

UNIwersytet PEDAGOGICZNY

im. Komisji Edukacji Narodowej

w Krakowie

Wydział Matematyczno - Fizyczno - Techniczny

Instytut Fizyki

Kierunek Fizyka z Astronomią i Informatyką, Specjalność nauczycielska



WOJCIECH KUŁYNYCZ

ASTROMETRYCZNE METODY POSZUKIWANIA PLANETOID

Praca magisterska  
napisana pod kierunkiem  
dr Waldemara Ogłózy

KRAKÓW 2009

Składam serdeczne podziękowania  
dr Waldemarowi Ogłozie  
za wskazówki i pomoc udzieloną przy pisaniu tej pracy.

## Spis treści:

<b>Wstęp .....</b>	<b>4</b>
<b>1. Planetoidy w ujęciu astrometrycznym .....</b>	<b>5</b>
1.1. Planetoida – co to takiego ?.....	5
1.2. Geneza planetoid .....	6
1.3. Rozmieszczenie planetoid w Układzie Słonecznym .....	7
1.4. Budowa planetoid i ich własności fizyczne .....	12
1.5. Podział planetoid .....	15
<b>2. Obserwacje astrometryczne .....</b>	<b>18</b>
2.1. Definicja astrometrii .....	18
2.2. Układ współrzędnych .....	18
2.3. Odzwierciedlenie sfery niebieskiej na płaszczyźnie .....	20
2.4. Astrometria planetoid z Ziemi.....	24
2.5. Obserwacje astrometryczne planetoid przez sondy kosmiczne .....	27
<b>3. Opis przeprowadzonych badań .....</b>	<b>29</b>
3.1. Międzynarodowa kampania poszukiwania planetoid - IASC .....	29
3.1.1. IASC – struktury i geneza powstania.....	29
3.1.2. IASC – jak funkcjonuje.....	34
3.1.3. Efekty kampanii IASC 2008 i 2009 .....	37
3.2. Poszukiwania planetoid teleskopem 60 cm na Suhorze .....	40
3.3. Obserwacje planetoidy Eunomia teleskopem INO.....	42
<b>4. Poradnik dla nauczyciela.....</b>	<b>45</b>
4.1. Jak wziąć udział w IASC .....	45
4.2. Program CLEA „Astrometry of Asteroids” .....	45
4.3. Teleskop zdalnie sterowany INO .....	51
4.4. Obserwacje planetoid w warunkach szkolnych.....	52
<b>Zakończenie.....</b>	<b>55</b>
<b>Załączniki.....</b>	<b>56</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>116</b>

## Wstęp

O planetoidach w Układzie Słonecznym mówi się mało albo wcale. Są ciałami pozostającymi w cieniu większych planet, widowiskowych komet czy bliskiego nam Księżyca. Paradoksalnie docenia się je dopiero wtedy, gdy zaczynają stanowić dla Ziemi i życia jej mieszkańców śmiertelne zagrożenie. Właśnie na podstawie udziału w obserwacjach mających na celu ochronę Ziemi powstała ta praca.

Wyróżniam trzy główne cele niniejszej pracy. Pierwszy z nich to chęć odkrycia nowych obiektów w trakcie kampanii poszukiwań planetoid oraz przeprowadzenie innych własnych badań i obserwacji planetoid. Jest to kręgosłup całej pracy, którego opis zawiera rozdział trzeci. Dwa pozostałe cele wypływają z pierwszego. Jeden z nich to przekrojowe zebranie i przedstawienie informacji dotyczących planetoid. Mowa tu zarówno o powstaniu, budowie i klasyfikacji planetoid, o czym traktuje rozdział pierwszy, jak i o sposobach wyznaczania ich położenia, co jest opisane w rozdziale drugim. Ostatnim ważnym zagadnieniem poruszonym w pracy jest opis programów używanych w czasie poszukiwań i zebranie wszystkich materiałów a przez to stworzenie swoistego podręcznika poszukiwań dla nauczyciela. Korzystając z takiego przewodnika zawartego w rozdziale czwartym będzie on mógł wykorzystać i przeprowadzić z klasą kilka różnych obserwacji planetoid. Ważną częścią pracy są załączniki oraz płyty CD z programami i instrukcjami przydatnymi w poszukiwaniach.

Mam nadzieję, że forma i sposób przedstawienia tego materiału przybliży czytelnikowi zagadnienie planetoid i nauczy czegoś więcej, o ciałach tak bliskich a mimo to tak dalekich.

# 1. Planetoidy w ujęciu astrometrycznym

## 1.1. Planetoida – co to takiego ?

Słowo planetoida powstało ze złożenia dwóch greckich słów. Pierwsze z nich to *planētēs* (wędrowiec). Takim mianem uczeni nazwali pierwsze zaobserwowane planety Układu Słonecznego (US), czyli Merkurego, Wenus, Marsa, Jowisza i Saturna. Gdy w początkach XIX wieku dostrzeżono na niebie „coś na kształt” planet do słowa *planētēs* dodano słowo *eídos* (postać). Powstało więc słowo oznaczające coś o postaci planety czyli słowo *planetoida*. Obok nazwy planetoida używa się także zamiennie nazw, które są równoznaczne:

- asteroida (gr. *asteroeidēs* – gwiazdzisty, podobny do gwiazdy),
- planetka (ang. *minor planet*)

Nazwa „planetoida” nawiązuje do cech fizycznych i astrometrycznych obiektu i powinna być preferowana w języku polskim. Słowo „asteroida” oddaje wygląd obiektu na niebie (światlny punkt podobny do gwiazd) i jest stosowane głównie w krajach anglosaskich. Jakie są różnice a jakie podobieństwa planetoid i planet ?

Obecnie planetoidy zalicza się do tzw. małych ciał Układu Słonecznego. Termin ten został przyjęty podczas sympozjum Międzynarodowej Unii Astronomicznej (IAU) w Pradze 24 sierpnia 2006 roku. Małym ciałem Układu Słonecznego jest obiekt, który nie jest planetą ani planetą karłowatą, a więc obiekt który<sup>1</sup>:

- znajduje się na orbicie wokół Słońca,
- **nie posiada** wystarczającej masy, by utworzyć płynne jądro i uzyskać kształt odpowiadający równowadze hydrostatycznej czyli prawie kulisty (oprócz grawitacji istotną rolę pełni tu zawartość pierwiastków promieniotwórczych, podgrzewających jądro),
- nie oczyścił sąsiedztwa swojej orbity z innych względnie dużych obiektów (nie uzyskał dynamicznej dominacji),
- nie jest satelitą planety lub innego obiektu niegwiazdowego.

W myśl tego sformułowania planetoidy umieszczono w jednym worku z kometami, meteorami i pyłem międzygwiazdowym. Aby je więc z tego „worka wydobyć” trzeba uzupełnić powyższe sformułowanie. Należy wprowadzić najpierw rozróżnienie ze względu na rozmiary. Przyjmuje się, że ciała o średnicy  $> 100 \text{ m}^2$  to już planetoidy. Ciała o rozmiarach mniejszych to meteoroidy lub pył międzygwiazdowy. Jeśli zaznaczy się, że planetoidy krążą po elipsach i są obecne stale w US to odróżni się je od komet krążących po orbitach para- i hiperbolicznych, które odwiedzają US rzadko. Kometami są także ciała krążące po orbitach eliptycznych, które w czasie przejścia w pobliżu Słońca wytwarzają gazowe i pyłowe warkocze. Jeśli emisja gazu i pyłu jest bardzo słaba, co wiąże się z ilością przejść ciała przez peryhelium, to ciało takie trudno odróżnić od planetoidy.

<sup>1</sup> Definicja małego ciała Układu Słonecznego zaczerpnięta ze strony <http://pl.wikipedia.org/wiki/Planeta> .

<sup>2</sup> Jest to granica umowna. Często mówi się o 50, 80 lub 100 m.

Maksymalne rozmiary planetoid dochodzą do 900 km średnicy. Ich kształty są nieregularne i często noszą znamiona kolizji z innymi podobnymi obiektami. Ciała o rozmiarach powyżej 900 km (np. Ceres - 1003 km średnicy) posiadają już kształt kulisty i stąd nie są planetoidami lecz planetami karłowatymi. Jeśli ciało takie dodatkowo uzyska dynamiczną dominację nad otoczeniem (oczyści otoczenie) to jest ono planetą. Obiekt taki uzyskuje dynamiczną dominację, gdy stosunek jego masy do łącznej masy pozostałych obiektów w jego strefie orbitalnej (wyznacznik planetarny  $\mu$ ) jest większy od 100.

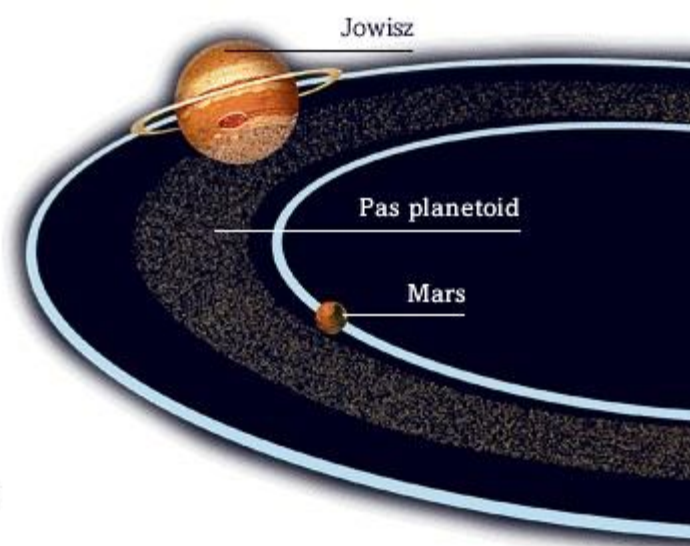
## ***1.2. Geneza planetoid***

Powstanie planetoid związane jest z uformowaniem się Słońca i powstaniem Układu Słonecznego. Z olbrzymiego gazowo-pyłowego obłoku, który zaczął się zapadać i kurczyć powstała protogwiazda. Część materii nie skupia się w centrum lecz zaczyna okrążyć gwiazdę i tworzy wokół niej dysk protoplanetarny. Formowanie dysku trwa około 1 miliona lat. W dysku na skutek działania sił elektrostatycznych i zderzeń łączą się ze sobą i konsolidują ziarna pyłu. Następnie ziarna te osiągając większą masę opadają do płaszczyzny dysku w skutek tego następuje tam duże zagęszczenie pyłu. Wtedy dzięki wzajemnemu ścieraniu się ziarna tworzą coraz większe bryły pierwotnej materii. W efekcie tego zlepiania dochodzą one nawet do średnicy kilkuset kilometrów. Nazywa się je planetozymalami. Planetozymale stają się zaczątkiem planet. Te z nich, które mają dużą masę zaczynają skupiać wokół siebie również gaz. W wewnętrznej części Układu Słonecznego planetozymale składają się głównie ze związków ciężkich gdyż bliskość Słońca i wyższa temperatura powodują wyparowanie lżejszych pierwiastków. Z kolei w większej odległości od Słońca kondensują związki lżejsze. Magazynują się tam wokół planetozymali jako ciecze i gazy. Najdalsze planetozymale są zmrożone ze względu na niską temperaturę. W pewnym momencie promieniowanie rozwijającego się Słońca staje się na tyle silne, że cały niezwiązany pył i gaz zostaje „wydmuchany” z Układu Słonecznego i pozostaje w nim tylko to co, do tej pory zdążyło skonsolidować i związać się grawitacyjnie. Między powstałymi planetozymalami dochodzi do coraz częstszych zderzeń. Zaczynają się dzięki temu łączyć, powstają z nich planety. W ten sposób wewnątrz US powstają planety o powierzchni skalistej (kondensacja związków ciężkich), następnie planety olbrzymie o budowie gazowej-cieczowej i najdalej położone zmrożone mniejsze ciała. Okazuje się, że nie wszystkie planetozymale tworzą planety. Wpływ już powstałych dużych planet nie pozwala planetozymalom na łączenie się. Reguła Titusa-Bodego mówi, że istnieje związek pomiędzy średnimi odległościami od Słońca dla kolejnych planet. Średnie odległości przyjmują wartości  $a = 0.4 + 0.3 \cdot k$ , gdzie  $k = 0, 1, 2, 4, 8, 16, 32 \dots$ . Reguła ta nie ma uzasadnienia teoretycznego i została sformułowana na podstawie obserwacji. Daje ona dość dobre wyniki dla wszystkich planet oprócz Neptuna. Najważniejszym wyjątkiem od reguły Titusa-Bodego jest brak planety w odległości około 2.8 AU od Słońca pomiędzy Marsem a Jowiszem. Wpływ grawitacyjny Jowisza nie pozwolił na powstanie pomiędzy nim a Marsem kolejnej planety. Nie połączone planetozymale pozostały w tamtym miejscu tworząc pas główny planetoid. Ich ciągłe zderzenia doprowadziły do jeszcze większego rozdrobnienia tych obiektów. Z kolei planetozymale będące poza orbitą Jowisza zostały przez oddziaływanie grawitacyjne dużych planet wypchnięte poza orbity Uranu i Neptuna dając początek obiektom transneptunowym. W ten sposób zasilili one pas Kuipera i obłok Oorta.

W wyniku tworzenia się coraz większych skupisk materii i wzrostu grawitacji następował wzrost ciśnienia i temperatury wewnątrz tych obiektów przy jednoczesnym zmniejszaniu rozmiarów. Dzięki temu procesowi i ogrzewaniu poprzez rozpad krótko żyjących izotopów promieniotwórczych planetoidy na początku swojego istnienia uległy wewnętrznemu stopieniu. Ze względu na niewielkie rozmiary planetoid w ich wnętrzach panowały stosunkowo niskie temperatury i ciśnienia. Z tego powodu płynne wypełnione lawą jądra szybko zastygły a ciepło rozproszyło się. Dla dużych obiektów, takich jak Westa (560×578×458 km), wulkanizm<sup>3</sup> nie trwał dłużej niż 100 - 200 milionów lat. To niewiele w porównaniu z wiekiem Układu Słonecznego, który wynosi około 4.6 miliarda lat. Między innymi dzięki temu udało się ustalić, że źródłem bardzo starych meteorytów znalezionych na Ziemi jest planetoida Westa. Mowa tutaj o eukrytach, które mają budowę bazaltową. Ze względu na to, że planetoidy są złożone w dużej mierze z nieprzekształconej materii pierwotnej ich badania pozwalają dowiedzieć się więcej o początkach US.

### ***1.3. Rozmieszczenie planetoid w Układzie Słonecznym***

Obecnie w Układzie Słonecznym znanych jest około 415 tysięcy planetoid. Pierwszym odkrytym obiektem był Ceres, który obecnie uznawany jest za planetę karłowatą. Było to w 1801 r. Większość z planetoid krąży wokół Słońca w pasie głównym planetoid. Rozciąga się on w odległości od 2.06 AU do 3.65 AU od Słońca. Planetoidy potrafią mieć mocno eliptyczne orbity o dużych kątach nachylenia do ekliptyki. Pas główny planetoid znajduje się zdecydowanie bliżej Marsa niż Jowisza, ze względu na duży wpływ grawitacyjny tej drugiej planety:

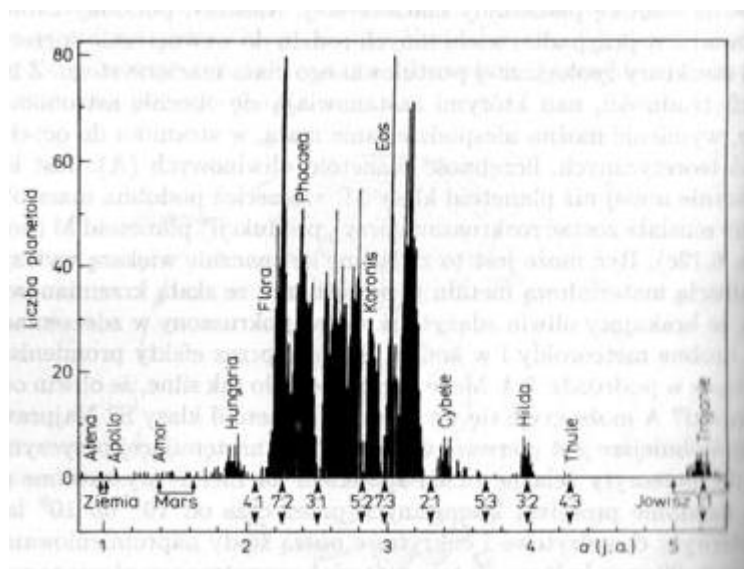


**Rysunek 1. Pas główny planetoid<sup>4</sup>**

<sup>3</sup> Wulkanizm planetoid na podstawie książki „Od gwiazdowego pyłu do planet ...”, Harry Y. McSween JR., str. 125-126, wyd. Prószyński i S-ka, Warszawa 1996 r.

<sup>4</sup> Obraz pobrano ze strony <http://proksima.centauri.w.interia.pl/planetoidy/planetoidy3.html>

Pas główny nie jest jednakowo wypełniony planetoidami. Zdarzają się w nim obszary gęsto wypełnione oraz przerwy. Rysunek 2 przedstawia rozmieszczenie planetoid w pasie głównym:

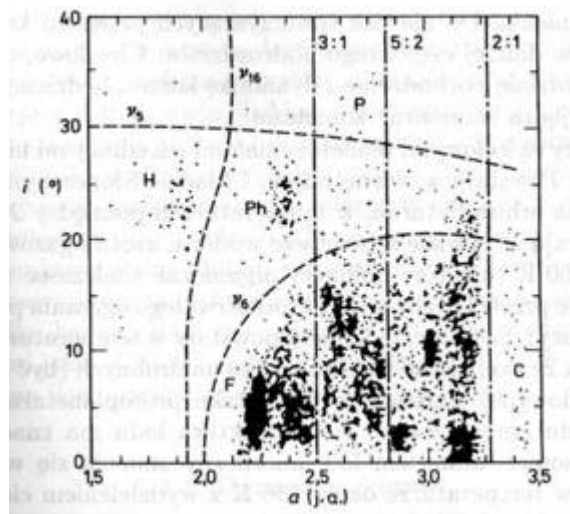


Rysunek 2. Przerwy Kirkwooda<sup>5</sup>

Planetoidy zostały przedstawione na wykresie ilości planetoid od średniej odległości od Słońca. Widoczne przerwy są nazywane przerwami Kirkwooda. Występują one w miejscach gdzie stosunek okresu obiegu asteroidy wokół Słońca do okresu obiegu Jowisza ( $P_a : P_J$ ) przybiera charakterystyczne wartości. Tak powstają przerwy dla wartości 3:1 (2.5 AU), 5:2 (2.82AU), 7:3 (2.98AU) itd. Fakt powstania przerw tłumaczony jest poprzez rezonanse pomiędzy Jowiszem a planetoidami znajdującymi się w tych konkretnych miejscach. Z kolei dla wartości 3:2, 4:3, 1:1 planetoidy tworzą liczne skupiska. Rodziny planetoid wzięły swoje nazwy od ich najważniejszych członków. Są to między innymi rodziny planetoid Hungaria, Flora, Phocaea, Koronis, Eos, Cybele, Hilda i Thule. W pasie głównym znajduje się ponad 220 planetoid o średnicy większej niż 100 km .

Niektóre z przerw nie są jednak spowodowane rezonansem pomiędzy ruchem planetoidy a ruchem Jowisza. Mowa tutaj między innymi o przerwie o wartości 4:1. Przyczyną są tutaj rezonanse wiekowe (sekularne). Zachodzą one gdy szybkość precesji orbity planetoidy jest równa jednej z 18 częstości własnych Układu Słonecznego. Trzy główne rezonanse oznaczone są jako  $v_5$ ,  $v_6$  i  $v_{16}$ . Powodują one destabilizację orbity asteroidy poprzez zmianę jej mimośrodów lub nachyleń. Linie tych rezonansów zaznaczono na rysunku 3 przedstawiającym nachylenia planetoid w zależności od średniej odległości od Słońca:

<sup>5</sup> Wykres został zaczerpnięty z książki „Astrofizyka układów planetarnych”, Paweł Artymowicz, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1995, str. 308

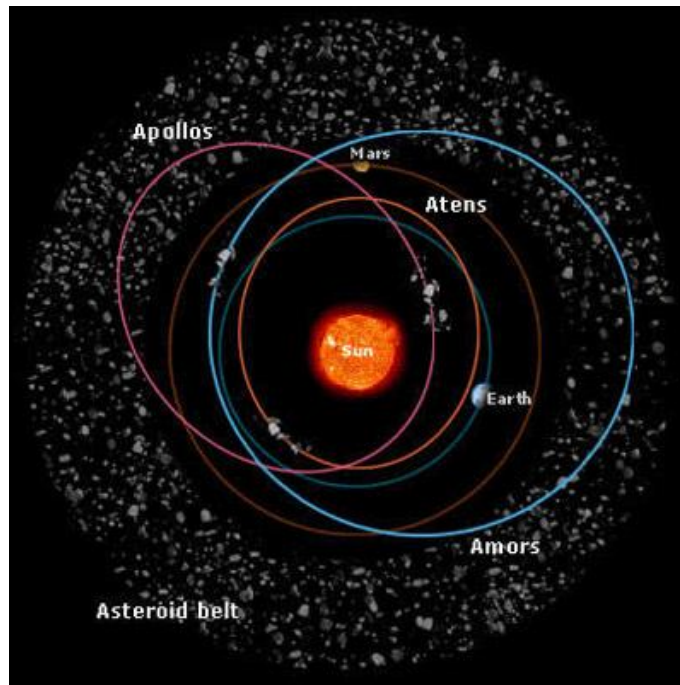


Rysunek 3. Rezonanse wiekowe<sup>6</sup>

Szczególnie puste są miejsca w których pokrywają się linie rezonansów wiekowych i rezonansów ruchu.

