca w ciągu sekundy na metr kwadratowy powierzchni Ziemi

ustawionej prostopadle do promieni słonecznych. Pomiary dały wartość  $S = 1360 \text{ W/m}^2$ . Ziemia pochłania tyle słonecznej energii, ile pochłaniałaby tarcza o średnicy takiej jak ziemską, promieniuje natomiast całą powierzchnią, gdyż różnica między temperaturą dzienną a nocną nie jest wielka. Dlatego równość energii pochłanianej i emitowanej daje

$$S\pi R_Z^2(1 - A) = 4\pi R_Z^2\sigma T^4,$$

gdzie  $R_Z$  oznacza promień Ziemi,  $T$  jej średnią temperaturę, a  $\sigma$  stałą Stefana-Boltzmana. Stąd  $T \approx 250 \text{ K}$ .