

Kamera internetowa w dydaktyce i popularyzacji astronomii

G. Koralewski^a, L. Mankiewicz^b, K. Pozniak^c, P. Szamocki^c, G. Wrochna^d

^aNiezależne Koło Miłośników Astronomii, Szczecin; ^bCentrum Fizyki Teoretycznej PAN, Warszawa; ^cInstytut Systemów Elektronicznych, Politechnika Warszawska; ^dInstytut Problemów Jądrowych im A. Sołtana, Warszawa

STRESZCZENIE

Poważnym problemem dydaktyki i popularyzacji nauk ścisłych jest bariera finansowa i technologiczna, która sprawia, że nakłady finansowe oraz *know-how* konieczne do naśladowania współcześnie prowadzonych badań naukowych wielokrotnie przekraczają możliwości amatorów i systemu powszechnej edukacji. Na przykład, typowe narzędzia nowoczesnej astronomii to ultranowoczesne kamery CCD sprzężone z dużymi, sterowanymi komputerem, teleskopami. Panuje przekonanie, że trzeba wydać sumę rzędu \$10.000 na sprzęt umożliwiający sensowne obserwacje przy pomocy technologii CCD. Jest oczywiste, że wydatek taki przekracza możliwości młodych adeptów fizyki i astronomii. Zaradzić temu może konstrukcja prostej aparatury, opartej o powszechnie dostępne kamery internetowe, która pozwala na prowadzenie zaawansowanych obserwacji techniką cyfrową. Koszt takiej aparatury wynosi, w zależności od stopnia komplikacji, od \$150 do \$2000.

ABSTRACT

Although it is often said that science is one of the most influential factors shaping the human civilization, complicated technology and high price tag of modern science makes it extremely difficult for schools to participate in a scientific endeavor. To circumvent this barrier we propose a very simple yet surprisingly capable system for astronomical observations using the CCD technology. The simplest version based on webcam and photo-lenses costs about \$150, which makes it affordable, even for individuals. We examine in details all steps necessary to transform data taken with such a setup into interesting and valuable astronomical observations and discuss possible applications suitable for schools and individual amateurs.

PROBLEMY WSPÓŁCZESNEJ DYDAKTYKI I POPULARYZACJI NAUKI

Jednym z podstawowych problemów stojących w tej chwili przed naukami przyrodniczymi jest przekonanie podatników do wspierania badań podstawowych. Badania te stają się z jednej strony coraz kosztowniejsze, z drugiej strony ich wyniki są coraz mniej zrozumiałe dla laików. Tak więc od przeciętnych zjadaczy chleba oczekuje się, że będą płacili za coś, czego nie mają szansy zrozumieć.

W świecie gwałtownie rozwijających się technologii coraz częściej życiowe szanse pokolenia związane są z umiejętnością korzystania z najnowszych zdobyczy techniki. Ważną rolę odgrywa też umiejętność zrozumienia istoty coraz bardziej złożonych zjawisk, także społecznych i ekonomicznych, z którymi każdy spotyka się w życiu codziennym. Obie umiejętności – racjonalnej oceny zjawisk i korzystania z najnowszych technologii – należą do podstawowych narzędzi współczesnych nauk przyrodniczych. Może wydawać się, że sprawa jest prosta - skuteczna integracja nauk przyrodniczych w procesie kształcenia mogłaby zwiększyć życiowe szanse całego pokolenia. Okazuje się, że nie łatwo jest jednak wprowadzić w życie wnioski wynikające z tego stwierdzenia. Na przeszkodzie stoi brak mechanizmów umożliwiających integrację najnowszych technologii czy szerzej prawdziwej nauki w system powszechnego kształcenia. Przykład raczej ogłupiających niż kształcących gier komputerowych pokazuje, że nie wystarczy np. postawić w szkole komputera, nawet podłączonego do internetu. Trzeba jeszcze wiedzieć jak użyć tego sprzętu. Istnieje więc zapotrzebowanie na proste i ciekawe projekty umożliwiające uczestnictwo uczniów w działaniach jak najbardziej przypominających pod względem metodycznym i

technologicznym autentyczne badania naukowe. Na dodatek muszą to być projekty ciekawe, do których uczniowie garnęliby się z własnej, nieprzymuszonej woli.