Część obiektów z pasa głównego na skutek rezonansów jest wyrzucana ze swoich orbit. Obiekty te często wędrują bliżej Słońca zasilając w ten sposób grupy planetoid bliskich Ziemi oraz stając się źródłem meteoroidów. Rezonanse w pasie głównym powodują, że orbity tych wyrzuconych obiektów są chaotyczne, mają duże nachylenia (**i**) oraz mimośrodowości (**e**). Obiekty te to Near Earth Objects (NEO) czyli obiekty bliskie Ziemi. Nazywane są również często NEA, czyli Near Earth Asteroids. Jednak ze względu na to, że są to zarówno asteroidy jak i meteoroidy częściej używa się nazwy NEO. Ich orbity są zbliżone do orbity ziemskiej. Trzy główne grupy NEO to rodziny planetoid Apollo, Amor, Aten. Nazwy pochodzą od głównych obiektów grup. NEO są zazwyczaj obiektami małymi o średnicach nie przekraczających 10 km. Rysunek 4 przedstawia rozmieszczenie NEO:

<sup>6</sup> Wykres został zaczerpnięty z książki „Astrofizyka układów planetarnych”, Paweł Artymowicz, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1995, str. 311



Rysunek 4. Rozmieszczenie NEO<sup>7</sup>

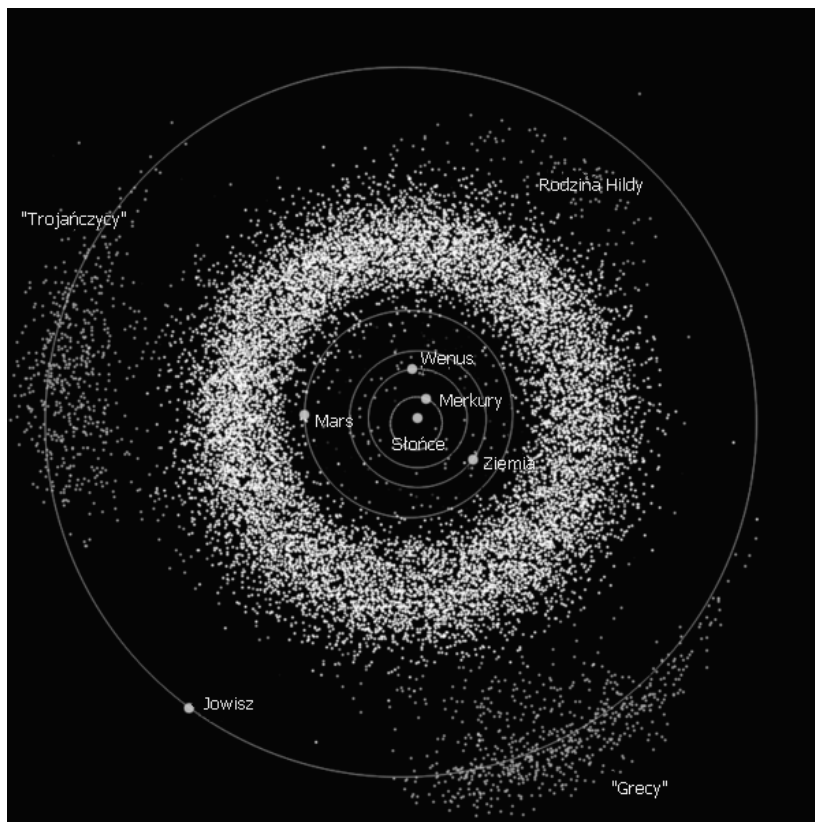
- Grupa Amora – są to planetoidy o orbicie położonej w większości w pasie głównym, które jednak zbliżają się w pewnym miejscu do orbity Ziemi. Przedstawicielem tej grupy planetoid jest między innymi Eros.
- Grupa Apolla – są to planetoidy jeszcze bardziej zbliżone do Słońca. W swoim ruchu przecinają orbitę Ziemi jak i orbitę Wenus. Przedstawicielem tej grupy są również planetoidy Ikar i Tualatis.
- Grupa Atena – są to planetoidy krążące wewnątrz orbity ziemskiej. Ich średnia odległość od Słońca jest mniejsza niż 1 AU. W aphelium mogą się znajdować poza orbitą Ziemi<sup>8</sup>. Nazwa grupy pochodzi od planetoidy o nazwie męskiego rodzaju Aten (lub Aton). Oprócz planetoidy Aten do grupy tej należy również między innymi Apophis.

Planetoidy z grup NEO są niebezpieczne dla Ziemi ze względu na ich zmieniającą się orbitę. Zagrożenie ze strony NEO skutkuje zwiększeniem ilości obserwacji tych obiektów i ciągłym monitorowaniem orbit.

Poza pasem głównym również znajdują się grupy planetoid. Pierwsze z nich znajdują się już na orbicie Jowisza. Mowa tutaj o „Trojańczykach” i „Grekach”. Nazwy obiektów zaczerpnięto od bohaterów „Iliady” Homera. Ich położenie przedstawia rysunek 5:

<sup>7</sup> Obraz pobrany ze strony <http://jumk.de/astronomie/solar-system/asteroids.shtml>

<sup>8</sup> Z grupy Atena wyróżnia się czasem grupę planetoid, które zawsze (nawet w aphelium) znajdują się wewnątrz orbity Ziemi. Nazywa się ją grupą Apohele.



Rysunek 5. Planetoidy trojańskie<sup>9</sup>

„Grecy” wyprzedzają Jowisz w obiegu wokół Słońca o 60°. Z kolei „Trojańczycy” podążają za Jowiszem w odległości 60°. Obie grupy znajdują się w punktach Lagrange’a układu Słońce-Jowisz. Są to wierzchołki dwóch trójkątów równobocznych o pozostałych dwóch wierzchołkach znajdujących się w Słońcu i Jowiszu. Największą planetoidą w grupie „Trojańczyków” jest Hektor o rozmiarach 370×200 km. „Trojańczycy” znajdują się w odległości od 5.06 AU do 5.3 AU od Słońca. Okazuje się, że również inne planety posiadają planetoidy typu trojańskiego. Mars posiada co najmniej 4 takie obiekty a Neptun 6.

Następne w kolejności grupy planetoid znajdują się pomiędzy orbitami Saturna i Neptuna. Są to Centaury. Zostały odkryte dopiero w latach 70tych XX wieku. Część z nich ma orbity bardzo wydłużone sięgające poza orbitę Neptuna.

Ostatnią z grup stanowią Transneptunowce. Są to planetoidy znajdujące się poza orbitą Neptuna. Obszar ten często nazywany jest pasem Kuipera. Jest on mało zbadany. Wśród obiektów transneptunowych wyróżniono między innymi:

- Plutonki – obiekty krążące w rezonansie 3:2 z orbitą Neptuna,
- Cubewano – obiekty nie wykazujące rezonansów z Neptunem,
- Twotino - obiekty krążące w rezonansie 2:1 z orbitą Neptuna.

Największe obiekty z pasa Kuipera nazwano Plutoidami. Są to między innymi Pluton i Eris. Poza pasem Kuipera rozciąga się obszar dysku rozproszonego a następnie obłok Oorta. Szacuje się, że zawiera bardzo dużo obiektów wyrzuconych poza pas Kuipera w czasie formowania się Układu Słonecznego. Niestety o tych obszarach wiadomo bardzo niewiele.

<sup>9</sup> Grafika pobrana ze strony <http://pl.wikipedia.org/wiki/Troja%C5%84czycy>

#### ***1.4. Budowa planetoid i ich własności fizyczne***

Powierzchnia planetoid prawdopodobnie pokryta jest warstwą luźnych kawałków skał i pyłu. Warstwę taką nazywa się regolitem<sup>10</sup> (co oznacza kamienne przykrycie). W ciągu setek tysięcy lat planetoidy ulegały wzajemnym zderzeniom. Częste były również upadki meteorytów. Część skruszonych w ten sposób skał i pyłów ze względu na małą grawitację planetoid została wyrzucona w przestrzeń kosmiczną. Część jednak pozostała i okryła macierzyste ciało warstwą gruzu i pyłu. Trudno określić, czy wszystkie planetoidy były w stanie utrzymać regolit i oraz jaka jest jego grubość. Niewiele jest tutaj bezpośrednich badań. Jednak zdjęcia wykonane przez sondy kosmiczne pokazują, że większe planetoidy mają co najmniej cienką warstwę regolitu:



**Rysunek 6. Planetoida Gaspra<sup>11</sup>**

Gaspra została sfotografowana z bliska przez sondę Galileo w 1991 r. Ma nieregularny kształt i rozmiary 18,2×10,5×8,9 km . Widoczne na zdjęciach zaokrąglone kraterki wskazują na istnienie regolitu wypełniającego i wygładzającego zagłębienia.

Bezpośrednim dowodem na istnienie regolitu na planetoidach są niektóre odnalezione na Ziemi meteoryty. Mowa tutaj między innymi o meteorycie z Dwaleni (Suazi). Jego skład chemiczny zgadza się ze składem planetoid poznanych dzięki badaniom ich widm. Meteoryty te złożone są z kanciastych odłamków skalnych zlepionych drobnym pyłem. Nazywane są brekcjami. Takie brekcje musiały powstać z regolitu na planetoidzie a potem w wyniku zderzeń zostać wyrzucone w przestrzeń skąd po pewnym czasie trafiły na Ziemię. Słaba grawitacja planetoid pozwala wnioskować, że tylko drobne ziarna i pył pozostają na powierzchni planetoidy. Mogą one za to po wyrzuceniu w wyniku upadku meteorytu rozprzestrzeniać się daleko i szczelnie pokryć całą powierzchnię planetoidy. Zatem regolit na planetoidach

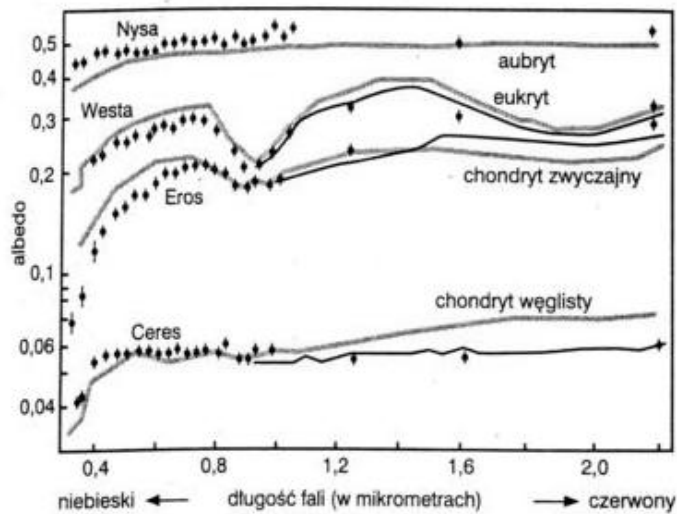
<sup>10</sup> Przy opisie powierzchni planetoid korzystałem z książki „Od gwiazdowego pyłu do planet ...”, Harry Y. McSween JR., str. 167-172, wyd. Pruszyński i S-ka, Warszawa 1996 r.

<sup>11</sup> Obraz pobrany ze strony <http://www.pd.astro.it/mostra/NEW/A2001SIS.HTM>

prawdopodobnie ma postać grubej warstwy drobnych odłamków, pyłu i piachu, co może być ważną informacją przy planowaniu lądowania na takim obiekcie<sup>12</sup>.

Jak wiadomo planetoidy nie świecą własnym światłem lecz odbijają światło słoneczne. Ten fakt pozwala określić jaką zdolność odbijania światła posiada dana planetoida. Zdolność ta nazywa się albedo. Planetoidy najlepiej odbijające światło mają albedo dochodzące do 0.5 co oznacza, że odbijają połowę padającego na nie światła. Istnieją również planetoidy o albedo bardzo niskim. Na albedo ma wpływ po pierwsze budowa powierzchni planetoidy i stopień jej sproszkowania oraz zawarte w niej minerały.

Pomiar albedo to nie jedyna wiedza, jaką można uzyskać o danym obiekcie. Rozszczepiając odbite od planetoidy światło za pomocą siatki dyfrakcyjnej, można uzyskać jego widmo. Porównując go z wzorcowym widmem światła słonecznego można stwierdzić dla jakich długości fali następuje absorpcja a dla jakich emisja światła. Znając te długości fali łatwo znaleźć związki, które są odpowiedzialne za te procesy a więc związki z których zbudowana jest planetoida. W ten sposób albedo i spektrometria dostarczają informacji o budowie planetoid.



Rysunek 7. Albedo planetoid i meteoroidów<sup>13</sup>

Rysunek 7 przedstawia albedo kilku przykładowych planetoid. Są to Nysa, Westa, Eros i Ceres. Czarnymi kropkami i liniami zaznaczono zależność albedo planetoid od długości fali. Jednocześnie szarymi liniami dla porównania zaznaczono albedo różnych rodzajów meteoroidów. Podobieństwa przebiegu pozwalają sądzić o wspólnym pochodzeniu i podobnej budowie konkretnych typów meteoroidów i planetoid.

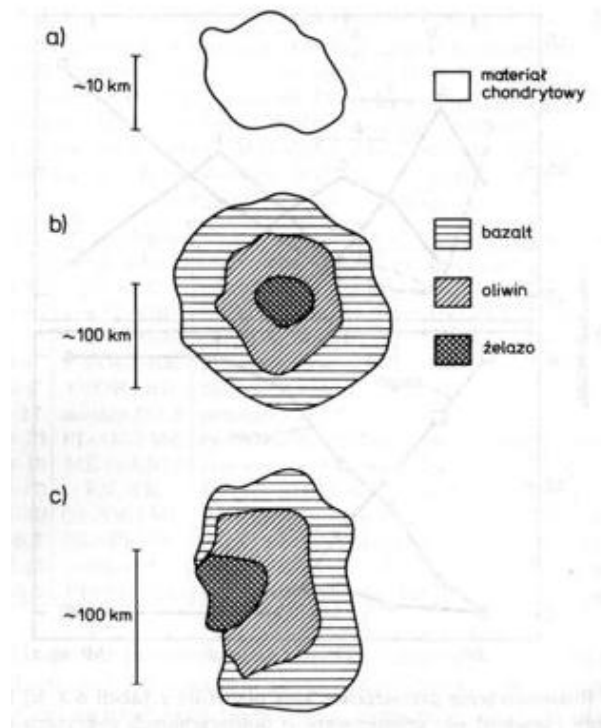
Ponadto badając jak zmienia się jasność planetoidy można określić w przybliżeniu jej kształt. Planetoidy mają okresy rotacji zazwyczaj kilka lub kilkunasto godzinne. Ponieważ małe obiekty mają w większości bardzo nieregularny

<sup>12</sup> Do tej pory tylko jedna sonda kosmiczna lądowała na planetoidzie. Była to planetoida Eros na której w 2001 r. wylądowała sonda kosmiczna NEAR Shoemaker. Sonda początkowo nie miała lądować na asteroidzie i nie była do tego przystosowana. Przy użyciu silników manewrujących z niewielką prędkością osiadła na powierzchni planetoidy i nawiązała łączność. Fakt ten pozwala sądzić, że obfity sypki regolit zamortyzował lądowanie.

<sup>13</sup> Wykres zaczerpnięty z książki „Od gwiazdowego pyłu do planet ...”, Harry Y. McSween JR., str. 202, wyd. Prószyński i S-ka, Warszawa 1996 r.

kształt ma to istotny wpływ na natężenie odbijanego światła. Im większa powierzchnia zwrócona w stronę obserwatora tym większa jasność obiektu. Niektóre z takich obserwacji pozwalają sądzić, że planetoidy mają księżyce lub są obiektami podwójnymi.

Procesy zachodzące podczas powstawania planetoid pozwalają wiele powiedzieć o ich budowie wewnętrznej. W efekcie krótkiej aktywności wulkanicznej niektóre z planetoid wykształciły wewnętrzne ciężkie jądro oraz płaszcz i skorupę. Następnie podlegały dużej ilości zderzeń spowodowanych wpływem grawitacji Jowisza. W efekcie część z nich utraciła częściowo lub całkowicie płaszcz otaczający jądro:



**Rysunek 8. Budowa wewnętrzna planetoidy<sup>14</sup>**

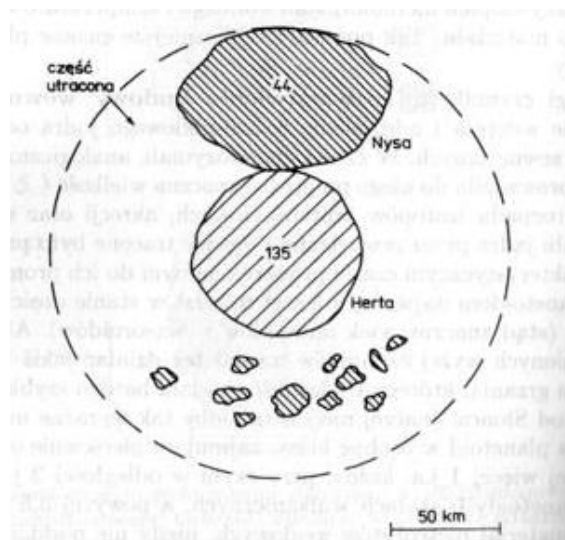
Na rysunku 8 przedstawiono trzy typy budowy planetoid. W punkcie b) przedstawiono obiekty o rozmiarach powyżej 100 km, które miały w swoim życiorysie okres wulkaniczny. Nie uległy one jednak wielkim zderzeniom i zachowały w pierwotnym stanie (np. Westa). Pozostałe duże obiekty przedstawia punkt c). Uległy one dużym zderzeniom co skutkowało odsłonięciem jądra. Taki obiekt staje się źródłem meteorytów. Punkt a) przedstawia planetozymale o wielkości rzędu 10 km. Ze względu na małe rozmiary nie uległy one wulkanizacji i przechowują materiał pierwotny do dziś. Większość planetoid ma budowę przedstawioną w punkcie a).

Powstałe na jednej z trzech dróg zaprezentowanych na rysunku 8 obiekty podlegały dalszym zderzeniom. Ta fragmentacja to pierwszy fakt tłumaczący tak duże zróżnicowanie w budowie planetoid. Kolejną ważną przyczyną tego zróżnicowania jest miejsce powstania planetoidy. Tak jak planety również planetoidy kondensowały z różnych związków w zależności od odległości od Słońca, co miało ogromny wpływ na ich budowę. Planetoidy w pasie głównym mają więc w większości budowę skalistą

<sup>14</sup> Wykres został zaczerpnięty z książki „Astrofizyka układów planetarnych”, Paweł Artymowicz, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1995, str. 304

i są ciałami stałymi. Planetoidy znajdujące się dalej można nazwać „lodoidami” gdyż składają się większości ze zmrożonych gazów, pyłów i skał.

Niektóre rodziny planetoid o podobnej budowie są „podejrzewane” o pochodzenie z jednego ciała macierzystego. W wyniku zderzenia ciało to rozpadło się na kawałki, które krążą wciąż blisko siebie. Tak mogła powstać rodzina planetoid Nysa:



Rysunek 9. Ciało macierzyste rodziny planetoid Nysa<sup>15</sup>

Na rysunku 9 zaznaczono planetoidę typu M Herta, planetoidę typu E Nysa oraz kilka mniejszych planetoid typu E o podobnych elementach orbitalnych. Niedobór utraczonej części planetoid typu E jest tłumaczony małą wytrzymałością krzemianów w porównaniu z planetoidami metalicznymi. Mogły one ulec rozdrobnieniu i stać się meteoroidami.

Wszystkie te czynniki wpływają na gęstość planetoid. Dla obiektów z ciężkim żelaznym jądrem (Westa) osiąga ona  $3.4 \text{ g/cm}^3$ . Z kolei kamieniste planetoidy o niezróżnicowanej budowie mają gęstość około  $2.5 \text{ g/cm}^3$  (Pallas). Dla porównania gęstość Ziemi wynosi około  $5.5 \text{ g/cm}^3$ . Z powodu małej masy planetoidy mają bardzo małe przyciąganie. Masa jednej z większych planetoid jaką jest Westa wynosi około  $2.8 \cdot 10^{20} \text{ kg}$  (masa Ziemi to około  $6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ ). Dlatego podczas lądowania sondy na planetoidzie istnieje niebezpieczeństwo odbicia od powierzchni. Planowane sondy kosmiczne mają być zatem wyposażone w specjalne kotwy wystrzeliwane tuż przed opadnięciem sondy na powierzchnię.

### 1.5. Podział planetoid

Poznanie albedo i widma spektralnego wielu planetoid pozwala przeprowadzić ich klasyfikację<sup>16</sup> i wyodrębnić grupy o takiej samej budowie. Najczęściej występują trzy typy planetoid:

<sup>15</sup> Wykres został zaczerpnięty z książki „Astrofizyka układów planetarnych”, Paweł Artymowicz, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1995, str. 306

Typ C – to ponad 75% wszystkich planetoid. Charakteryzują się niskim albedo na poziomie 0.03 – 0.08 gdyż w składzie powierzchni przeważa węgiel. Albedo jest stałe dla różnych długości fali. Stąd są one neutralne pod względem barwy. Do tego typu należą największe planetoidy. Przykładem jest Erato

Typ S – to około 17% wszystkich planetoid. Są jaśniejsze o albedo na poziomie 0.10 – 0.22. Na powierzchni występuje krzem i krzemiany. Ich skład podobny jest do meteorytów chondrytowych. Najprawdopodobniej są ich źródłem. Często mają średnice rzędu 100 -200 km . Przykładem jest Eunomia.

Typ M – to 8% znanych planetoid. Mają albedo na poziomie 0.10 – 0.20. Zawierają sporo pierwiastków metalicznych, min. żelazo i nikiel. Przykładem jest Kaliope.

Typy planetoid C, S oraz M są najczęściej występujące. Pozostałe typy wymienione poniżej reprezentują śladowe ilości obiektów. Część z nich to podgrupy wyróżnione z typów C, S oraz M:

Typ E – wysokie albedo na poziomie 0.3 lub większym. Zawierają krzemian o nazwie enstatyt. Są źródłem meteorytów chondrytów enstatytowych. Przykładem jest Angelina.

Typ V – skład powierzchni podobny do typu S (krzem i krzemiany) ale z większą ilością piroksenu. Przykładem jest Westa

Typ G – podtyp planetoid typu C. Również duża zawartość węgla. Dodatkowe linie absorpcyjne w ultrafiolecie. Przykładem jest planeta karłowata Ceres.

Typ B – planetoidy podobne do typów C i G z tym, że posiadają odstępstwa w ultrafioletowym obszarze widma. Przykładem jest Pallas.

Typ F – podtyp typu C, różnice w ultrafioletowym obszarze widma. Ponadto brak linii absorpcyjnych dla wody. Przykładem jest Aurelia.

Typ P – planetoidy o bardzo niskim albedo. Najjaśniej świecą w obszarze czerwonym widma. Zawierają krzemiany i związki węgla. Często na obrzeżach pasa głównego. Przykładem jest Erna.

Typ D – planetoidy podobne do typu P. Niskie albedo i duża jasność w czerwonym obszarze widma. Przykładem jest Achilles.

Typ R – planetoidy podobne do typu V. Zawierają dużo oliwinu i piroksenu. Przykładem jest planetoida o nazwie Dembowska.

Typ A – posiadają w widmie mocne linie oliwinu. Albedo na poziomie 0.13 – 0.35. Mają czerwony kolor. Przykładem jest Eureka.

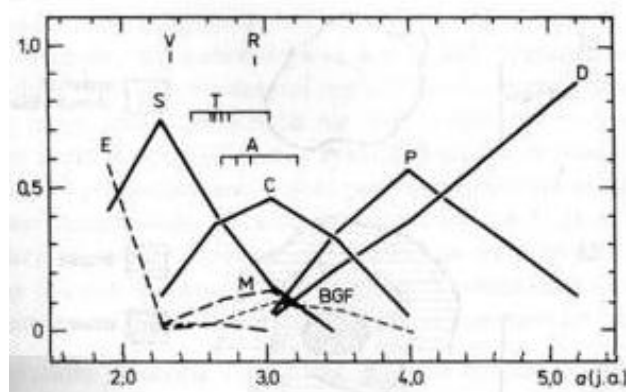
---

<sup>16</sup> Klasyfikacja planetoid wg <http://www.nineplanets.org/asteroids.html> oraz pracy licencjackiej studentki Uniwersytetu Pedagogicznego Iwony Ulman napisanej w roku 2008 pod tytułem „Własności fizyczne planetoid”, rozdział 1.3, str. 6-7.

Typ T – posiadają widmo ciemnoczerwone, różne od typów P i R. Przykładem jest Cassandra.

Typ Q – podobne do typów S i V. Przykładem jest Apollo.

Rozpowszechnienie typów planetoid zależne jest od odległości od Słońca. Rysunek 10 przedstawia ilość planetoid danego typu w zależności od odległości:



Rysunek 10. Rozmieszczenie typów planetoid<sup>17</sup>

Na osi pionowej 0 oznacza 0% planetoid na danej odległości a 1 oznacza 100% planetoid na danej odległości. Na wykresie widać najpierw przewagę planetoid typu S (krzem) w odległości około 2.2 AU. Oddalając się od Słońca coraz więcej jest planetoid typu C (węgiel) w odległości około 3.0 AU. Z kolei w dalszych odległościach 4.0 AU – 5.4 AU przeważają ciemne planetoidy typu P i D.

<sup>17</sup> Wykres został zaczerpnięty z książki „Astrofizyka układów planetarnych”, Paweł Artymowicz, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1995, str. 303

## 2. Obserwacje astrometryczne

### 2.1. Definicja astrometrii<sup>18</sup>

Dzisiejsza astronomia ma bardzo wiele działów a jej rozwój jest imponujący. Jednak najstarszym z tych działów, który dał początek całej astronomii jest astrometria. Czasem nazywa się ją astronomią pozycyjną. Zadaniem astrometrii jest dokonywanie pomiarów położenia i ruchów własnych obiektów niebieskich. Astrometria zawiera w sobie zarówno matematyczny opis ruchów i położenia na sferze niebieskiej jak i teorię potrzebnych do dokonania tego opisu przyrządów obserwacyjnych, metod obserwacyjnych i sposobów opracowania obserwacji. Mimo upływu lat astrometria w dalszym ciągu jest w astronomii bardzo ważna. Jest podstawą konieczną dla istnienia innych gałęzi astronomii. Z tej przyczyny astrometria rozwija się nadal w sposób bardzo dynamiczny udostępniając coraz dokładniejsze pomiary i coraz obszerniejsze katalogi gwiazd.

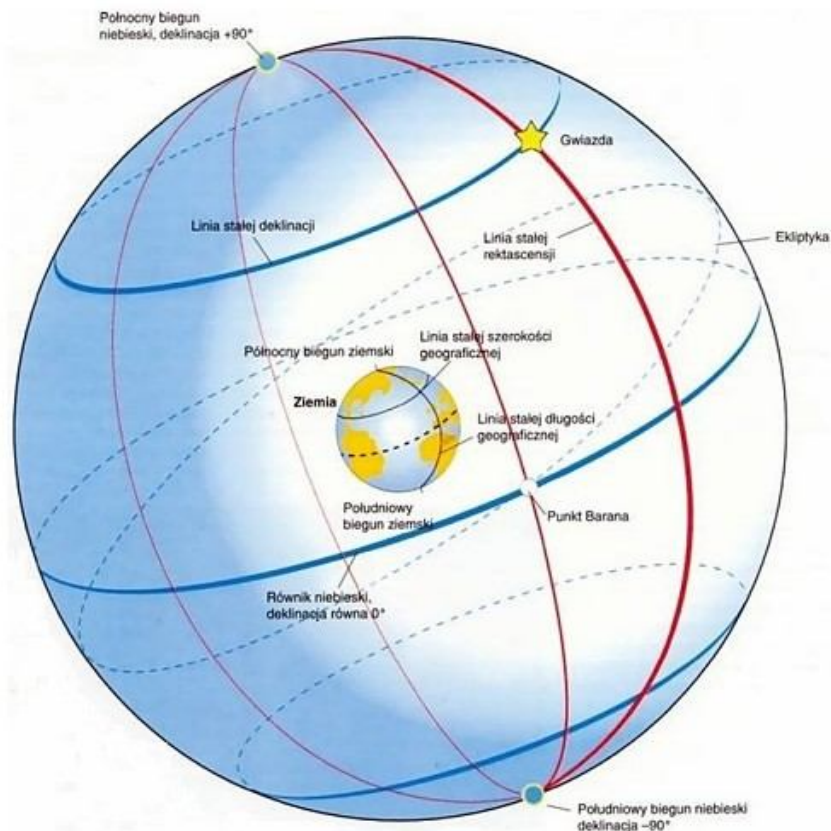
### 2.2. Układ współrzędnych

Aby wyznaczyć położenie obiektu na niebie trzeba sobie najpierw uzmysłowić co to za obiekt. W przypadku gwiazdy jest ona na tyle daleko, że utożsamia się ją z obiektem bezwymiarowym czyli wyznacza położenie punktu. W przypadku ciała rozciągniętego czyli planety lub jądra komety wyznacza się położenie najczęściej środka geometrycznego tego ciała, czyli punktu związanego z tym środkiem.

Gwiazdy i obiekty obserwuje się potocznie mówiąc „na niebie”. W języku astronomicznym mówi się, że znajdują się one na sferze niebieskiej. Sfera niebieska jest kulą, której środek znajduje się w miejscu obserwacji. Promień tej kuli jest nieokreślony a na jej powierzchni, którą widać od wewnątrz, znajdują się gwiazdy. Powstanie sfery niebieskiej związane jest z możliwościami ludzkiego wzroku i umysłu. Widzi on jednakowo gwiazdy dalekie jak i bliskie przez co wydaje się nam, że wszystkie one znajdują się w jednakowej odległości od nas sprawiając wrażenie kopuły. Ruch obrotowy Ziemi wyznacza na sferze niebieskiej pewne bardzo ważne miejsca. Oś wzdłuż, której obraca się Ziemia przecina sferę niebieską w dwóch punktach. W ten sposób na północnej stronie sfery niebieskiej powstaje północny biegun niebieski, a na południowej stronie południowy biegun niebieski. Płaszczyzna ziemskiego równika przecinając sferę niebieską tworzy równik niebieski. Umieszczenie tych linii i punktów na sferze niebieskiej przedstawia rysunek 11:

---

<sup>18</sup> Definicja astrometrii na podstawie artykułu z Wikipedii <http://pl.wikipedia.org/wiki/Astrometria> oraz książki „Instrumenty obserwacyjne astrometrii od gnomonu do CCD i interferometru optycznego”, Hieronim Hurnik, wydawnictwo naukowe UAM, Poznań 2000, str. 9



Rysunek 11. Sfera niebieska <sup>19</sup>

Aby wyznaczyć położenie danego obiektu potrzebne jest stworzenie na sferze niebieskiej układu współrzędnych. Niezbędne jest do tego opisanie punktu Barana. Jest to punkt przecięcia równika niebieskiego z ekliptyką. Wyznacza go wiosenny moment przejścia Słońca przez równik niebieski. Punkt Barana oznaczany jest znakiem  $\Upsilon$ .

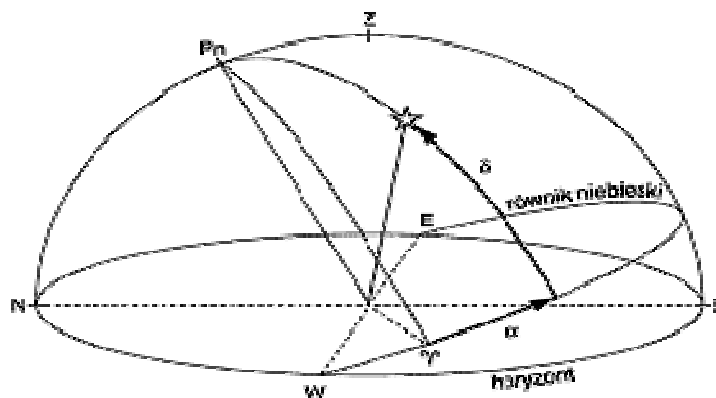
Wiedząc to wszystko można już mówić o Układzie Współrzędnych Równikowych Równonocnych. Aby wyznaczyć położenie gwiazdy w takim układzie należy podać dwie współrzędne – rektascensję i deklinację.

Deklinacja – jest to kąt pomiędzy kierunkiem do danej gwiazdy a płaszczyzną równika niebieskiego. Oznacza się ją literą  $\delta$ . Dla równika  $\delta = 0^\circ$ , dla bieguna północnego  $\delta = +90^\circ$ , dla bieguna południowego  $\delta = -90^\circ$ . Wartości deklinacji należą do przedziału  $\langle -90^\circ; +90^\circ \rangle$ .

Rektascensja – jest to kąt dwuścienny pomiędzy półkolem przechodzącym przez punkt Barana a półkolem przechodzącym przez daną gwiazdę. Oznacza się ją literą  $\alpha$ . Dla punktu Barana  $\alpha = 0$  h. Wartości rektascensji należą do przedziału  $\langle 0h; 24h \rangle$ . Rektascensję mierzy się w kierunku wschodnim zgodnie z kierunkiem ruchu rocznego Słońca.

Rektascensję i deklinację dla przykładowej gwiazdy prezentuje rysunek 12:

<sup>19</sup> Grafika pobrana ze strony [http://www.astro-czemierniki.pl/readarticle.php?article\\_id=140](http://www.astro-czemierniki.pl/readarticle.php?article_id=140)



Rysunek 12. Układ współrzędnych równikowych równonocnych<sup>20</sup>

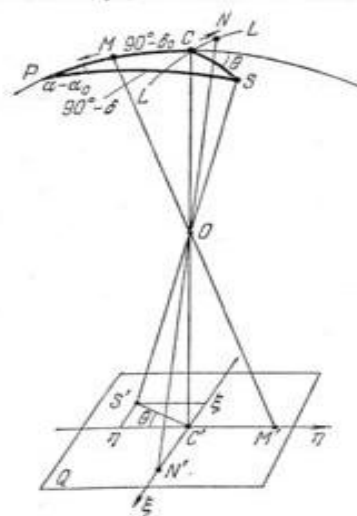
Za pomocą rektascensji i deklinacji możliwe jest wyznaczenie współrzędnych dowolnego obiektu. Ze względu na precesję Ziemi punkt Barana powoli przesuwa się wzdłuż ekliptyki. Z tego powodu współrzędne astronomiczne wyznacza się uwzględniając wpływ precesji na konkretny moment. Obecnie obowiązującym momentem jest 1 stycznia 2000 roku. Wyznaczone współrzędne oznacza się dopiskiem na epokę J2000.0. Uwzględnienie precesji pozwala następnie przeliczać te współrzędne dla dowolnego momentu.

### 2.3. Odzwierciedlenie sfery niebieskiej na płaszczyźnie <sup>21</sup>

Efektom wykonanej obserwacji astrometrycznej jest uzyskanie zdjęcia. Kiedyś były to zdjęcia wykonywane na kliszy fotograficznej, obecnie otrzymuje się zdjęcia cyfrowe wykonane za pomocą kamery CCD. Obraz sfery niebieskiej jest odwzorowywany na matrycy CCD. Sfera niebieska ma oczywiście kształt kulisty natomiast matryca CCD jest płaszczyzną. Odzworowanie to przyporządkowuje zatem powierzchni kulistej płaszczyznę. Rysunek 13 przedstawia szczegóły tego odwzorowania:

<sup>20</sup> Obraz pobrany ze strony <http://www.wiw.pl/astrologia/0301-c2-sfera.asp>

<sup>21</sup> Wzory zawarte w tym rozdziale zostały zaczerpnięte z książki В. В. Шодоба, В. В. Нестероб pod tytułem „Общая астрометрия”, str. 127-129, wydawnictwo Наука, Moskwa 1975 r.



Rysunek 13. Odzworowanie sfery niebieskiej na płaszczyźnie<sup>22</sup>

Punkt na sferze niebieskiej przez który przechodzi oś optyczna teleskopu oznaczony jest współzrędnymi  $(\alpha_0, \delta_0)$ . Współzrędnymi gwiazdy na sferze niebieskiej to  $(\alpha, \delta)$ . Jeśli przedłużymy oś optyczną teleskopu to przetnie ona płaszczyznę detektora (np. chipu CCD) w punkcie o współzrędnymi  $(\xi_0, \eta_0)$  na matrycy. Współzrędnymi  $(\xi_0, \eta_0)$  to jednocześnie początek prostokątnego układu współzrędnymi określającego położenie na matrycy. Z kolei  $(\xi, \eta)$  to współzrędnymi obrazu gwiazdy w tym układzie. Po otrzymaniu zdjęcia, odczytuje się współzrędnymi gwiazdy  $(\xi, \eta)$  na matrycy CCD. Są to po prostu numery pikseli. Można je określić z dokładnością większą niż jeden piksel o czym będzie napisane jeszcze później. Istotą problemu jest otrzymanie ze współzrędnymi  $(\xi, \eta)$  nieznanymi współzrędnymi  $(\alpha, \delta)$  gwiazdy. Istnieją następujące zależności

$$\xi = \operatorname{tg} \sigma \cdot \sin \theta, \quad \eta = \operatorname{tg} \sigma \cdot \cos \theta \quad (1)$$

gdzie  $(\sigma, \theta)$  są współzrędnymi gwiazdy na niebie w innym układzie współzrędnymi. Układ ten jest układem współzrędnymi sferycznymi z promieniem  $R$  równym promieniowi sfery niebieskiej. Kąt  $\theta$  jest kątem azymutalnym a kąt  $\sigma$  kątem zenitalnym. Początek układu znajduje się w punkcie  $O$ . Zależności te pozwalają przeliczyć współzrędnymi  $(\xi, \eta)$  obiektu na współzrędnymi sferyczne  $(\sigma, \theta)$ . Z kolei transformację współzrędnymi sferycznymi do współzrędnymi  $(\alpha, \delta)$  umożliwiają następujące zależności trygonometryczne:

$$\begin{aligned} \cos \sigma &= \sin \delta \sin \delta_0 + \cos \delta \cos \delta_0 \cos (\alpha - \alpha_0), \\ \sin \sigma \sin \theta &= \cos \delta \sin (\alpha - \alpha_0), \\ \sin \sigma \cos \theta &= \sin \delta \cos \delta_0 - \cos \delta \sin \delta_0 \cos (\alpha - \alpha_0). \end{aligned} \quad (2)$$

Po złożeniu tych dwóch transformacji uzyskuje się wzory na przejście z układu  $(\alpha, \delta)$  do  $(\xi, \eta)$ :

$$\xi = \frac{\operatorname{ctg} \delta \sin (\alpha - \alpha_0)}{\sin \delta_0 + \operatorname{ctg} \delta \cos \delta_0 \cos (\alpha - \alpha_0)}, \quad (3)$$

<sup>22</sup> Szkic odzworowania został zaczerpnięty z książki B. B. Шодобеа, В. В. Нестероб pod tytułem „Общая астрометрия”, str. 128, wydawnictwo Hayka, Moskwa 1975 r.

$$\eta = \frac{\cos \delta_0 - \operatorname{ctg} \delta \sin \delta_0 \cos(\alpha - \alpha_0)}{\sin \delta_0 + \operatorname{ctg} \delta \cos \delta_0 \cos(\alpha - \alpha_0)}.$$

Wprowadzenie uproszczenia:

$$\operatorname{ctg} q = \operatorname{ctg} \delta \cos(\alpha - \alpha_0) \quad (4)$$

Skraca wzory do postaci:

$$\xi = \frac{\cos q \operatorname{tg}(\alpha - \alpha_0)}{\cos(q - \delta_0)}, \quad \eta = \operatorname{tg}(q - \delta_0) \quad (5)$$

Można je odwrócić otrzymując możliwość przejścia z układu  $(\xi, \eta)$  do  $(\alpha, \delta)$ :

$$\operatorname{ctg} \delta \cos(\alpha - \alpha_0) = \frac{1 - \eta \operatorname{tg} \delta_0}{\eta + \operatorname{tg} \delta_0}, \quad (6)$$

$$\operatorname{ctg} \delta \sin(\alpha - \alpha_0) = \frac{\xi \sec \delta_0}{\eta + \operatorname{tg} \delta_0}.$$

Obliczenia z użyciem tych wzorów pozwalają programom astronomicznym wyznaczać współrzędne  $(\alpha, \delta)$  obiektu dzięki pomiarom współrzędnych  $(\xi, \eta)$  obrazu gwiazdy na zdjęciu z CCD.