Nawet jeśli projekt taki powstanie, musi spełniać kilka warunków aby mógł być przydatny w szkole. Po pierwsze musi być stosunkowo tani. Po drugie powinien być możliwie wielostronny tzn. łączyć w sobie wiele różnych elementów, np. technologię komputerową, podstawy fizyki, elementy matematyki, ale także działania w zespole i naukę języków obcych. Po trzecie musi być związany z obowiązującym programem nauczania. Aby umożliwić nauczycielom indywidualny dobór zakresu, w jakim uznają za stosowne go realizować, projekt powinien mieć kilka szczebli, od najprostszego do stosunkowo zaawansowanego. W końcu projekt musi być przyjazny i ciekawy dla nauczyciela, który ma go realizować. Dla większości nauczycieli wycieczka w świat współczesnej nauki będzie, podobnie jak dla uczniów, wycieczką w nieznaną¹. Oznacza to konieczność zapewnienia dokładnej informacji i stałego dostępu do pomocy metodycznej.

Wychodząc naprzeciw zapotrzebowaniu na „naukę (*scientia*) w szkole” proponujemy amatorski program obserwacji nieba, który naszym zdaniem spełnia sformułowane powyżej kryteria. Punktem wyjścia jest obecny trend rozwoju „małej astronomii” [1].

MAŁE TELESKOPY W NOWOCZESNEJ ASTRONOMII

W chwili obecnej na Ziemi działa lub jest w budowie około 15 teleskopów optycznych o średnicy od 6.5 do 10 metrów. Każdy z nich kosztował wiele milionów dolarów. Mogłoby się wydawać, że tylko przedsięwzięcia wysoko-budżetowe mogą dawać nadzieję na wyniki naukowe godne uwagi. Nic bardziej mylnego. Doskonałym przykładem jest polski projekt o nazwie OGLE (ang. Optical Gravitational Lensing, OGLE) z Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Warszawskiego [2]. Uczestnicy tego projektu za sumę około jednego miliona dolarów, czyli tysiąc razy mniejszą od kosztu wspomnianych gigantów, zbudowali na terenie Las Campanas Observatory w Chile teleskop o średnicy lustra 1,3 metra. Pierwotnym celem OGLE było wykrycie rzadkich zjawisk mikrosoczewkowania grawitacyjnego. Zjawisko polega na przejściowym zwiększeniu jasności dalekiej gwiazdy, gdy pomiędzy nią i obserwatorem przesuwa się masywny obiekt. Całe zjawisko trwa od kilku dni do kilku miesięcy. Łącznie wykryto około 600 zjawisk mikrosoczewkowania. Oprócz wyników naukowych tych badań bardzo ważnym elementem był sprzęt, jakim to osiągnięto. Równie ważne jak opanowanie technologii budowy coraz doskonalszych kamer CCD było stworzenie oprogramowania, które pozwala na bieżąco analizować miliony pomiarów jasności gwiazd każdej nocy.

Okazuje się, że odkrycia nowych gwiazd zmiennych, czy też nowych zjawisk na niebie, mogą być osiągnane nawet miniteleskopami o średnicy zaledwie 10 centymetrów. Takim sprzętem dokonano dwóch niezwykłych odkryć. Zespół ROTSE [3] odkrył błysk optyczny towarzyszący błyskowi gamma, a zespół STARE [4] zaobserwował drobne, okresowe spadki jasności jednej z gwiazd, wywołane przejściem przed jej tarczą planety o rozmiarach i masie zbliżonej do Jowisza. Dr Grzegorz Pojmański z Obserwatorium Astronomicznego UW odkrył w ramach Automatycznego Przeglądu Całego Nieba (ang. All Sky Automatic Survey, ASAS) ponad 3000 gwiazd zmiennych [5].