W praktyce proces opisany powyżej lubi się nieco komplikować. Tylko w teoretycznej sytuacji oś optyczna teleskopu przecina płaszczyznę matrycy CCD idealnie w punkcie początkowym układu współrzędnych oznaczonym jako  $(\xi_0, \eta_0)$ . Często punkt przecięcia jest przesunięty względem punktu początkowego układu. Jednocześnie bardzo często oś optyczna nie jest idealnie prostopadła do płaszczyzny zdjęcia. W efekcie odczytując z matrycy współrzędne gwiazdy nie mamy się do czynienia z idealnymi współrzędnymi  $(\xi, \eta)$  obiektu ale z rzeczywistymi współrzędnymi  $(x, y)$ . Konieczne jest uwzględnienie powstałych różnic i podanie wzoru, który umożliwi ze zmierzonych współrzędnych  $(x, y)$  otrzymanie współrzędnych  $(\xi, \eta)$ . Ponieważ możliwe są bardzo różne odchylenia wykorzystuje się dobrze znane współrzędne  $(\xi, \eta)$  dla kilku znanych gwiazd. Następnie mierzy się dla tych gwiazd wartości  $(x, y)$  i metodą najmniejszych kwadratów rozwiązuje układ równań:

$$\xi = ax + by + c + a'x^2 + b'xy + c'y^2 + \dots \quad (7)$$

$$\eta = dx + ey + f + d'x^2 + e'xy + f'y^2 + \dots$$

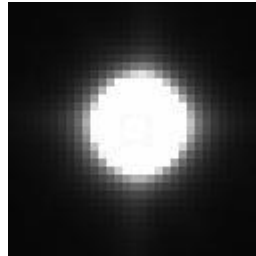
Im więcej gwiazd odniesienia jest znanych, tym większą ilość parametrów  $a, b, c, e, f, g, \dots$  można wyznaczyć. Skutkuje to lepszym dopasowaniem. W praktyce najczęściej ogranicza się do obliczenia 6 parametrów:

$$\xi = ax + by + c, \quad (8)$$

$$\eta = dx + ey + f.$$

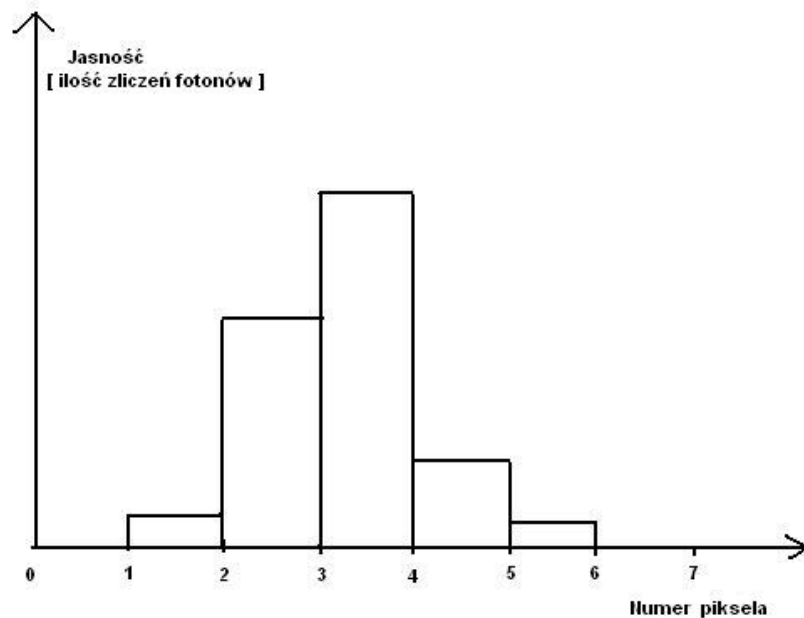
Wyznaczone w ten sposób parametry  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $f$ ,  $g$  używane są do obliczania współrzędnych  $(\xi, \eta)$  ze zmierzonych współrzędnych  $(x, y)$  dla nieznanymi obiektów i gwiazd.

Pewien problem stanowi również dokładne wyznaczenie położenia  $(x, y)$  gwiazdy na zdjęciu zrobionym za pomocą CCD. Ze względu na seeing gwiazda nie zajmuje na zdjęciu jednego piksela lecz pewien obszar złożony z kilku bądź kilkudziesięciu pikseli:



Rysunek 14. Obraz gwiazdy na CCD

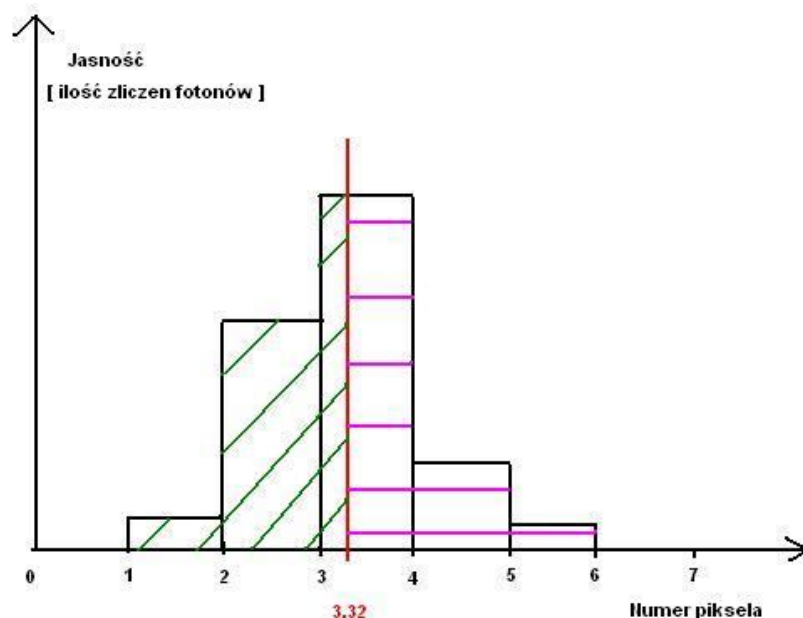
Trzeba więc zastanowić się, który piksel o konkretnych współrzędnych  $(x, y)$  wskazać jako współrzędne gwiazdy. Każdy piksel zebrał pewną porcję światła (fotonów) i zawiera informacje o jasności gwiazdy. Najprościej byłoby za środek gwiazdy uznać piksel o największej jasności. W ten sposób wyznaczy jej współrzędne z dokładnością do jednego piksela. Pomijając, że nie zawsze byłoby to rozwiązanie właściwe można pokusić się o uzyskanie precyzji większej niż jeden piksel. Dla przykładu przedstawiono łatwiejszą, dwuwymiarową sytuację w której widać przekrój gwiazdy:



Rysunek 15. Wyznaczanie położenia gwiazdy na CCD

Rysunek 15 przedstawia jasność pikseli położonych wzdłuż linii przechodzącej przez gwiazdę. Na pierwszy rzut oka widać, że środek gwiazdy znajduje się na obszarze piksela nr 4. Można wykonać prostą operację, która wyznaczy środek ciężkości gwiazdy. Należy przeprowadzić czerwoną linię równoległą do pionowej osi w takim miejscu, aby suma zliczeń po lewej stronie linii była równa sumie zliczeń po prawej

stronie linii. Inaczej mówiąc, pole pod wykresem po lewej stronie czerwonej linii (zakreskowane ukośnie na zielono) powinno być równe polu pod wykresem po prawej stronie czerwonej linii (zakreskowanemu poziomo na fioletowo):



Rysunek 16. Wyznaczanie położenia gwiazdy na CCD – 2

Na przecięciu czerwonej linii z osią poziomą można odczytać znacznie dokładniejsze wskazanie współrzędnych gwiazdy (w tym przypadku  $x = 3.32$ ). Analogiczną operację w trzech wymiarach przeprowadzają automatycznie programy analizujące zdjęcia. W ten sposób metodami numerycznymi wyznaczają środek ciężkości gwiazdy a przez to jej precyzyjne współrzędne (x, y) na CCD z dokładnością większą niż 1 piksel.

## 2.4. Astrometria planetoid z Ziemi

Ponieważ planetoidy są obiektami stosunkowo małymi w czasie poszukiwań konieczne jest wykonanie zdjęć o możliwie maksymalnym zasięgu w jasności obiektów. Aby to osiągnąć stosuje się kilka sposobów:

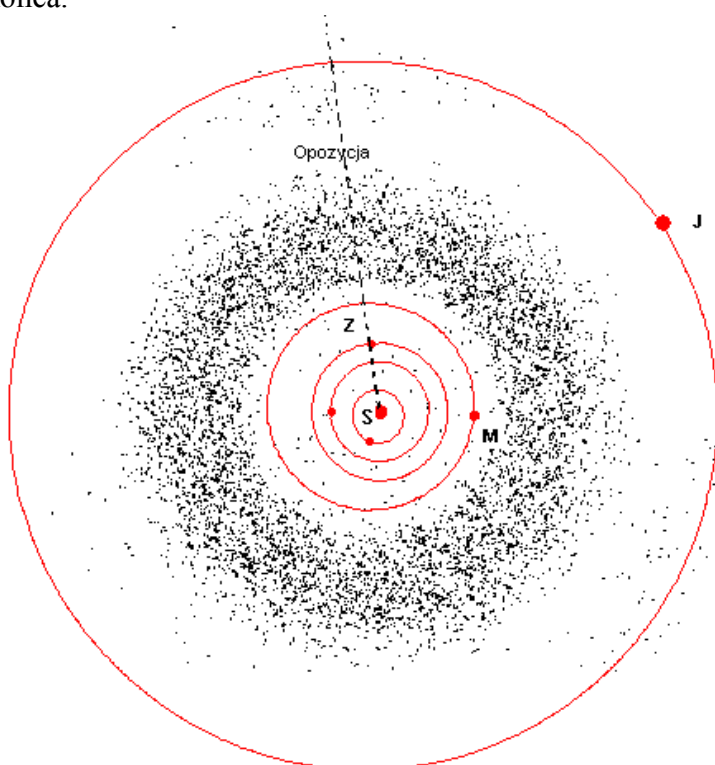
- brak filtrów na teleskopie - wykorzystanie całego światła jakie może zarejestrować dany detektor,
- długi czas naświetlania zdjęcia – rzędu kilku, nawet kilkunastu minut.

W efekcie jasne gwiazdy są bardzo prześwietlone i na zdjęciach widoczne jest charakterystyczne „wylewanie się” gwiazdy. Jednocześnie długi czas naświetlania sprzyja powstawaniu dużej ilości gorących pikseli i zanieczyszczeń, które łatwo uznać za słaby obiekt. Wykonuje się kilka zdjęć (od 3 do 5) tego samego fragmentu nieba w odstępach co około 30 minut. Następnie porównanie tych zdjęć łatwo pozwala wykryć obiekty, które przesunęły się, w odróżnieniu od nieruchomych gwiazd.



Rysunek 17. Przykładowe zdjęcie z prześwietlonymi jasnymi gwiazdami

Ważną sprawą przy poszukiwaniach planetoid jest wybór odpowiedniego miejsca obserwacji. Wiadomo, że pas główny planetoid biegnie w przybliżeniu wzdłuż ekliptyki i w jej bliskich okolicach. Do wyboru jest więc spory obszar poszukiwań. Ze względu na to, że celem jest odkrycie obiektów nieznanymi należy skupić się na dostrzeżeniu obiektów jak najmniejszych. Z tego punktu widzenia obszarem najdogodniejszym będzie obszar najbliższy a więc część pasa planetoid znajdująca się w opozycji do Słońca.



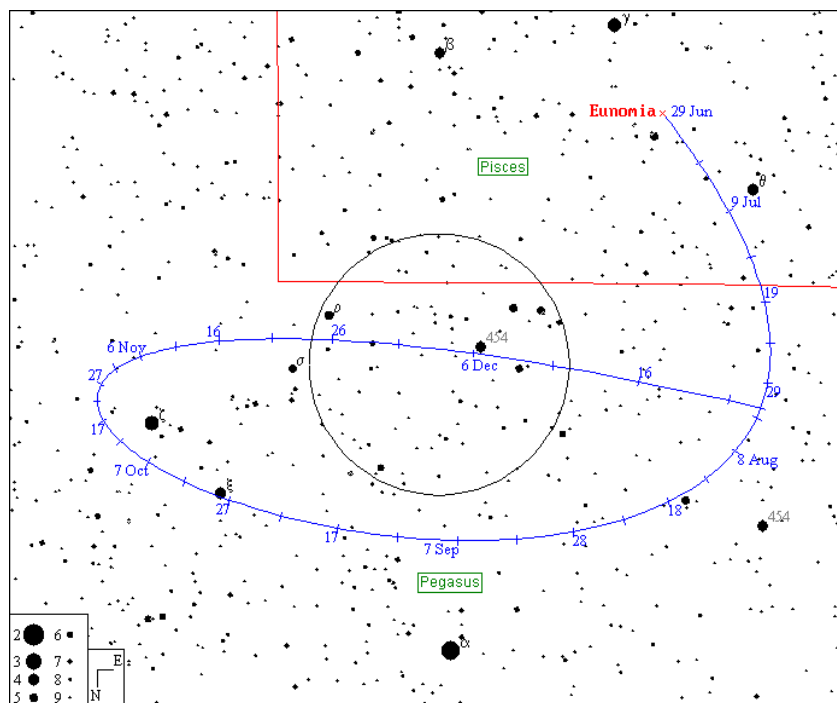
Rysunek 18. Planetoidy w opozycji<sup>23</sup>

<sup>23</sup> Obraz pobrany ze strony <http://math.ucr.edu/home/baez/week150.html>

Na rysunku 18 widać, że z Ziemi najbliżej jest do planetoid w pasie głównym, które znajdują się na przedłużeniu linii Słońce – Ziemia czyli w opozycji. Poza możliwością dostrzeżenia słabych obiektów obserwacje w opozycji mają jeszcze jedną zaletę, mianowicie opozycja ma długi możliwy czas obserwacji i zawsze jest to dogodne miejsce do obserwacji dla teleskopu. Niestety opozycja ma również kilka bardzo istotnych wad wpływających na obserwacje, Są to:

- przeciwbłask słoneczny – zwiększa się jasność tła nieba co utrudnia dostrzeżenie słabych obiektów,
- bardzo popularne i łatwe miejsce poszukiwań – jest więc dokładnie przeszukane,
- w opozycji planetoidy zakreślają pętle,
- ilość planetoid na jednym stopniu kwadratowy w opozycji jest najmniejsza.

O ile dwie pierwsze wady nie wymagają komentarza o tyle trzeba zwrócić uwagę na dwie ostatnie. Planetoidy, tak jak planety, zakreślają na niebie pętle. Związane jest to ze złożeniem ruchu Ziemi wokół Słońca i ruchu planetoidy wokół Słońca. Bardzo często pętle te wypadają w okolicy opozycji.



Rysunek 19. Pętla planetoidy Eunomia<sup>24</sup>

Jak widać na rysunku 19, w trakcie wchodzenia do pętli planetoida zwalnia pokonując coraz mniejsze odległości w swoim ruchu na niebie. Jeśli zatem wykona się zdjęcia w opozycji w odstępach 30 minut i trafi na obiekt akurat zakreślający pętle, to można go zwyczajnie przeoczyć. Jego ruch własny będzie zbyt mały, żeby zauważyć jego efekty po 30 minutach. Jednocześnie można zaobserwować ruch wsteczny a nawet krótki moment kiedy planetoida jest praktycznie nieruchoma. Zatem wykonywanie zdjęć w opozycji wymagałoby wydłużenia odstępów czasowych między poszczególnymi zdjęciami. Da się to zrobić bez straty cennego czasu teleskopu poprzez przeorganizowanie sposobu wykonywania zdjęć ale jest to uciążliwe i mocno utrudnia

<sup>24</sup> Obraz pobrany ze strony <http://search.astronet.pl/?q=eunomia&x=0&y=0>

praktyczną część zagadnienia. Z tego powodu zdjęcia w opozycji mogą być nieskuteczne.

Ilość planetoid przypadających na stopień kwadratowy nieba (gęstość) widzianego z Ziemi nie jest taka sama w każdym punkcie ekliptyki. Jeśli znajdowalibyśmy się wewnątrz US w miejscu Słońca nasza odległość do pasa planetoid była by jednakowa, niezależnie od kierunku i miejsca, które obserwujemy. Planetoidy nie poruszają się idealnie wzdłuż ekliptyki ale w jej pobliżu. Często przecinają ekliptykę pod różnymi, niewielkimi kątami. Statystycznie można przyjąć, że ich rozrzut wokół ekliptyki jest jednakowy. Znajdując się w centrum US widzielibyśmy zatem pas planetoid z boku, jako stałej szerokości otaczający nas zamknięty pas. Pas ten miałby stałą szerokość kątową i stałą gęstość planetoid dla danej szerokości ekliptycznej. Ze względu na to, że Ziemia nie znajduje się w centrum US tak jednak nie jest. W opozycji ten pas jest najbliżej Ziemi i co za tym idzie jego szerokość kąтова na niebie wzrasta. Skutkuje to spadkiem gęstości czyli ilości planetoid przypadających na jeden stopień kwadratowy. Zatem robiąc zdjęcie w opozycji w kadrze o rozmiarach 12' x 12' można uchwycić bardzo mało obiektów. Z kolei w dalszej odległości od opozycji spada szerokość kąтова pasa co skutkuje wzrostem gęstości planetoid. W miejscu odległym od opozycji będzie zatem na takim samym kadrze o rozmiarach kątowych 12' x 12' znacznie więcej obiektów.

Jak widać, miejsca odległe od opozycji mają również wiele zalet i są równie korzystne do prowadzenia obserwacji jak to jest w przypadku opozycji. Kryterium decydującym jest tutaj zapewne posiadany przez dane obserwatorium teleskop. Duży teleskop będzie wykorzystany aby zajrzeć jak najdalej i penetrować okolice opozycji. Mały teleskop, będzie bardziej przydatny w miejscach od opozycji odległych, gdzie planetoid jest więcej i gdzie łatwiej jest odkryć coś co inni przeoczą. W przypadku teleskopów używanych przez obserwatorium ARI, o którym mowa będzie w rozdziale 3, były to teleskopy stosunkowo małe o średnicy zwierciadła <1m. Obserwacje dotyczyły zapewne obszarów odległych od opozycji.

## ***2.5. Obserwacje astrometryczne planetoid przez sondy kosmiczne***

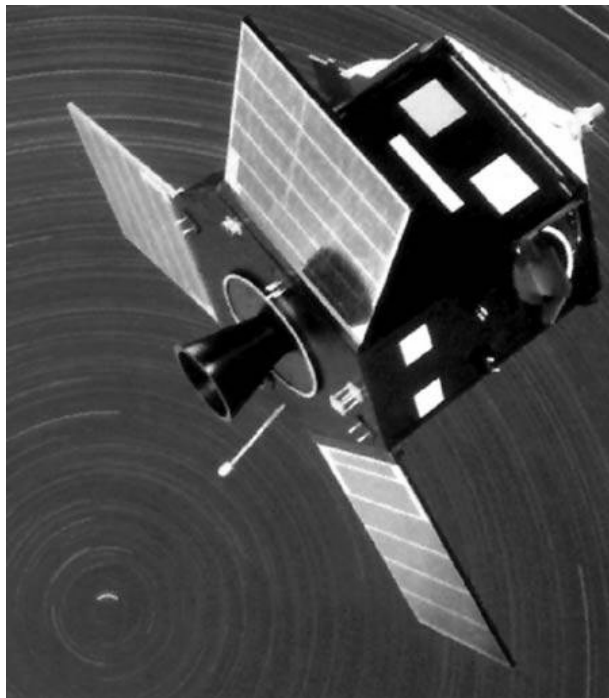
Obserwacje astrometryczne z Ziemi mają ograniczoną dokładność. Wpływ atmosfery (seeing) sprawia, że mimo zastosowania bardzo dokładnych przyrządów nie jest możliwe wyznaczenie położenia obiektu z większą dokładnością. Od kiedy człowiek zaczął wysyłać w kosmos sztuczne satelity pojawił się pomysł obejścia tych ograniczeń, poprzez umieszczenie na orbicie ziemskiej satelity astrometrycznego.

Najsłynniejszym satelitą astrometrycznym był satelita Hipparcos (nazwa pochodzi od nazwiska starożytnego greckiego astronoma) wystrzelony przez Europejską Agencję Kosmiczną ESA w 1989 r. W ciągu czterech lat pracy dzięki wykorzystaniu zjawiska paralaksy trygonometrycznej satelita mierzył odległości do gwiazd znajdujących się nie dalej niż 490 lat świetlnych od Ziemi. Wykonywał także pomiary fotometryczne. W 1997 roku opublikowano dwa katalogi gwiazd, które były efektem pracy Hipparcosa:

- katalog Hipparcos – zawiera 118 tys. gwiazd o położeniach wyznaczonych z dokładnością 0.001'' łuku a jasnościach wyznaczonych z dokładnością 2%,
- katalog Tycho – zawiera 400 tys. gwiazd o położeniach wyznaczonych

z dokładnością 0.02 – 0.03'' łuku a jasnościach wyznaczonych z dokładnością 6%.

W trakcie swoich badań satelita wyznaczył także położenia kilkudziesięciu planetoid.



Rysunek 20. Artystyczna wizja satelity Hipparcos<sup>25</sup>

ESA planuje wystrzelenie w 2011 r. satelity astrometrycznego o nazwie Gaia. Jego zadaniem będzie stworzenie dokładnej mapy Drogi Mlecznej. Satelita ma także monitorować ruch NEO w okolicy Ziemi. W ten sposób ma być swego rodzaju urządzeniem ostrzegającym Ziemię przed niebezpieczeństwem. Co ważne, znajdując się na orbicie będzie w stanie obserwować wycinek nieba niewidoczny z Ziemi.

Wiele misji sond kosmicznych będzie miało swój związek z badaniem planetoid. Będą to między innymi sondy Dawn, Don Quijote czy New Horizons. Wszystkie jednak mają na celu badania bezpośrednie planetoid a nie pomiary astrometryczne.

---

<sup>25</sup> Obraz pobrano ze strony <http://www.pta.edu.pl/orion/astroex/toolkit/toolkit.html>

## **3. Opis przeprowadzonych badań**

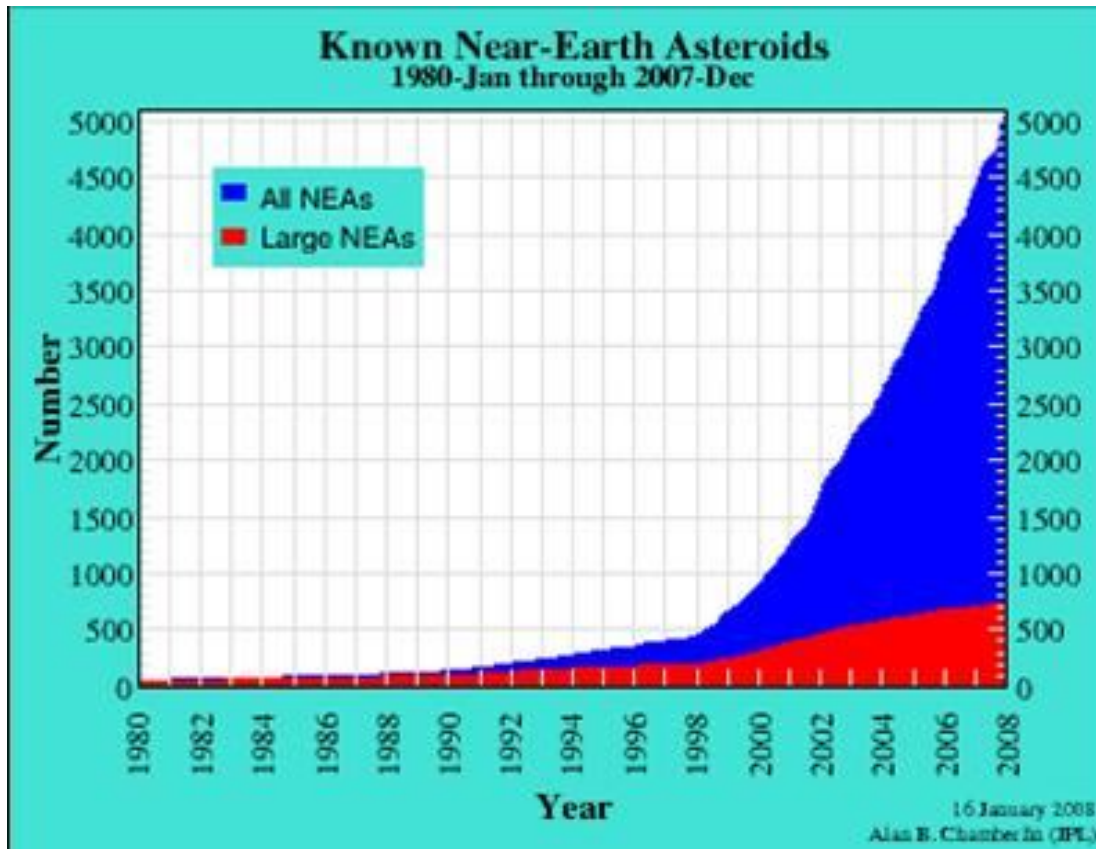
### ***3.1. Międzynarodowa kampania poszukiwania planetoid - IASC***

Podczas ostatnich lat studiów wzięłem dwa razy udział w Międzynarodowej Kampanii Poszukiwania Planetoid (IASC). Były to wiosenne kampanie w latach 2008 i 2009. Skrót tego projektu pochodzi od angielskiej nazwy - International Asteroid Search Campaign. Udział w kampanii mogą wziąć uczniowie szkół ponad gimnazjalnych i studenci pod opieką swoich nauczycieli. W trakcie kampanii uczniom umożliwia się samodzielną pracę na rzeczywistych obserwacjach astronomicznych. Celem kampanii jest zarówno odkrywanie nowych planetoid i obiektów bliskich Ziemi (NEO) jak i monitorowanie orbit obiektów już znanych. Ludzkie oko bez trudu odróżni na zdjęciu planetoidę od przelatującego satelity z czym nie poradzi sobie automatyczne oprogramowanie. Z tego powodu, jak i z ogromu obserwacji, do pomocy zaprasza się młodych adeptów astronomii, dla których jest to cenne i ciekawe doświadczenie.

#### **3.1.1. IASC – struktury i geneza powstania**

Droga do udziału w kampanii wiedzie poprzez europejski projekt Wszechświat Własnymi Rękami – Hands on Universe (EU-HOU). EU-HOU kieruje do nauczycieli wiele różnych inicjatyw, których celem jest nowoczesne i ciekawe nauczanie przedmiotów przyrodniczych w szkole. O tym jak zgłosić swój udział w kampanii więcej w rozdziale 4.1. W poszukiwaniach biorą udział szkoły z różnych krajów. W kampanii wiosna 2008 było to 15 szkół z dziewięciu krajów - USA, Niemiec, Portugalii, Chin, Polski, Włoch, Maroka, Rosji i Japonii. Podczas kampanii uczniowie otrzymują pakiety zdjęć do przeanalizowania. Zdjęcia te wykonywane są przez personel projektu w obserwatorium ARI (Astronomical Research Institute), które znajduje się w Charleston w USA. Dyrektorem obserwatorium położonego w stanie Illinois (IL) jest Patrick Miller. Jest on także szefem całej kampanii IASC. ARI powstało w roku 2006 w wyniku zainteresowania się problematyką i zagrożeniem ze strony NEO Amerykańskiej Agencji Kosmicznej (NASA). NASA stworzyła i finansuje swój projekt o nazwie Near Earth Objects Observations Program, którego ARI jest częścią i któremu zawdzięcza swoje powstanie.

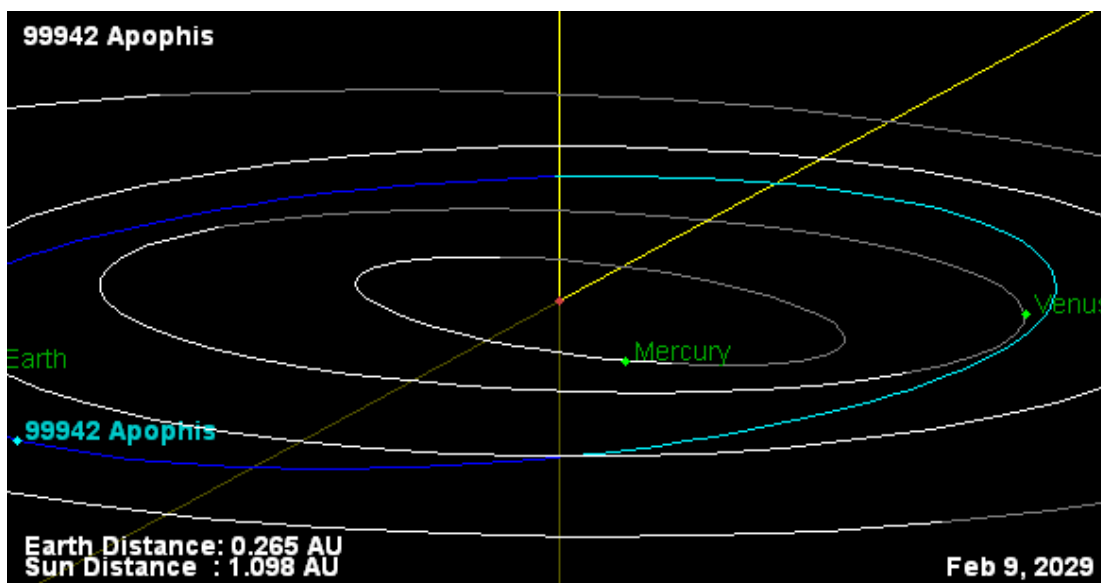
Po przeanalizowaniu historycznych źródeł oraz map satelitarnych Ziemi, okazuje się, że była ona dziesiątki razy bombardowana przez mniejsze i większe ciała kosmiczne. Szczególnie analiza powierzchni Księżyca i obliczenie ilości kraterów księżycowych pokazuje, że zagrożenie to jest wciąż realne. Istnieje bardzo prawdopodobna hipoteza mówiąca o tym, że upadek wielkiego ciała był powodem wyginięcia dinozaurów i wielkiego kataklizmu w dziejach Ziemi. Druga z hipotez mówi, że Księżyc powstał w efekcie powierzchniowego zderzenia Ziemi z ciałem o podobnej wielkości we wczesnej fazie rozwoju US. Z bardziej współczesnych kataklizmów wystarczy wspomnieć upadek meteorytu Tunguskiego w 1908 r. na Syberii. Te wszystkie fakty i hipotezy sprawiają, że poszukiwania i obserwacje planetoid są jedną z najbardziej prężnie rozwijających się i finansowanych gałęzi astronomii. Zagrożenie ze strony planetoid przyczynia się w ten sposób do większej ilości badań i obserwacji tych ciał. Rysunek 21 przedstawia dynamikę odkryć nowych obiektów NEO w latach 1980 – 2007:



Rysunek 21. Dynamika odkryć NEO w latach 1980 - 2007. Kolor niebieski – wszystkie znane obiekty, kolor czerwony – znane obiekty o średnicy powyżej 1km<sup>26</sup>

Z wykresu widać, że w grudniu 2007r. znanych było około 700 NEO o średnicy powyżej 1 km. Co pewien czas odkrywany jest obiekt, którego prawdopodobieństwo zderzenia z Ziemią jest duże. Na szczęście zawsze okazuje się, że po wzmożonych obserwacjach prowadzonych przez wiele obserwatoriów orbita zostaje wyznaczona dokładniej i prawdopodobieństwo to spada. Przykładem takiego obiektu jest asteroida 2004 MN4, odkryta w roku 2004 i należąca do grupy Atena. Planetoidzie nadano egipską nazwę Apophis (oznacza demona ciemności). Ma ona średnicę 270 m i masę  $2.1 \cdot 10^{10}$  kg. W piątek 13 kwietnia 2029 roku Apophis przeleci w odległości 36 tysięcy km od Ziemi i będzie widziana gołym okiem. Rysunek 22 pokazuje drogę planetoidy w US na wiosnę 2029r.:

<sup>26</sup> Obraz pobrano ze strony <http://neo.jpl.nasa.gov/stats/>



Rysunek 22. Planetoida Apophis minie Ziemię w 2029r<sup>27</sup>

W krytycznym momencie prawdopodobieństwo zderzenia Apophis z Ziemią oceniano jako 1:45. Obecnie jest ono bliskie zeru. Mimo wszystko wpływ grawitacyjny Ziemi na tego typu niewielkie ciała jest na tyle duży, że zmiana ich orbity przy bliskim przelocie może zwiększyć zagrożenie zderzeniem przy kolejnym zbliżeniu do Ziemi. Również z tego powodu obserwacje znanych planetoid są niezmiernie ważne.

Obserwatorium astronomiczne ARI jest nietypową konstrukcją pozbawioną kopuł. Teleskopy znajdują się wewnątrz budynku, którego dach rozsuwa się na obie strony w płaszczyźnie poziomej, niczym blat stołu. Specjalne wsporniki utrzymują dach poza obrębem budynku. Całość konstrukcji przedstawia rysunek 23.



Rysunek 23. Budynek obserwatorium ARI<sup>28</sup>

Położenie geograficzne obserwatorium ARI określają współrzędne:

Długość geograficzna wschodnia	= 88.08 E
Szerokość geograficzna północna	= 39.29 N
Wysokość	= 262 m n .p. m.

Obserwatorium wyposażone jest w dwa teleskopy na których wykonywano zdjęcia w trakcie trwania IASC. Jeden z nich ma średnicę zwierciadła 32 cale a drugi 24 cale

<sup>27</sup> Obraz pobrano ze strony <http://www.wired.com/wiredscience/2007/08/tagging-an-aste/>

<sup>28</sup> Obrazy pobrano ze strony [http://ari.home.mchsi.com/observatory\\_directory.htm](http://ari.home.mchsi.com/observatory_directory.htm)

(odpowiednio 81 i 61 cm). Teleskopy te zostały zaprojektowane przez pracowników obserwatorium. Ich konstrukcja, tak jak konstrukcja całego obserwatorium jest oryginalna. Zwierciadła zostały zamówione w firmie Lockwood Custom Optic. Kamery CCD wykonane są przez firmę SBIG. Sam projekt i konstrukcja jest dziełem ARI. Rysunek 24 przedstawia teleskop o średnicy zwierciadła 81 cm.



Rysunek 24. Teleskop 81 cm w obserwatorium ARI<sup>29</sup>

Rysunek 25 przedstawia teleskop o średnicy zwierciadła 61 cm w obserwatorium ARI.

---

<sup>29</sup> Obrazy pobrano ze strony <http://ari.home.mchsi.com/phase2.htm>



Rysunek 25. Teleskop 61 cm w obserwatorium ARI<sup>30</sup>

Tabela 1 zawiera szczegółowe dane techniczne teleskopów:

	ARI 32''	ARI 24''
Średnica zwierciadła głównego	81 cm	61 cm
Ogniskowa	3680 mm	3180 mm
Maks. rozdzielczość	0.143''	0.190''
Pole widzenia	25.6' x 25.6'	27.2' x 27.2'
CCD	SBIG STL-1001E, 24 micrometry, 1024 x 1024 pikseli	
Rozdzielczość CCD	1.34'' / piksel	1.55'' / piksel
Zasięg w jasności obiektu	21.74 M – 300 s	20.4 M – 60 s

Tabela 1. Dane techniczne teleskopów ARI

Więcej informacji dotyczących ARI można znaleźć na stronie głównej obserwatorium:

<http://ari.home.mchsi.com/index.htm>

Kampania IASC, posiada własną stronę internetową, wykorzystywaną do umieszczania nowych zdjęć, komunikacji z uczestnikami kampanii i publikacji odkryć. Stronę główną IASC można znaleźć pod adresem:

<http://iasc.hsutx.edu/index.htm>

W trakcie trwania kampanii każda szkoła posiada swój własny folder, w którym umieszczane są przeznaczone do analizy zdjęcia. Znajduje się on w zakładce Asteroid Search i ma nazwę szkoły. Foldery są zabezpieczone przed przypadkowymi osobami za pomocą hasła i loginu, które można otrzymać od opiekuna grupy.

<sup>30</sup> Obrazy pobrano ze strony <http://ari.home.mchsi.com/phase3.htm>

Uczniowie analizują otrzymane zdjęcia za pomocą programu Astrometrica. Poszukują zarówno nowych planetoid i obiektów bliskich Ziemi (NEO) jak i potwierdzają orbity obiektów już znanych. Następnie raporty zawierające współrzędne zaobserwowanych obiektów przesyłają do centrali projektu. Tam raporty są weryfikowane pod kątem poprawności i trafiają do Minor Planet Center (MPC). MPC jest częścią Międzynarodowej Unii Astronomicznej (IAU) zajmującą się badaniem planetoid. MPC potwierdza fakt odkrycia i przesyła informację zwrotną.

### 3.1.2. IASC – jak funkcjonuje

Opiszę teraz etapy, które każdy poszukiwacz planetoid powinien przejść przy pracy nad pakietem zdjęć. Wiadomo już w jaki sposób i skąd pobrać zdjęcia do analizy. Potrzebne jest jeszcze odpowiednie narzędzie do tej analizy. Takim narzędziem jest program „Astrometrica”. Autorem programu jest austriacki astronom H. Raab. Program można pobrać ze strony głównej IASC z zakładki Astrometrica. Znajdują się tam również pliki konfiguracyjne z danymi teleskopów ARI. Są one konieczne do prawidłowej interpretacji zdjęć. Dodatkowo na stronie znajdują się również instrukcje do analizowania zdjęć w języku angielskim. Najbardziej aktualną wersję programu oraz wersje dla różnych systemów operacyjnych (Windows, DOS) znajdują się na stronie domowej programu:

<http://www.astrometrica.at/>

Do prawidłowego funkcjonowania programu konieczne jest również pobranie najnowszej bazy danych MPCORB, która zawiera dane na temat wszystkich znanych NEO i planetoid. Baza uaktualniana jest co kilka godzin, stąd potrzeba jej regularnego pobierania.

Bazę danych można znaleźć na samym dole strony głównej IASC. Informację o tym jak należy przeanalizować zdjęcia za pomocą programu oraz gdzie umieścić pliki konfiguracyjne i bazę danych umieszczam w osobnym Załączniku 1. na końcu pracy.

Kiedy został już wygenerowany przez program końcowy raport w pliku tekstowym należy sprawdzić go w arkuszu Excel „IASC MPC Report Tester”. Arkusz ten interpretuje współrzędne każdego obiektu zawartego w raporcie. Excel przelicza współrzędne w swoich formułach i sprawdza czy obiekt:

- porusza się w przybliżeniu po linii prostej,
- nie zmienia znacząco swojej jasności,
- nie ma zbyt małej jasności w stosunku do sygnału szumu,
- nie zmienia kierunku ruchu.

Arkusz dokonuje tego sprawdzając współczynniki korelacji liniowej w przestrzeniach jasność obiektu – czas, rektascensja – czas i deklinacja – czas.

Następnie arkusz wydaje prosty werdykt w kolumnie Status:

- Fail – obiekt jest niepoprawny,
- Pass – obiekt poprawny.