KAMERA INTERNETOWA W ROLI ASTRONOMICZNEJ KAMERY CCD

Niniejszy artykuł opisuje konstrukcję jeszcze tańszego urządzenia dostępnego dla szkół oraz astronomów amatorów, które pozwala jednak na stosunkowo zaawansowane projekty,

¹ Tradycyjnie nauczycieli kształci się do *przekazywania* a nie do *poszukiwania i tworzenia* wiedzy i informacji. Ciekawe, w jakim stopniu takie podejście wpływa na innowacyjność uczniów w ich dorosłym życiu.

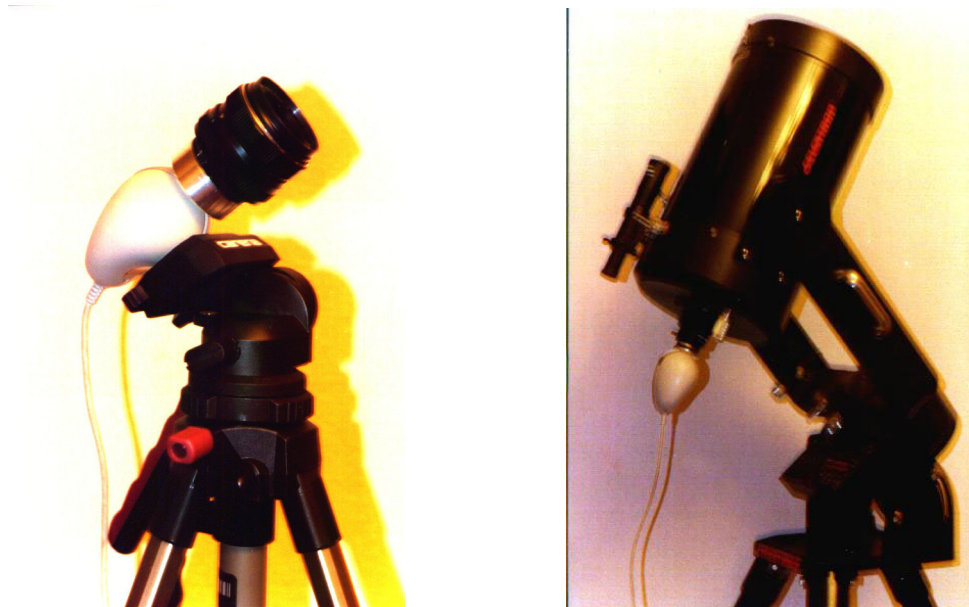
jak np. obserwacje zakryć czy też pomiary jasności gwiazd i wykrywanie gwiazd zmiennych. Ważnym elementem systemu jest technologia obróbki danych oparta o własności detektora i wykorzystująca elementy statystyki. Projekt ma charakter otwarty, to znaczy, że cała leżąca u jego podstaw i wypracowana w trakcie realizacji wiedza na temat elektroniki, fizyki, matematyki i astronomii jest dostępna dla wszystkich za pośrednictwem portalu ccd.astronet.pl

Popularność i dostępność kamer CCD sprawiła, że amatorzy astronomii na świecie próbują stosować np. kamery internetowe (ang. *webcams*) do rejestracji obrazów nieba. Hobby to jest bardzo popularne w Europie, gdzie istnieją stowarzyszenia takie jak QCUIAG [6], AstroCam [7] i COAA [8] skupiające licznych zawziętych entuzjastów tej technologii. Możliwość wykorzystania istniejącej infrastruktury do celów edukacji ogranicza swoista nieprzystępność stowarzyszeń amatorskich, których członkowie traktują swoje obserwacje jako cel sam w sobie a nie środek służący do popularyzacji myślenia naukowego i nowoczesnej technologii.