Aby użyć arkusza należy skopiować wszystkie linijki danych z przykładowego raportu:

COD H55  
 OBS R. Holmes  
 MEA W. Ogłozza, W. Kułynycz, I. Ulman AP Krakow - Poland  
 TEL Astro-Research 0.60 m + CCD  
 ACK MPCReport file updated 2008.04.28 20:12:19  
 AC2 ar1@mchsi.com  
 NET USNO-B1.0  
 Image Set: 8HB166A\_27

APK0079	C2008	04	27.16789013	58	05.97	-11	44	14.2	19.7	H55
APK0079	C2008	04	27.17341413	58	04.86	-11	44	15.8	20.0	H55
APK0079	C2008	04	27.17907213	58	03.83	-11	44	19.3	20.2	H55
APK0080	C2008	04	27.16789013	58	24.55	-11	49	39.1	19.7	H55
APK0080	C2008	04	27.17341413	58	25.35	-11	49	51.6	20.2	H55
APK0080	C2008	04	27.17907213	58	26.41	-11	50	02.4	19.9	H55
APK0081	C2008	04	27.16789013	57	51.30	-11	53	48.1	19.8	H55
APK0081	C2008	04	27.17341413	57	51.71	-11	53	58.0	20.4	H55
APK0081	C2008	04	27.17907213	57	51.93	-11	54	09.9	20.3	H55
K04E78Q	C2008	04	27.16789013	57	22.33	-11	56	35.6	19.6	H55
K04E78Q	C2008	04	27.17341413	57	22.09	-11	56	35.4	18.8	H55
K04E78Q	C2008	04	27.17907213	57	21.66	-11	56	34.3	19.4	H55
K05N83E	C2008	04	27.16789013	58	30.96	-11	50	35.7	20.2	H55
K05N83E	C2008	04	27.17341413	58	30.90	-11	50	34.7	20.5	H55
K05N83E	C2008	04	27.17907213	58	30.39	-11	50	32.9	20.3	H55
40147	C2008	04	27.16789013	57	31.43	-11	34	10.2	19.4	H55
40147	C2008	04	27.17341413	57	31.24	-11	34	08.4	19.0	H55
40147	C2008	04	27.17907213	57	31.02	-11	34	06.3	19.3	H55
42457	C2008	04	27.16789013	58	36.60	-11	44	32.0	19.8	H55
42457	C2008	04	27.17341413	58	36.35	-11	44	32.5	20.0	H55

Rysunek 26. Raport z programu Astrometrica

Następnie wkleić je w pierwszej komórce z danymi w pliku Excela:

	A	B	C
1	INTERNATIONAL ASTRONOMICAL SEARCH		
2	MPC Report Tester (50 Objects)		
3	Version 1.4, December 2008		
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10		Status	In Order
11	APK0079 C2008 04 27.16789013 58 05.97 -11 44 14.2 19.7 H55	Fail	Yes
12	APK0079 C2008 04 27.17341413 58 04.86 -11 44 15.8 20.0 H55		
13	APK0079 C2008 04 27.17907213 58 03.83 -11 44 19.3 20.2 H55		
14			In Order
15	APK0080 C2008 04 27.16789013 58 24.55 -11 49 39.1 19.7 H55	Fail	Yes
16	APK0080 C2008 04 27.17341413 58 25.35 -11 49 51.6 20.2 H55		
17	APK0080 C2008 04 27.17907213 58 26.41 -11 50 02.4 19.9 H55		
18			In Order
19	APK0081 C2008 04 27.16789013 57 51.30 -11 53 48.1 19.8 H55	Fail	Yes
20	APK0081 C2008 04 27.17341413 57 51.71 -11 53 58.0 20.4 H55		
21	APK0081 C2008 04 27.17907213 57 51.93 -11 54 09.9 20.3 H55		

Rysunek 27. Arkusz IASC MPC Report Tester

W kolumnie Status mogą pojawić się komunikaty #ARG! o błędach. Powodem jest inny znacznik dziesiętny w pliku raportu (kropka) od oczekiwanego przez Excel (przecinek). Rozwiązaniem problemu jest zmiana w Panelu Sterowania opcji regionalnych na Angielski (Stany Zjednoczone). Niestety obecna wersja testującego arkusza Excela jest bardzo restrykcyjna. Przechodzą ją tylko obiekty idealne. Zasadnicza część obiektów na pewno prawidłowych i pożądaných otrzymuje w Excelu status „Fail”. Z tego powodu dobrze jest używać testera jedynie w charakterze informacyjnym. Arkusz pomyślany został wprawdzie jako pierwsze sito odrzucające błędnie wskazane przez niedoświadczonych poszukiwaczy obiekty ale niestety jest jeszcze niedopracowany. Stąd wszystkie obiekty, nawet odrzucane przez Excela, należy pozostawić w raporcie.

Istnieje jeszcze drugi plik testujący o nazwie „IASC Report Tester – Beta”. Jest on wersją testera przeznaczoną do analizy tylko jednego obiektu (3 linijki danych) rozbudowaną o wykresy graficzne. Oba pliki zamieszczam na płycie CD dołączonej do pracy.

Raport końcowy przesyła się do dyrektora IASC Patricka Millera pod adres

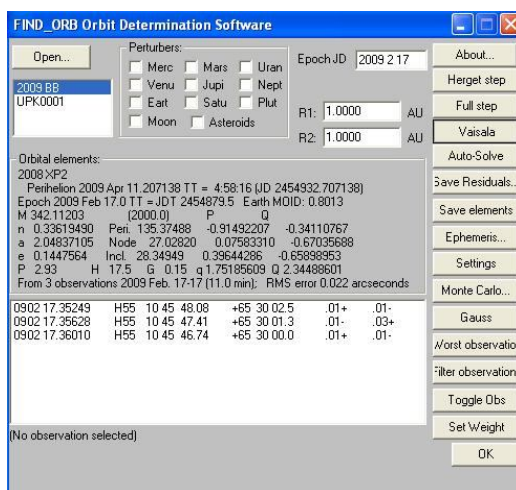
Patrick Miller - [pmiller@hsutx.edu](mailto:pmiller@hsutx.edu)

Na tym kończy się procedura analizy zdjęć.

Podczas trwania IASC 2009 na prośbę dyrektora kampanii wzięliśmy również udział w weryfikacji raportów przesyłanych przez wszystkie szkoły. Celem tej weryfikacji było odrzucenie błędnych obiektów proponowanych przez poszukiwaczy. W trakcie weryfikacji używano kilku narzędzi, które mogą być bardzo przydatne dla każdego poszukiwacza. Mimo iż nie są one wymagane przy analizie zdjęć to mogą dostarczyć informacji czy proponowane obiekty są prawidłowe.

Pierwszym z tych narzędzi był program Find Orbit. Można go pobrać ze strony [http://www.projectpluto.com/find\\_orb.htm#download](http://www.projectpluto.com/find_orb.htm#download)

Po uruchomieniu programu przy użyciu przycisku Open wczytuje się plik tekstowy raportu. Następnie dla każdego obiektu który pojawi się w okienku:



**Rysunek 28. Program Find Orbit**

Należy wykonać test Vaisala. W ostatnich dwóch kolumnach pojawiają się obliczone residua. Wartości te, dla poprawnych obiektów powinny:

- być  $< 0.2$  dla obiektów znanych o nazwach np. 2009 BD81,
- być  $< 0.4$  dla obiektów proponowanych o nazwach np. UPK007.

Obiekty o residuach większych należałyby z raportu skasować. Niestety również to narzędzie nie jest idealne. Nie wszystkie raporty można wczytać do programu i nie dla wszystkich można wykonać test. Spowodowane jest to niedoskonałością programu.

Ostatnim z przydatnych narzędzi jest strona internetowa MPC o nazwie MPChecker (Minor Planet Checker). Jest to narzędzie najbardziej niezawodne i skuteczne. Stanowi swego rodzaju uzupełnienie bazy danych. Do formularza umieszczonego na stronie:

<http://scully.harvard.edu/~cgi/CheckMP>

należy skopiować z raportu dane takie jak:

- data i czas środkowego zdjęcia,
- współrzędne obiektu w rektascensji i deklinacji,
- kod obserwatorium ARI – H55.

Należy zmienić również limit jasności na 25 M. Pozostałe parametry pozostają bez zmian. Po naciśnięciu przycisku Produce List z bazy danych MPCORB zostaną wyselekcjonowane znane obiekty znajdujące się w czasie obserwacji w promieniu 15” od podanych współrzędnych. Lista będzie wyglądała następująco:

Object designation	R.A.			Decl.			V	Offsets		Motion/hr		Orbit	Further observations? Comment (Elong/Decl/V at date 1)
	h	m	s	°	'	"		R.A.	Decl.	R.A.	Decl.		
(209996) 2006 JS14	10	58	57.9	+03	12	00	20.9	0.1E	0.0S	26-	8+	4o	None needed at this time.
2009 CD2	10	59	41.8	+03	10	12	20.8	11.1E	1.8S	578+	500-	1d	NEO : Continued observations desirable
(87609) 2000 RL44	10	59	19.5	+03	25	56	19.1	5.5E	13.9N	29-	3+	8o	None needed at this time.

**Rysunek 29. Formularz MPCheker**

Obiekt, na samej górze listy, dla którego różnice we współrzędnych (Offsets) są bliskie zeru jest obiektem sprawdzanym. W ten sposób można poznać jego nazwę i upewnić się czy proponowany kandydat, nie jest już przypadkiem znanym obiektem. W przypadku obiektów odkrytych stosunkowo niedawno, może się zdarzyć iż mimo iż są znane to nie znalazły się jeszcze w bazie danych MPCORB. Najbardziej aktualnym źródłem informacji jest wtedy MPCheker. Bardzo cenna jest notka po prawej stronie, która opisuje stopień pożądania nowych obserwacji obiektu. Można tam ująć sformułowania:

- None needed at this time – obserwacje w tym czasie nic nie wnoszą,
- Observation desirable (between date) – obserwacje pożądane (w okresie).

Użycie MPChekeru pozwala jednoznacznie wykluczyć znane obiekty z grona kandydatów oraz ocenić stopień pożądania obserwacji danego obiektu.

### 3.1.3. Efekty kampanii IASC 2008 i 2009

W tym rozdziale zamieszczam podsumowanie osiągnięć zespołu poszukiwaczy Uniwersytetu Pedagogicznego w kampaniach 2008 i 2009. W kampanii wiosna 2008 uczestniczył on w składzie dr Waldemar Ogłóza jako opiekun, Iwona Ulman i autor tej pracy. W kampanii wiosna 2009 do wymienionych już wyżej osób dołączyli również Karol Głowa, A. Wiśniewska, M. Krukar, I. Żmijewska, B. Tomczak oraz A. Walczak. Oprócz zespołu UP w kampanii 2009 wzięły również udział inne szkoły z Polski:

1. LO im. Czackiego w Warszawie, Barbara Dłużewska - szef grupy,
2. Gimnazjum Miejskie im. Mikołaja Kopernika w Sierpcu, Józef Urbański,

3. VIII LO Katowice, Bogusław Lanuszny,
4. I LO Olsztyn, Klemens Baranowski.

Analiza zdjęć w trakcie każdej kampanii zajmowała około 2 godziny czasu dziennie. Autor tej pracy w trakcie kampanii 2008 pełnił dyżur poszukiwacza poprzez około połowę jej trwania. W drugiej części kampanii dyżurowała Iwona Ulman. W trakcie kampanii 2009 autor pracy pełnił dyżury w terminach:

- 2 lutego – wspólnie z A. Wiśniewską,
- 3 - 8 luty – wspólnie z K. Głową,
- 9 - 10 luty - nadzór nad A. Wiśniewską i M. Krukarem.

Pozostały czas podzielony był pomiędzy innych uczestników. Główny ciężar poszukiwań wzięli na siebie K. Głowa, I. Ulman, dr Waldemar Ogłóza i autor pracy.

Nie sposób określić ilości potwierdzonych przez zespół obserwacji znanych obiektów w obu kampaniach. Można jednak pokusić się o zestawienie informacji dotyczących obu kampanii oraz odkryć dokonanych przez zespół UP w trakcie ich trwania:

	IASC 2008	IASC 2009
Czas trwania	6 tygodni	6 tygodni
Termin	16.III. - 2.V.08 r.	2.II – 18.III. 09r.
Przeanalizowane pakiety zdjęć	28	≥ 14 (?)
Propozycje nowych obiektów	82	5
Odkrycia potwierdzone w ARI	15	?
Odkrycia NEO potwierdzone w MPC	3	?
Odkrycia planetoid	0	0 ?
Odkrycia VIO	0	0 ?
Liczba uczestniczących osób	3	9

Tabela 2. Porównanie kampanii 2008 i 2009<sup>31</sup>

Wyjaśnienia wymaga skrót VIO (Virtual Impactor Objects). Oznacza on NEO, którego prawdopodobieństwo zderzenia z Ziemią jest niezerowe. Nim przejdę do analizy danych z tabeli 2 podam listy odkrytych przez zespół obiektów w trakcie trwania kampanii 2008.

Lista 12 z 15 NEO, które zostały potwierdzone jako odkrycia przez ARI:

1. 2008ED69 - 2008/03/20.36
2. 2008CN1 - 2008/03/24.06
3. 2008GJ - 2008/04/02.25
4. 2008FO - 2008/04/02.26
5. 2008EV68 - 2008/04/05.13
6. 8G3C17A - 2008/04/05.21
7. 2008GX21 - 2008/04/14.24 <http://earn.dlr.de/nea/K08G21X.htm>
8. 2008GV3 - 2008.04.15.28 <http://earn.dlr.de/nea/K08G03V.htm>
9. 2008GC110 - 2008/04/16.30 <http://earn.dlr.de/nea/K08GB0C.htm>
10. 1999TA10 - 2008.04.18.11

<sup>31</sup> Niestety autor nie posiada pełnych danych dotyczących IASC 2009.

11. 2008EB32 -2008/04/22.14
12. 2008HZ1 - 2008/04/27.17

Pozostałe 3 obiekty zostały potwierdzone oficjalnie i opublikowane przez MPC jako odkryte przez zespół UP NEO:

1. 2008-G12, 2008 GG, K08G00G [MPEC 2008-G12](#) Confirmation NEO
2. MPEC 2008-G90, 2008 GH110 [MPEC 2008-G90](#) Confirmation NEO
3. MPEC 2008-H38, 2008 HZ1 [MPEC 2008-H38](#) Confirmation NEO

Listę odkryć w aktualnie trwającej kampanii można znaleźć na stronie głównej IASC w zakładce Discoveries & Observations.

Spojrzenie na dane z Tabeli 2. nasuwa pytanie, dlaczego z 82 proponowanych obiektów ARI zaakceptowało tylko 15 ? Zespół kampanii podjął decyzję o uznawaniu za potencjalne planetoidy również obiektów co do których były wątpliwości. Kierował się przekonaniem, że lepiej zaproponować kilka złych obiektów więcej niż przeoczyć kilka planetoid. Kolejne spostrzeżenie – z 15 obiektów zaakceptowanych przez ARI tylko 3 zostały opublikowane przez MPC. Kluczowy był tutaj czas po którym wyniki dotarły do MPC. Jeśli nieco wcześniej inne obserwatorium dostarczyło do MPC identyczną, równie ważną obserwację, to oczywiście została opublikowana ta szybsza obserwacja. Stąd uczestnicy kampanii mają na analizę zdjęć maksymalnie 48 godzin. Oczywiście im krótszy jest ten czas, tym lepiej. Patrząc na tabelę 2 rzuca się w oczy również fakt zdecydowanej przewagi odkryć i proponowanych obiektów kampanii 2008 względem 2009 przy odwrotnie proporcjonalnej liczbie zaangażowanych osób. Dysproporcja ta spowodowana jest zaangażowaniem zespołu UP w weryfikację raportów w trakcie kampanii 2009. Siły były podzielone mniej więcej po połowie na poszukiwania planetoid i weryfikację raportów. Nie jest to jednak jedyna przyczyna. Zaangażowanie zespołu UP w weryfikację raportów, jak przypuszczamy, zaowocowało otrzymaniem mniej atrakcyjnych zdjęć do poszukiwań. Efektem miało być większe skupienie się na weryfikacji raportów przez zespół UP. Zespół otrzymywał więc głównie zdjęcia znanych obiektów NEO będących daleko od ekliptyki. Celem takiej obserwacji było potwierdzenie orbity obiektu. Nie trzeba dodawać, że prawdopodobieństwo trafienia na jakiś inny obiekt daleko poza ekliptyką było mizerne. Te niezależne od zespołu uwarunkowania przyczyniły się do braku odkryć w kampanii 2009.

W trakcie całej kampanii 2009 zespół brał udział we wspomnianej weryfikacji raportów. Procedura weryfikacji raportów zajmowała jednej osobie czas od około 2 do nawet 6 godzin dziennie. Autor pracy zweryfikował w trakcie kampanii 9 pakietów raportów. Pełnił dyżury w terminach:

- 9 – 15. II. 08r.
- 2 – 5. III. 08r.
- 9 – 12. III. 08r.

W pozostałych terminach dyżury pełnili I. Ulman, K. Głowa oraz dr W. Ogłóza.



Rysunek 30. Zespół UP uczestniczący w IASC 2008 (fot. Katedra Astronomii )

Narzędzia używane podczas weryfikacji zostały już zaprezentowane przy opisie poszukiwań planetoid. Szczegółową procedurę weryfikacji raportów zamieszczam w Załączniku 2.

W ramach swoich badań dwukrotnie prezentowałem publicznie tematykę IASC. Przygotowałem w związku z tym dwie prezentacje multimedialne. Pierwsze z wystąpień miało miejsce na Seminarium Katedry Astronomii UP w maju 2008 r. Było to podsumowanie kampanii IASC 2008. Drugą prezentację przygotowałem na Dni Otwarte UP w kwietniu 2009. Dotyczyła ona zagrożenia ze strony planetoid i ich poszukiwań. Prezentacja reklamowała możliwości i osiągnięcia studentów Uniwersytetu Pedagogicznego zachęcając słuchaczy do podjęcia studiów. Obie prezentacje znajdują się na dołączonej do pracy płycie CD.

Tematyka planetoid niesie ze sobą duże pole do popisu dla studentów. Udział w organizowanych cyklicznie kampaniach może być dla studentów jednym z ćwiczeń w ramach Pracowni Astronomicznej. Co bardziej aktywni studenci znajdą zapewne zajęcie przy weryfikacji raportów co może zaowocować trwałą współpracą z amerykańskimi kolegami. Planetoidy stanowią także obszerny i ciekawy materiał na nie jedną pracę magisterską czy licencjacką.

### ***3.2. Poszukiwania planetoid teleskopem 60 cm na Suhorze***

W czasie trwania kampanii poszukiwania planetoid 2009 pojawił się pomysł wykorzystania do poszukiwań planetoid teleskopu 60 cm Cassegrain znajdującego się w obserwatorium Uniwersytetu Pedagogicznego na Suhorze. Szerokość zwierciadła teleskopu jest porównywalna do mniejszego z teleskopów ARI (24 calowego – 61 cm). Zasięg teleskopu to około 18 M. Jest to niewiele mniej, niż w przypadku teleskopów ARI. Zyskiem jest jednak znacznie mniejsze pole widzenia, które wynosi w przypadku teleskopu z Suhory 6' x 6'. Fakty te pozwalały sądzić, iż zdjęcia nim wykonane będą bardzo wartościowe. Interesująco zapowiadała się również analiza archiwalnych zdjęć z teleskopu, który wykorzystywany jest często do obserwacji gwiazd zmiennych. Uzyskane w ten sposób serie zdjęć jednego obszaru (gwiazdy i okolic) z dłuższego czasu wprost idealnie nadają się do przeanalizowania pod kątem obecności ruchomych obiektów.

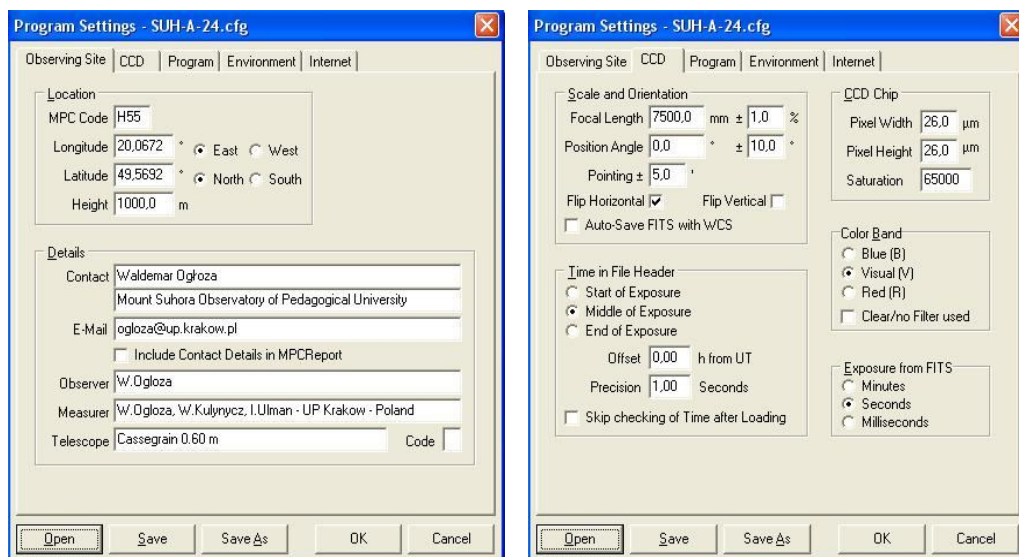
W celu przystosowania programu Astrometrica do analizy zdjęć wykonanych teleskopem 60 cm Cassegrain należało stworzyć plik konfiguracyjny programu zawierający między innymi:

- dane techniczne teleskopu (ogniskowa teleskopu, użyty filtr, sposób podawania czasu ekspozycji w nagłówku zdjęcia),
- dane techniczne kamery CCD (rozmiar piksela [ $\mu\text{m}$ ] z uwzględnieniem biningu),
- dane geograficzne obserwatorium (współrzędne geograficzne, wysokość),
- dane kontaktowe (nazwa obserwatorium, adres e-mail).

Ze względu na wyposażenie obserwatorium również w teleskop Celestron CGE 925 o szerokości zwierciadła 24 cm oraz dwie różne kamery CCD (Apogee ALTA U47UV oraz SBIG ST10XME) różnie ze sobą dobierane powstały cztery pliki konfiguracyjne dla zestawień:

- teleskop Cassegrain 60 cm + kamera Apogee ALTA U47UV,
- teleskop Cassegrain 60 cm + kamera SBIG ST10XME,
- teleskop Celestron CGE 925 24 cm + kamera Apogee ALTA U47UV,
- teleskop Celestron CGE 925 24 cm + kamera SBIG ST10XME.

Edycja pliku konfiguracyjnego na przykładzie teleskopu 60 cm i kamery Apogee przedstawiona jest na rysunku 31. Wszystkie pliki konfiguracyjne znajdują się na płycie CD dołączonej do pracy.



Rysunek 31. Edycja pliku konfiguracyjnego w programie Astrometrica

Niestety w trakcie próbnych zdjęć teleskopem 61 cm Cassegrain oraz ich analizy pojawiły się na dwa istotne problemy. Utrudniają one mocno zastosowanie teleskopu do pożądaných obserwacji.

Pierwszy problem związany jest z sposobem mocowania kamery CCD do teleskopu. Ze względu na potrzebę zestawiania różnych połączeń teleskopów i kamer CCD ta ostatnia nie jest do teleskopu przymocowana na stałe, lecz przykręcana. Niedoskonałość gwintu skutkuje tym, że po każdym takim montażu zmienia się kąt pomiędzy osią optyczną teleskopu a płaszczyzną kamery CCD. Kąt ten powinien być w idealnej sytuacji równy bądź bliski  $90^\circ$  a w każdym razie najlepiej stały. Niestety tak nie jest. W pliku konfiguracyjnym zmianę tego kąta odzwierciedla się zmieniając parametr *Position Angle*, który przy  $90^\circ$  równy jest zeru. Do funkcjonowania programu w trybie automatycznym konieczne jest poprawne wyznaczenie tego parametru. Ponieważ w ciągu jednej nocy kamera zasadniczo nie jest odkręcana problem można rozwiązać wyznaczając ten parametr za każdej nocy metodą prób i błędów. Plik

konfiguracyjny z poprawną wartością parametru musiałby zostać udostępniany uczniom, przy każdej nowej paczce zdjęć. Byłoby to powodem małego zamieszania ale mimo wszystko jest to problem którego rozwiązanie jest do zaakceptowania.



**Rysunek 32. Montaż kamery CCD Apogee na teleskopie 60 cm Cassegrain**

Kolejne trudności pojawiły się podczas wykonywania serii zdjęć teleskopem Cassegrain 60 cm. Należało wykonać serię np. 5 zdjęć o czasach ekspozycji równych po 5 minut na jedno zdjęcie. Zdjęcia powinny uchwycić obszary sąsiadujące ze sobą, tak aby sfotografować prostokąt o wymiarach 5 x 1 pojedynczych zdjęć. Po wykonaniu zdjęcia numer pięć powraca się do obszaru pierwszego, i wykonuje drugą serię zdjęć tych samych obszarów. W ten sam sposób należy wykonać trzecią serię zdjęć. Zastosowanie takiej metody pozwala na zaoszczędzenie czasu (teleskop znajduje się w ciągłej pracy) oraz zapewnia wystarczające odstępy pomiędzy następnymi zdjęciami tego samego obszaru (około 30 minut) co jest niezwykle istotne. Niestety w praktyce prowadzenie teleskopu za pomocą guider'a śledzącego gwiazdę odniesienia utrudnia wykonywanie zdjęć powyższą metodą. Trudności związane są z dokładnym ustawieniem obszarów 5 zdjęć obok siebie tak aby nie zachodziły jeden na drugi. Utrudniony jest również powrót dokładnie do miejsca początkowego, a co za tym idzie uzyskanie dokładnie pokrywających się trzech zdjęć danego obszaru. Możliwe, że zastosowanie do robienia zdjęć metody „po kwadracie” (cztery obszary z jednym kątem w wspólnym punkcie) zamiast metody „po linii” ułatwiło by i usprawniło proces robienia zdjęć. Mimo wszystko konieczność dokładnego ustawienia obszarów wymaga poświęcenia na tyle dużej ilości czasu, że robienie zdjęć planetoid teleskopem 60 cm Cassegrain w większych ilościach wydaje się być czasowo nieopłacalne. Uzasadnione jest natomiast wykonywanie takich zdjęć przez studentów jako ćwiczeń dydaktycznych.

Możliwość wykorzystania teleskopów w obserwatorium na Suhorze do masowych poszukiwań planetoid wydaje się być mocno ograniczona. Z drugiej jednak strony poszukiwania planetoid programem Astrometrica na istniejących seriach zdjęć jak i wykorzystanie teleskopu do poszukiwań przez studentów w celach dydaktycznych jest możliwe i pożądane. Może to być forma aktywizacji studentów podczas wyjazdów do obserwatorium w ramach pracowni i praktyk astronomicznych.

### ***3.3. Obserwacje planetoidy Eunomia teleskopem INO***

W dniu 13 grudnia 2007 roku podjąłem próbę wykorzystania do obserwacji planetoid teleskopu zdalnie sterowanego za pośrednictwem internetu. Mowa

o teleskopie INO (Ironwood North Observatory) w Arizonie (USA), którego właścicielem jest Frank Pino. Teleskop ten, w ramach programu „Wszechświat własnymi rękami” (EU-HOU), jest udostępniany w godzinach nauki szkolnej placówkom edukacyjnym biorącym udział w tym programie. Więcej na temat możliwości obserwacji teleskopem w rozdziale 4.3.1

Za pomocą kalendarza astronomicznego wybrałem planetoidę, która była w czasie obserwacji widoczna na niebie nad Arizoną. Wybór padł na obiekt o greckiej nazwie Eunomia (oznacza praworządność). Należy ona do planetoid pasa głównego i krąży w średniej odległości 2.645 AU od Słońca. Jest nieregularnym ciałem o rozmiarach około  $330 \times 245 \times 205$  km. Podejrzewa się, że może być obiektem podwójnym. Została odkryta jako 15 obiekt pasa głównego przez Annibale'a de Gasparisa 29 lipca 1851r w Neapolu. Jest największym obiektem rodziny planetoid Eunomia, która liczy około 370 ciał.

Wykonałem dwa zdjęcia, oba o czasach naświetlania równych 300 sekund przy braku filtrów. Pierwsze z nich o godzinie 10:26:21, drugie o godzinie 11:26:15 czasu UT. Prawie godzinna różnica czasu rozpoczęcia ekspozycji uwidoczniła na zdjęciach oczekiwany efekt, w postaci przesunięcia się Eunomii względem gwiazd. Ułatwiło to jej identyfikację:



Rysunek 33. Eunomia – zdjęcie 1



Rysunek 34. Eunomia – zdjęcie 2

Eunomia jest najjaśniejszym obiektem zdjęć, jego przesunięcie jest łatwo widoczne.

Wykonałem również obliczenia prędkości ruchu planetoidy. Do wstępnych obliczeń użyłem programu z serii CLEA o nazwie „Astrometry of asteroids”. Opis użycia programu znajduje się w rozdziale 4.2. Program odczytuje z nagłówka zdjęcia współrzędne astronomiczne środka zdjęcia a następnie pobiera z internetu mapę nieba tego obszaru. Porównując gwiazdy na zdjęciu z gwiazdami na mapie z użyciem 7 gwiazd referencyjnych oblicza skalę zdjęcia, wyznacza współrzędne obiektów oraz ich jasności obserwowane. Przy jego pomocy wyznaczyłem współrzędne planetoidy i jej jasności na obu zdjęciach. Tabela 3. przedstawia zestawienie wyników:

	Czas obserwacji	Czas ekspozycji	$\alpha$ Eunomii	$\delta$ Eunomii	Jasność obserwow.
Zdjęcie 1	10:26:21	300 s	7h 54m 39.63s	24° 26' 07.6"	8.0 Mag
Zdjęcie 2	11:26:15	300 s	7h 54m 37.88s	24° 26' 02.1"	8.2 Mag

**Tabela 3. Parametry ruchu Eunomii**

Program podał również pole widzenia teleskopu 21.9' x 21.9' oraz skalę zdjęcia równą 2.56 "/piksel. Zmiana deklinacji obiektu pomiędzy zdjęciem 1 a 2 wynosi  $\Delta \delta = 5.5''$  natomiast zmiana rektascensji  $\Delta \alpha = 1.75'' = 26.25''$ . Widać, że ruch w skali rektascensji jest dominujący. Prędkość radialna planetoidy obliczona ze wzoru

$$v_r = \sqrt{(\Delta \alpha)^2 + (\Delta \delta)^2}$$

wyniosła  $v_r = 26.82''/h = 0.45''/m$

Użycie teleskopu INO o średnicy zwierciadła 50 cm i ogniskowej 1.6 m daje duże możliwości w zakresie obserwacji planetoid. Może być okazją dla uczniów, do zastosowania wiedzy z zakresu fizyki i astronomii w praktyce, o czym więcej w rozdziale 4.3.

## 4. Poradnik dla nauczyciela

### 4.1. Jak wziąć udział w IASC

Nauczyciele zainteresowani wzięciem udziału wraz ze swoim uczniami w kampanii IASC mogą się do niej zgłosić poprzez projekt EU-HOU. Strona główna polskiej edycji projektu znajduje się pod adresem:

<http://www.pl.euhou.net/>



EU-HOU kieruje do nauczycieli wiele różnych inicjatyw, których celem jest nowoczesne i ciekawe nauczanie przedmiotów przyrodniczych w szkole. Koordynatorem polskiej części projektu jest dr hab. Lech Mankiewicz. Zgłoszenie można wysłać za pomocą formularza umieszczonego na stronie:

[http://www.pl.euhou.net/index.php?option=com\\_contact&task=view&contact\\_id=5&Itemid=52](http://www.pl.euhou.net/index.php?option=com_contact&task=view&contact_id=5&Itemid=52)

EU- HOU udostępnia nauczycielom konspekty wielu (kilkudziesięciu!) ciekawych ćwiczeń możliwych do wykorzystania w szkole. Oprócz IASC możliwy jest udział w innych obserwacjach, między innymi z wykorzystaniem Mikro Obserwatorium oraz obserwatorium INO. Zespół projektu jest otwarty na wszelkie propozycje i umożliwia nauczycielom prezentowanie efektów własnej pracy i pomysłowości.

Studenci UP zainteresowani wzięciem udziału w poszukiwaniach planetoid mogą to zrobić kontaktując się bezpośrednio z dr Waldemarem Ogłozą:

[ogloza@up.krakow.pl](mailto:ogloza@up.krakow.pl)

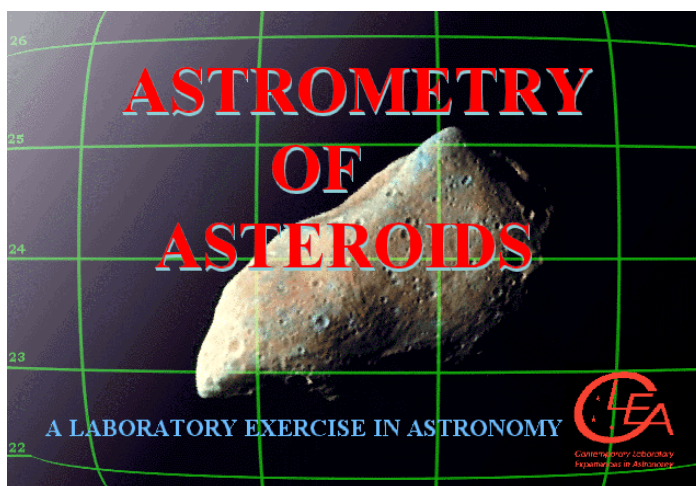
### 4.2. Program CLEA „Astrometry of Asteroids”

W trakcie 3 roku studiów uczęszczałem na zajęcia z I pracowni astronomicznej. W czasie zajęć często wykorzystuje się przygotowane w ramach projektu CLEA dydaktyczne programy astronomiczne. Pełna nazwa projektu CLEA to Contemporary Laboratory Experiences in Astronomy co oznacza Współczesne Ćwiczenia Laboratoryjne z Astronomii. Programy i cały projekt stworzony został przez pracowników Instytutu Fizyki Uniwersytetu w Gettysburgu (USA). Oprogramowanie wraz z materiałami dodatkowymi w postaci instrukcji dla uczniów w języku angielskim jest dostępne za darmo pod warunkiem ich niekomercyjnego użycia. Można je pobrać ze strony:



<http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/CLEAhome.html>

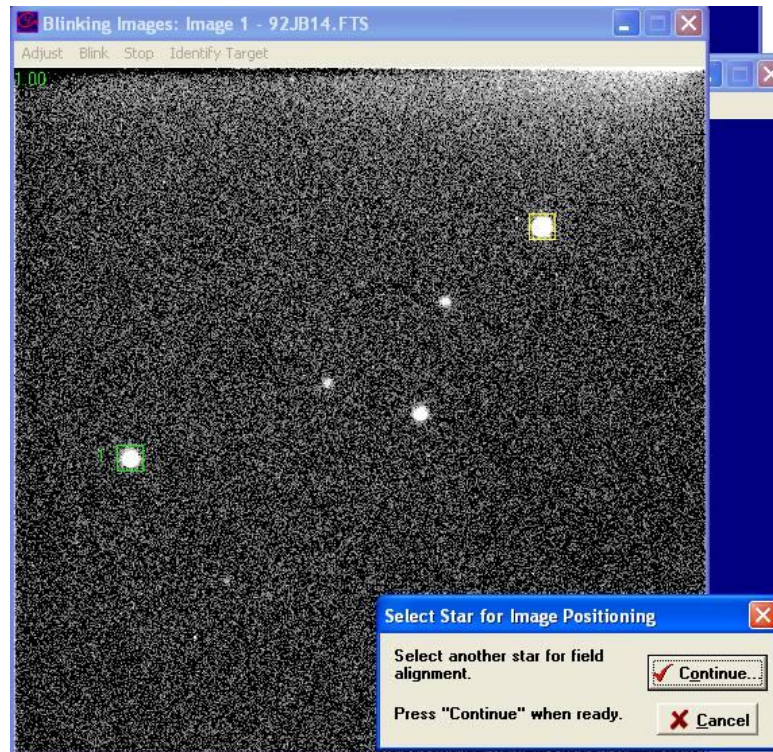
Jeden z tych programów nosi nazwę „Astrometry of Asteroids” i umożliwia analizę zdjęć astronomicznych pod kątem odkrycia ruchomych obiektów. W ramach I pracowni astronomicznej przy jego użyciu wykonuje się ćwiczenie „Wyznaczanie odległości do asteroidy 1992JB metodą paralaksy”. Można je z powodzeniem wykorzystać jako ćwiczenie dla uczniów.



Rysunek 35. Program CLEA Astrometry of asteroids

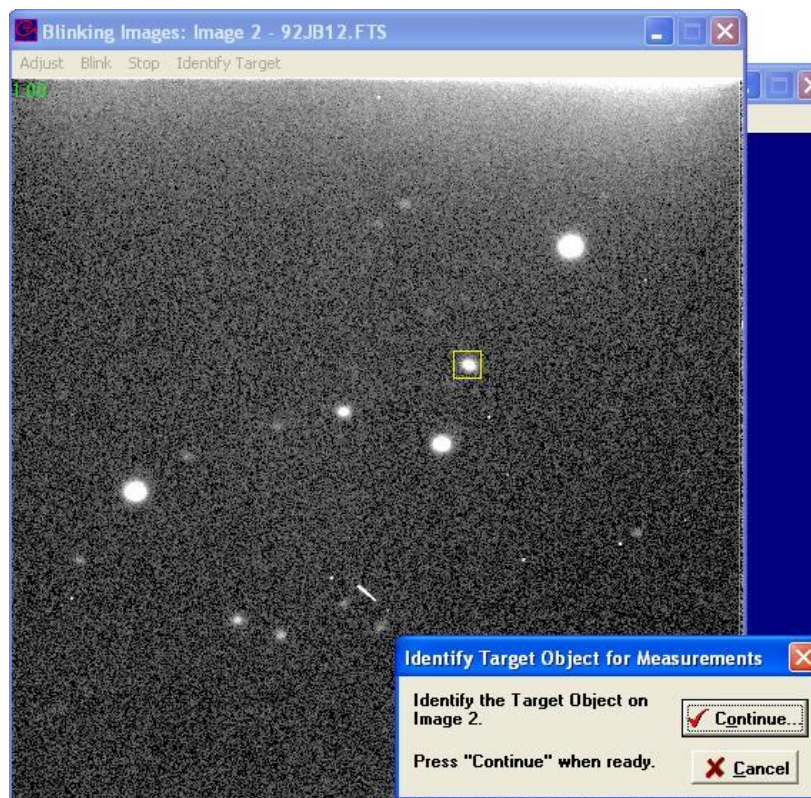
Program został napisany z myślą o studentach i uczniach i ma charakter dydaktyczny. Wykonanie ćwiczenia przez uczniów ułatwia zrozumienie idei wykrywania planetoid na zdjęciach i wyznaczania ich współrzędnych. Z tego powodu większość operacji wykonuje się ręcznie. Napisałem instrukcję dla studentów I pracowni astronomicznej, która ułatwia przeprowadzenie ćwiczenia. Znajduje się ona w Załączniku 3. Zawiera szczegółowy opis czynności wraz z uwagami.