W naszym układzie urządzeniem CCD rejestrującym obrazy nieba jest kamera internetowa *Philips Vesta* (rys. 1) lub *ToUcam*² o przekątnej matrycy ¼ cala i rozdzielczości 640x480 pikseli. Koszt takiej kamery wynosi około 350 zł. Kamera nie jest chłodzona. Od kamer profesjonalnych odróżnia ją wysoki poziom szumu, krótki czas ekspozycji oraz mniejsza rozdzielczość.

W wersji fabrycznej maksymalny czas ekspozycji wynosi 1/5 s. Istnieje możliwość modyfikacji układu elektronicznego kamery tak by umożliwić ekspozycje o dowolnej długości [9]. Przerobione kamery dostępne są na polskim rynku [10].

W kamerach *Philips*'a obiektywy zamontowane są za pośrednictwem gwintu M12x0,5mm, którego można użyć do przykręcenia kamery do obiektywu fotograficznego lub amatorskiego teleskopu. Odpowiednie pierścienie adaptujące można kupić w firmie *Astrokrak* [11].



Rys. 1. Kamera internetowa *Philips Vesta* z obiektywem fotograficznym i teleskopem.

² Modele PCVC675K „Vesta”, PCVC680K „Vesta Pro”, PCVC690K „Vesta Pro Scan”, PCVC740K „ToUcam Pro”, PCVC750K „ToUcam Scan” wyposażone są w sensory CCD, podczas gdy PCVC665K „Vesta Fun”, PCVC720K „ToUcam XS”, PCVC730K „ToUcam Fun” zbudowane są na bazie technologii CMOS, która ze względu na mniejszą czułość raczej nie nadaje się do astronomii.

MOŻLIWOŚCI KAMERY INTERNETOWEJ

Sama kamerka wyposażona jest wprawdzie w obiektyw, ale z powodu bardzo małej apertury i krótkiej ogniskowej – rzędu kilku milimetrów – jest on właściwie bezużyteczny, z wyjątkiem rejestracji meteorów. Szerokie pole widzenia rzędu $40^\circ \times 30^\circ$ pozwala na fotografowanie przy czasach ekspozycji rzędu 10-20 sekund dużej części nieba przez całą noc. Powstały film można analizować *off-line* lub pokusić się o automatyczne rozpoznawanie zmian na następujących po sobie klatkach tak by rejestrować tylko te zdjęcia, na których dzieje się coś ciekawego.

Amatorski teleskop o ogniskowej rzędu 1000-2000mm i aperturze 10-25cm pozwoli na uzyskanie doskonałych zdjęć powierzchni Księżyca, plam słonecznych czy też dysków planetarnych. Obiektyw o ogniskowej $f=300-500$ mm i aperturze 5-10cm pozwalają wejrzeć głęboko w odległy Wszechświat. Fotografowanie obiektów z katalogu Messiera – gromad kulistych i sąsiednich galaktyk wymaga długiego czasu ekspozycji i, co za tym idzie, ruchomego montażu pozwalającego, najlepiej automatycznie, kompensować przesunięcie obrazu związane z ruchem Ziemi.

Najprostszy, a zarazem niezwykle interesujący z punktu widzenia naukowych możliwości układ polega na przykręceniu kamery do obiektywu fotograficznego o ogniskowej f rzędu 50-200mm. Dobrym przykładem jest obiektyw od aparatu fotograficznego Zenit, dostępny w sklepach z używanym sprzętem fotograficznym, o $f = 50$ mm. Duże pole widzenia od 1 do 10 stopni kwadratowych umożliwia jednoczesną obserwację kilku gwiazd, co jest szczególnie ważne przy badaniu gwiazd zmiennych gdzie do precyzyjnej fotometrii konieczna jest jednoczesna obserwacja gwiazd odniesienia. Przy pomocy tego najprostszego systemu można obserwować także odległe planety i planetoidy. Wielką zaletą takiego układu opartego o kamerkę z krótkim czasem ekspozycji jest możliwość zastosowania jako podstawy zwykłego statywu fotograficznego. Przy tak krótkich czasach ekspozycji niebo na skutek obrotu Ziemi przesuwa się bardzo niewiele i - jak pokażemy poniżej - efekt ten można wykorzystać do poprawy jakości obserwacji.

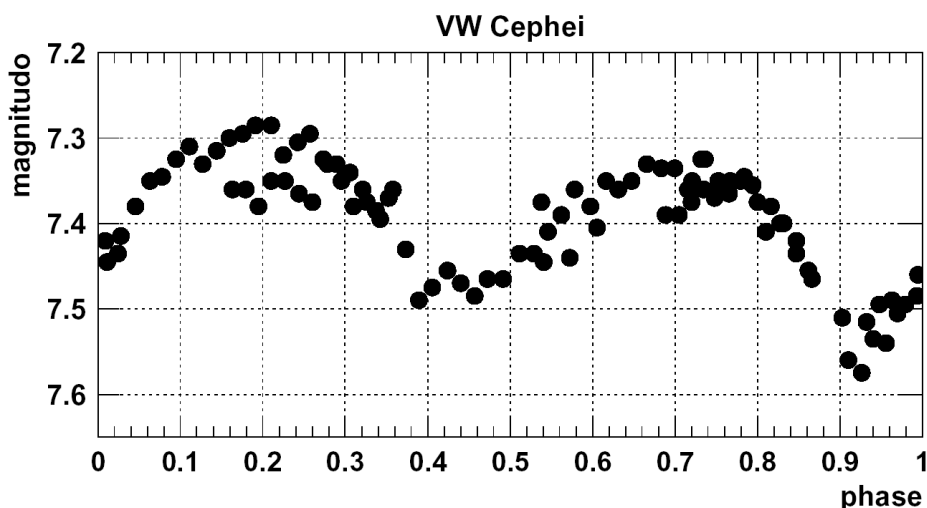
KOMPUTEROWA OBRÓBKA OBRAZÓW

Wysoki poziom szumów kamery internetowej powoduje, że na pojedynczych zdjęciach nie zobaczymy nic, lub prawie nic, tzn. tylko najjaśniejsze gwiazdy. Sytuację można znacznie poprawić stosując procedurę polegającą na odjęciu tzw. ciemnej klatki i nałożeniu na siebie wielu obrazów tego samego fragmentu nieba. Ciemną klatkę tworzymy jako medianę około stu zdjęć wykonanych z zasłoniętym obiektywem. Warto zauważyć, że mediana jest w tym wypadku lepsza od zwykłej średniej arytmetycznej, ponieważ jest znacznie mniej czuła na fluktuacje związane z jonizacją wywołaną na przykład przez promieniowanie kosmiczne. Po odjęciu od wszystkich zdjęć ciemnej klatki, otrzymane w ten sposób obrazy uśredniamy dbając o to by pomimo przesunięcia związanego z obrotem Ziemi obrazy gwiazd na poszczególnych klatkach były nałożone na siebie. Użycie ruchomego montażu pozwala oczywiście na kompensację ruchu Ziemi, ale nawet jeśli dysponujemy odpowiednim sprzętem nie warto kompensować zbyt dokładnie. Jeśli obraz tej samej gwiazdy jest zarejestrowany przez różne piksele na różnych klatkach to dostępne programy z łatwością pozwalają przesunąć odpowiednio składane klatki, a w rezultacie uzyskujemy dodatkową redukcję błędów systematycznych związanych z niestabilnością poszczególnych pikseli. W efekcie, gdy decydujemy się na robienie zdjęć z czasem ekspozycji rzędu $1/5$ s możemy z powodzeniem korzystać z nieruchomego statywu gdyż obraz gwiazdy w czasie pojedynczej ekspozycji przesunie się o mniej niż jeden piksel [13].

PROPOZYCJE OBSERWACJI

Obserwacje gwiazd zmiennych są dziedziną, w której wiele do powiedzenia mają astronomowie – amatorzy. Amatorskie obserwacje z całego świata są systematycznie zbierane i następnie udostępniane do celów naukowych przez AAVSO [12]. Doświadczony obserwator może wizualnie ocenić jasność³ obserwowanej gwiazdy z dokładnością do $0,1^m-0,05^m$. System oparty o obiektyw o ogniskowej $f=50$ mm i kamerkę z krótkim czasem ekspozycji pozwala osiągnąć przy pomocy dostępnego bezpłatnie oprogramowania podobną dokładność dla gwiazd o jasności 5^m-8^m . Zmodyfikowana kamera umocowana na ruchomym montażu pozwala na osiągnięcie dokładności lepszej niż $0,5^m-0,2^m$ dla gwiazd o jasności dochodzącej do 9^m-10^m . Jako przykład może służyć krzywa blasku zaćmieniowego układu podwójnego *VW Cephei* przedstawiona na rys. 2. Układ *VW Cephei* składa się z dwóch gwiazd okrążających wspólny środek ciężkości, co powoduje okresowe zaćmienia jednej z gwiazd przez drugą. Niewielka amplituda zmian jasności rzędu $0,2^m$ sprawia że *VW Cephei* jest wyzwaniem dla obserwacji wizualnych, podczas gdy użycie jako sensora kamery internetowej pozwala nawet na wykrycie niesymetrycznego charakteru kolejnych maksimum i minimum.

Nasza propozycja dla obserwatorów gwiazd zmiennych wygląda następująco: przy pomocy kamery internetowej uzbrojonej w obiektyw fotograficzny fotografujemy wybraną gwiazdę co kilka minut, jeśli okres zmienności jest krótki, rzędu godzin, lub raz na noc jeśli okres zmienności jest długi, rzędu miesięcy. W pierwszym wypadku w ciągu kilku nocy można zebrać dane wystarczające do rekonstrukcji pełnej krzywej blasku. W przypadku gwiazd zmiennych długookresowych zebranie danych zajmie nam kilka miesięcy, ale za to, co noc można fotografować wiele takich gwiazd. W obu wypadkach układ można po prostu umieścić na statywie fotograficznym i ręcznie nakierowywać go na wybraną gwiazdę bądź zastosować wygodniejsze, lecz droższe rozwiązanie w postaci ruchomego, zdalnie sterowanego montażu.



Rys. 2. Krzywa blasku (jasność w funkcji czasu) układu *VW Cephei* zarejestrowana przy pomocy kamery *Philips Vesta* z obiektywem fotograficznym $f=50$ mm i aperturze $f/2$.

Innym możliwym zastosowaniem opisanego systemu jest poszukiwanie gwiazd Nowych. W 2001 roku pięć odkrytych w naszej galaktyce Nowych miało jasność większą niż 9^m , to

³ Jasności gwiazd wyraża się w tzw. wielkościach gwiazdowych (*magnitudo*). $m=-2.5\log_{10}E+b$, gdzie E jest oświetleniem danym przez gwiazdę w luksach a $b = -14.05$

znaczy, że można je było zaobserwować przy użyciu kamery internetowej. Portugalski astronom-amator A. Pereira odkrył dwie z nich, co noc obserwując Drogę Mleczną przy pomocy lunety zamocowanej na statywie. Automatyzacja obserwacji tego typu przy pomocy komputera wymaga jednak stworzenia odpowiedniego łatwego w obsłudze oprogramowania dostępnego dla amatorów.

Kosmiczne rozbłyski gamma (ang. Gamma Ray Bursts, GRB) stanowią prawdopodobnie ślady największych eksplozji, jakie widział Wszechświat od momentu swojego powstania. Do tej pory nie wiadomo jak często GRB towarzyszą błyski w innych obszarach widma. Do tej pory udało się zaobserwować tylko jeden przypadek silnego błysku optycznego towarzyszącego rozbłyskowi gamma [3]. Błysk trwał około pół minuty i miał jasność rzędu $8,6^m$ a więc można go było zobaczyć przy pomocy układu opartego o standardową kamerę internetową. Ponieważ zjawiska te są rozrzucone po całej sferze niebieskiej ich poszukiwanie metodą przypadkowych obserwacji nie daje dużej szansy na sukces. Z drugiej strony, zorganizowana, duża grupa amatorów może dokonywać systematycznych obserwacji dużych obszarów nieba. Jeszcze innym rozwiązaniem jest zbudowanie aparatury monitorującej automatycznie duży obszar nieba w poszukiwaniu rozbłysków [14].

PODSUMOWANIE

Opisany w tym artykule stosunkowo tani (rzędu 400 zł) układ składający się z obiektywu fotograficznego i kamery internetowej pozwala amatorom na interesujące obserwacje i bezpośredni kontakt z narzędziami i problemami będącymi w centrum zainteresowania współczesnej nauki. Modułowa struktura części mechanicznej (nieruchomy statyw → ruchomy, sterowany komputerowo montaż), detektora (standardowa kamera → modyfikacja pozwalająca uzyskać długie czasy ekspozycji) i układu optycznego (obiektyw fotograficzny → amatorski teleskop) pozwala na nieodzwonne z punktu widzenia dydaktycznego skalowanie kosztów i możliwości sprzętu proporcjonalnie do możliwości i doświadczenia ucznia czy astronoma-amatora.

Wszystkie informacje dotyczące *know-how* koniecznego do uruchomienia systemu znaleźć można na stronie internetowej [15]. Płyta CD zawierająca oprogramowanie i wskazówki techniczne jest dostępna na rynku za niewygórowaną cenę [16]. Dalszy rozwój systemu uzależniony jest m.in. od skonstruowania prostego, sterowanego komputerem montażu. Prowadzone są dalsze prace nad oprogramowaniem i interaktywną instrukcją obsługi. Opisany tutaj projekt spotkał się także ze stosunkowo dużym zainteresowaniem w czasie tegorocznej konferencji *Global HOU* [17]. Udział w projekcie szkół z krajów Unii Europejskiej umożliwiłby polskim uczniom nawiązywanie kontaktów międzynarodowych przy okazji rozwijania swych uzdolnień w zakresie nauk ścisłych.

LITERATURA

1. F.V. Hessman, *Robotic telescope projects*, <http://alpha.uni-sw.gwdg.de/~hessman/MONET/links.html>
2. OGLE, <http://www.astrouw.edu.pl/~ogle/>
3. K. Akerlof et al., *Nature* **398:400**, 1999.
4. D. Charbonneau et al., astro-ph/9911436 and *Astrophysical Journal Letters*, 23 November, 1999.
5. G. Pojmański, *Acta Astronomica* **50**, 177, 2000
6. QCUAG, <http://www.astrabio.demon.co.uk/QCUAG/>
7. AstroCam, <http://www.astrocam.org/>
8. COAA, <http://www.ip.pt/coaa/astrovideo.htm>
9. S. Chambers, <http://home.clara.net/smunch/wintro.htm>
10. <http://astronomia.net.pl>, <http://www.diament.teleskopy.pl/>
11. AstrokraK, <http://www.astrokraK.pl/>
12. AAVSO, <http://www.aavso.org/>
13. G. Wrochna, *Delta* 2/2002 and 4/2002, *Urania* 1/2002 and 2/2002.

14. L. Mankiewicz, R. Salański, and G. Wrochna, *Badanie zjawisk kosmicznych o kilkusekundowym okresie zmienności*,
15. G. Wrochna, *Astronomia CCD – pomiędzy hobby a nauką*, <http://ccd.astronet.pl>
16. *AstroCD CCD*, <http://www.astrocd.astronomia.pl/astrocd.htm>
17. G. Koralewski, L. Mankiewicz, G. Wrochna in *Proceedings of the 3rd Global Hands On Universe Conference*, 24-29.07.2002, Paris, France.