Po uruchomieniu programu należy się najpierw zalogować. Następnie wczytuje się wybrane zdjęcia. Przygotowanie animacji ze zdjęć (Blink) polega na ręcznym wskazaniu kursorem na wszystkich zdjęciach dwóch tych samych gwiazd:



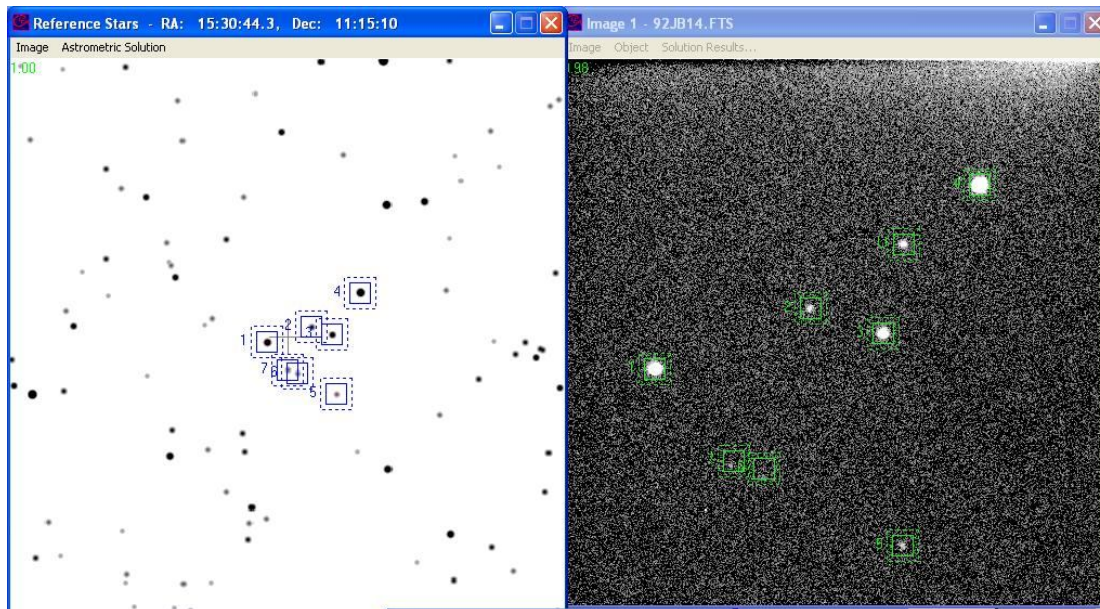
Rysunek 36. Tworzenie animacji w programach CLEA

Dzięki temu program może w sposób dokładny nałożyć zdjęcia na siebie. W trakcie animacji identyfikuje się dostrzeżoną poruszającą się planetoidę za pomocą polecenia Identify Target. Należy zaznaczyć ruchomy obiekt kursorem:



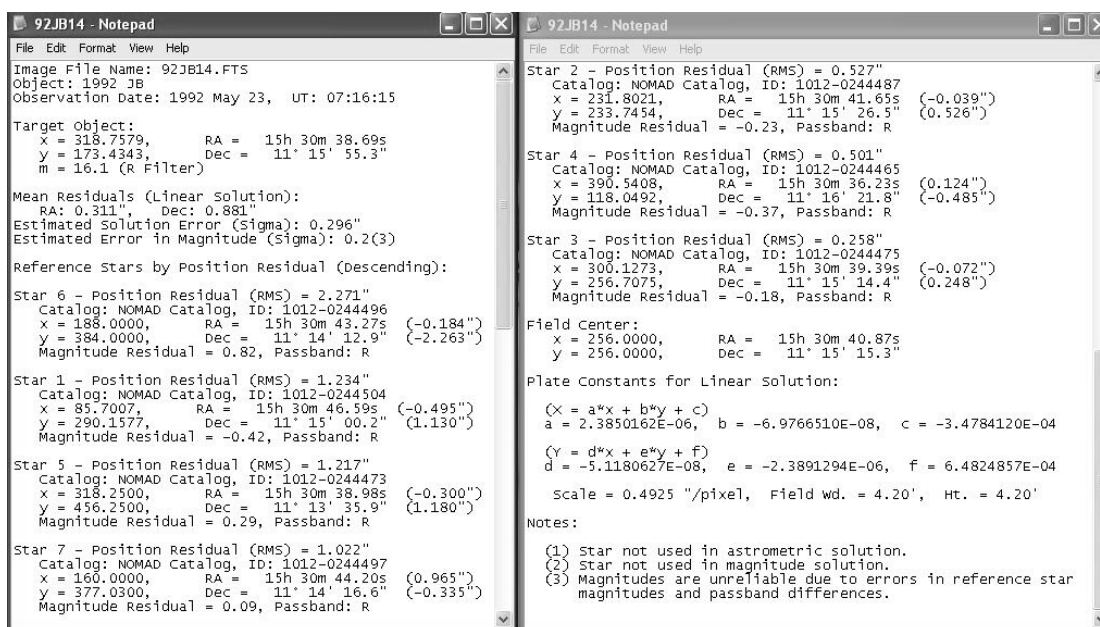
Rysunek 37. Identyfikacja ruchomego obiektu w programach CLEA

Następnie przystępuje się do wyznaczenia współrzędnych obiektu za pomocą polecenia Measure. Na wstępie program pobiera przez internet aktualną mapę nieba tego obszaru z katalogu NOMAD. Należy odnaleźć gwiazdy ze zdjęcia widocznego po prawej stronie na mapie nieba znajdującej się po lewej stronie. Trzeba zaznaczyć je kursorem:



Rysunek 38. Dopasowanie zdjęcia do mapy nieba w programach CLEA

Jeśli wskaże się więcej niż sześć gwiazd to wtedy program wyznaczy również niepewności pomiarowe współrzędnych planetoidy. W efekcie wygenerowany zostaje raport:



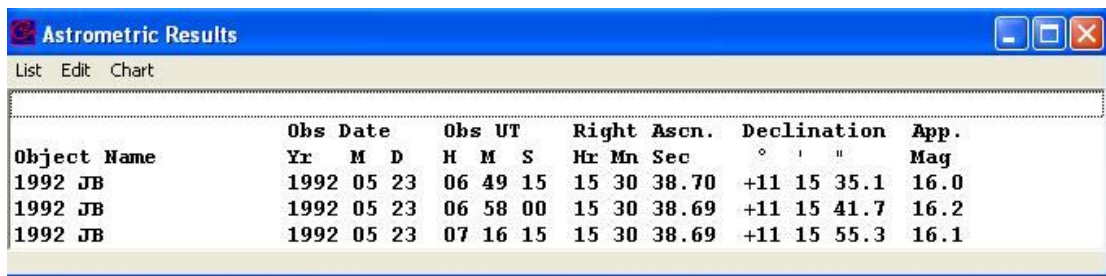
Rysunek 39. Raport z programów CLEA

W raporcie zawarte są między innymi dane takie jak:

- współrzędne planetoidy wraz z niepewnościami,
- jasność obserwowana planetoidy w M,

- skala zdjęcia w '' / piksel,
- rozmiar zdjęcia w ' łuku,
- współrzędne gwiazd odniesienia,
- data wykonania zdjęcia.

Gdy przeprowadzi się dopasowanie zdjęcia do mapy nieba dla pozostałych zdjęć otrzyma się współrzędne i jasności planetoidy dla kilku jej położeń. Raport wygenerowany zawiera dane z trzech zdjęć:



Object Name	Obs Date			Obs UT			Right Ascen.			Declination			App.
	Yr	M	D	H	M	S	Hr	Mn	Sec	°	'	"	Mag
1992 JB	1992	05	23	06	49	15	15	30	38.70	+11	15	35.1	16.0
1992 JB	1992	05	23	06	58	00	15	30	38.69	+11	15	41.7	16.2
1992 JB	1992	05	23	07	16	15	15	30	38.69	+11	15	55.3	16.1

Rysunek 40. Dane planetoidy 1992 JB

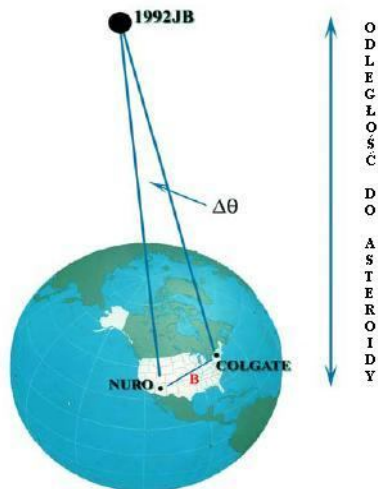
Znając te wszystkie dane można pokusić się o obliczenie przy pomocy kalkulatora:

- zmiany rektascensji i deklinacji planetoidy,
- pokonanej drogi kątowej,
- prędkości kątowej.

Przy czym bierze się pod uwagę zdjęcie pierwsze i ostatnie aby uzyskać największą dokładność.

Jeśli użytkownik posiada dostęp do zdjęć tego samego obiektu wykonanych z dwóch różnych obserwatoriów to program umożliwia również obliczenie:

- kąta pomiędzy obserwatoriami a planetoidą (paralaksy),
- odległości do planetoidy,
- odległości pomiędzy obserwatoriami,
- prędkości tangencjalnej planetoidy.



Rysunek 41. Paralaksa  $\Delta\theta$ <sup>32</sup>

Raport dotyczący odległości między obserwatoriami będzie miał postać:

```

odległość - Notepad
File Edit Format View Help
| Site 1: Colgate University, Hamilton, NY
  Longitude: 75° 31' 59.2" W
  Latitude: 42° 48' 59.1" N

Site 2: NURO - Anderson Mesa
Longitude: 111° 32' 09.3" W
Latitude: 35° 05' 48.6" N

Target Coordinates:
RA: 8h 32m 37.80s
Dec: 21° 41' 21.6"

Date: 1996 kwiecień 02, UT: 20:46:44
Projected Baseline: 1198.58km, 744.77mi
Maximum Baseline: 3172.47km, 1971.28mi

```

Rysunek 42. Odległość pomiędzy obserwatoriami w programach CLEA

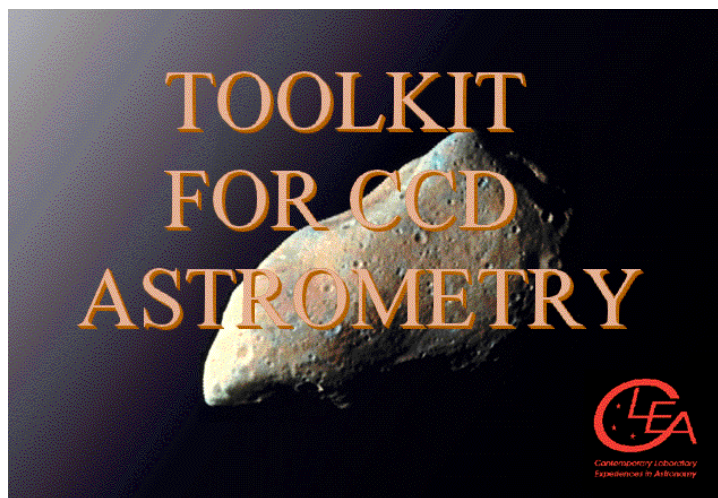
W raporcie Maximum Baseline oznacza odległość pomiędzy obserwatoriami. W praktyce o takie obserwacje jest niezmiernie trudno. Obliczenia można wykonać na archiwalnych obserwacjach, które program posiada wbudowane.

W Załączniku 4 zamieszczam tłumaczenie „Podręcznika studenta” do tego ćwiczenia. Oryginał pobrano ze strony CLEA.

CLEA udostępnia również udoskonaloną wersję programu o nazwie Toolkit for CCD Astrometry. Umożliwia ona pracę na nieobsługiwanych w poprzedniej wersji formatach zdjęć i na zdjęciach o większej rozdzielczości. Możliwe jest także korzystanie z innych katalogów gwiazd (GSC, ACT, USNO A1, A2, SA1, SA2), tworzenie raportów w formacie przeznaczonym dla MPC, obsługę bazy danych MPC i sporo innych dodatkowych opcji. Idea obsługi programu pozostaje taka sama. W programie okrojono elementy dydaktyczne i zniesiono niektóre ograniczenia. Dzięki

<sup>32</sup> Obraz pobrano z instrukcji CLEA na stronie <http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/CLEAhome.html>

temu można go zastosować z powodzeniem do dowolnych zdjęć, co było często problemem w poprzedniej wersji.



Rysunek 43. Program CLEA Toolkit for CCD Astrometry

Program można znaleźć na stronach CLEA związanych z programem Astrometry of asteroids.

### ***4.3. Teleskop zdalnie sterowany INO***

W rozdziale 3.3 wspomniano już o obserwacjach planetoid za pomocą zdalnie sterowanego teleskopu INO (Ironwood North Observatory). Znajduje się on w Arizonie w USA. Jego właścicielem jest Frank Pino. Teleskop ten w ramach programu „Wszecławiat własnym rękami” (EU-HOU) jest udostępniany w godzinach nauki szkolnej placówkom edukacyjnym biorącym udział w programie. Teleskop jest w pełni zautomatyzowany. Zmiany kierunku patrzenia, filtrów, czasów ekspozycji i innych parametrów dokonywane są za pomocą specjalnie zaprojektowanej strony internetowej. Frank Pino w pierwszej połowie nocy przeprowadza własne obserwacje. W drugiej części nocy, jeśli pogoda dopisuje, pozostawia teleskop włączony. Czas w którym teleskop jest dostępny do obserwacji to w przybliżeniu godziny od 10 do 13 czasu polskiego. Jest to zatem czas nauki szkolnej i idealna okazja aby przeprowadzać obserwacje astronomiczne z uczniami w trakcie lekcji. Po wyborze obiektu i warunków ekspozycji oczekuje się aż teleskop wykona zdjęcie. Gdy zdjęcie jest już zrobione pojawia się jego podgląd i można natychmiast zapisać je w formacie FITS lub JPEG. Średnica zwierciadła równa 10 calom ( 25.4 cm) oraz kamera CCD SBIG ST-9XEI o rozdzielczości 1024 x 1024 pikseli pozwala na uzyskanie zdjęć bardzo dobrej jakości. W zwykłej fotografii amatorskiej takie zdjęcia nieba są nieosiągalne.



Rysunek 44. Teleskop INO<sup>33</sup>

W temacie tej pracy nie zawiera się niestety opis obsługi obserwatorium INO.

Dzięki obserwatorium możliwe są obserwacje dowolnego obiektu widocznego na niebie w USA. Stwarza to ogromne możliwości. Zdjęcia mogą być później poddane obróbce pod kątem wykrycia ruchomych obiektów dowolnym programem. Dostęp do obserwatorium, tak jak do kampanii IASC, poprzez projekt EU-HOU.

#### **4.4. Obserwacje planetoid w warunkach szkolnych<sup>34</sup>**

Jeśli lekcje fizyki odbywają się w klasie nie wyposażonej w stanowiska komputerowe nie przekreśla to bynajmniej możliwości obserwacji planetoid. Można pokusić się o oryginalne zadanie domowe dla uczniów. Wykonanie zadania wieczorem w grupach kilku osobowych, podzielonych tak, aby uczniowie mieszkający blisko byli w grupie razem. Można również wykonać ćwiczenie o umówionej godzinie pod opieką nauczyciela. Obserwacja planetoid może być dla uczniów ciekawym i rozszerzającym horyzonty doświadczeniem. Wystarczy własnymi oczami lub z pomocą lornetki spojrzeć w niebo. Ćwiczenie będzie miało następujące cele:

- własnoręczne stworzenie szkicu gwiazd na niebie,
- wykrycie planetoidy wśród gwiazd,
- w efekcie większe zainteresowanie uczniów astronomią.

Niech każda z grup na wieczorne obserwacje zaopatrzy się potrzebne materiały:

---

<sup>33</sup> Obraz pobrano ze strony <http://www.ironwoodobservatory.com/observatory2.htm>

<sup>34</sup> Wzorem do napisania tego fragmentu pracy był dla mnie rozdział 5.3 z pracy licencjackiej studentki Uniwersytetu Pedagogicznego Iwony Ulman napisanej w roku 2008 pod tytułem „Własności fizyczne planetoid”, str. 29-31. Wykorzystałem zamieszczone w pracy zdjęcia i zaadaptowałem pomysł przeprowadzenia obserwacji.

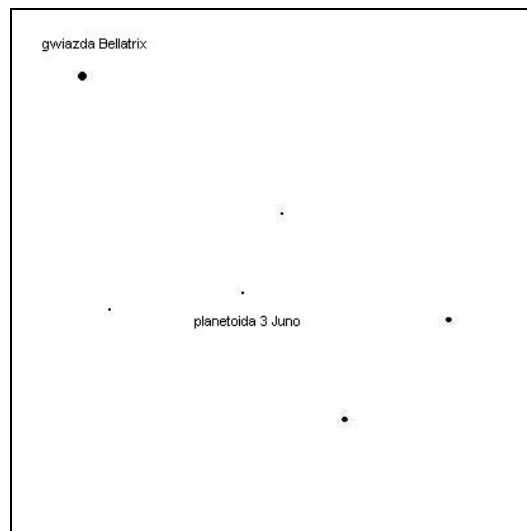
- kartki papieru,
- ołówek i gumkę,
- lornetkę,
- latarkę do oświetlania kartki przy szkicowaniu.

Przed wyjściem na obserwacje uczniowie odwiedzają stronę:

<http://www.heavens-above.com/>

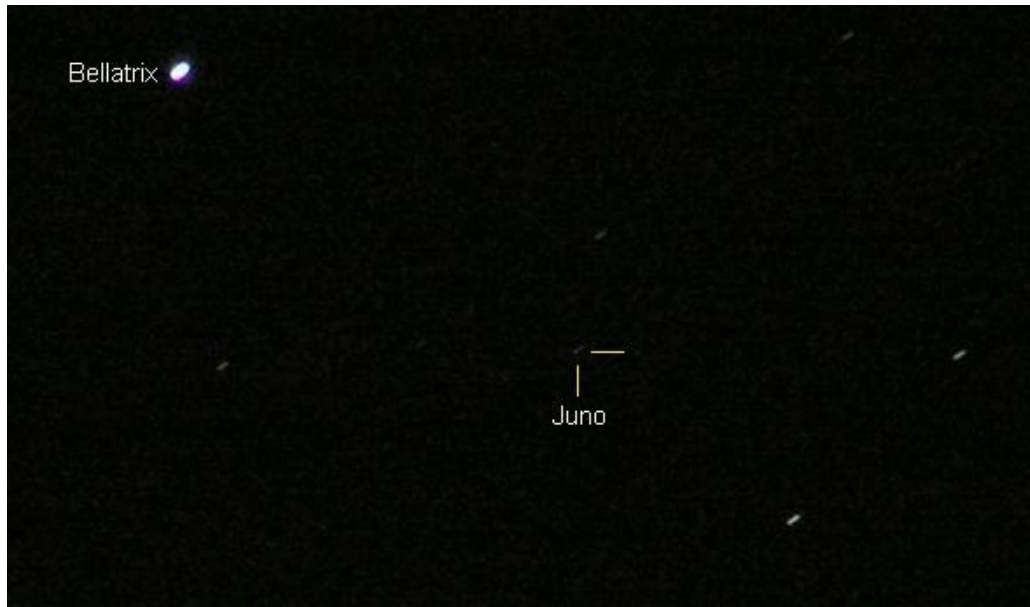
na której wybierają jedną z głównych planetoid (minor planets) widocznych na półkuli północnej. Najlepiej wybrać z pośród nich obiekt najjaśniejszy czyli taki o najmniejszej ilości magnitudo (M). Mapkę dobrze jest wydrukować gdyż ułatwia ona orientację.

Po odnalezieniu fragmentu nieba z mapki (tutaj przydaje się pomoc nauczyciela) dobrze jest zapamiętać nad jakim charakterystycznym punktem widnokregu się on znajduje. Następnie uczniowie zaznaczają na kartce charakterystyczny układ gwiazd w tamtym obszarze. Jasne obiekty zaznacza się większymi kropkami a małe mniejszymi. Poniższy przykładowy szkic został wykonany 11 października 2005 roku. Przedstawia on planetoidę 3 Juno będącą wtedy w koniunkcji z gwiazdą Bellatrix:



**Rysunek 45. Szkic nieba z planetoidą 3 Juno**

Oczywiście nie od razu wiadomo, który obiekt to planetoida. Dlatego konieczne jest powtórzenie tej obserwacji na przykład następnego wieczora. Porównanie takich dwóch szkiców daje bezsprzeczny dowód i uczniowie mogą się cieszyć ze zdemaskowania planetoidy. Rysunek 46 przedstawia obszar widoczny na szkicu:



**Rysunek 46. Planetoida 3 Juno w koniunkcji z Bellatrix – 11. X. 2005** <sup>35</sup>

Tylko od pomysłowości nauczyciela zależy jakie jeszcze ćwiczenia związane z poszukiwaniami i obserwacjami planetoid zaproponuje swoim uczniom.

---

<sup>35</sup> Zdjęcie zostało pobrane ze stron Przechmierzowskiego Obserwatorium Astronomicznego (POA) (<http://www.poa.home.pl/forum/portal.php>)

## Zakończenie

W trakcie trwania międzynarodowej kampanii poszukiwań planetoid udało się odkryć trzy obiekty NEO. Obserwacje przysłużyły się do wyznaczenia orbit tych obiektów. Nie udało się odkryć żadnej planetoidy z pasa głównego więc cel odkrywczy został zrealizowany połowicznie. W czasie poszukiwań samodzielnie opracowywałem i weryfikowałem obserwacje konsultując się z amerykańskim personelem IASC. Poszukiwania uzupełniają także samodzielne obserwacje w obserwatorium na Suhorze oraz obserwacje zdalnym teleskopem INO.

Dwa początkowe rozdziały pracy mogą stać się źródłem wiedzy z zakresu planetoid oraz astrometrii dla przyszłych studentów UP.

Przed nauczycielem- pasjonatem stoją opracowane cztery możliwe do przeprowadzenia ćwiczenia z obserwacji planetoid. Mogą śmiało posłużyć do uatrakcyjnienia niejednej lekcji.

Wiele planetoid pozostaje wciąż nieodkrytych. W samym pasie głównym tych obiektów może być jeszcze miliony. Z kolei powoli wyłania się przed astronomami obszar nowych obserwacji – pas Kuipera. Zdaje się on być ogromnym obszarem wypełnionym mnóstwem obiektów na wzór pasa głównego. Również obserwacje w celu ochrony Ziemi przed asteroidami wchodzą w nowy etap obserwacji pozaziemskich wraz z wystrzeleniem satelity Gaja planowanym na rok 2011. Obserwacje planetoid wciąż są niezmiernie ciekawe i kryją przed poszukiwaczami wiele odkryć.

## Załączniki:

- 1.) Instrukcja analizy zdjęć IASC programem „Astrometrica”<sup>36</sup>.
- 2.) Instrukcja weryfikacji raportów IASC.
- 3.) Instrukcja dla studentów do ćwiczenia „Wyznaczanie odległości do asteroidy 1992JB metodą paralaksy” (CLEA - Astrometry of asteroids) wykonywanego w ramach I Pracowni Astronomicznej.
- 4.) „Astrometria asteroid – podręcznik studenta” - tłumaczenie oryginalnej instrukcji do programu CLEA - Astrometry of asteroids<sup>37</sup>.

---

<sup>36</sup> Wzorem do napisania instrukcji był istniejący już dokument „Astrometrica – co i jak ?” autorstwa Bogdana Sobczuka, nauczyciela fizyki w toruńskim Zespole Szkół im. prof. Stefana Banacha. Za zgodą nauczyciela, który wielokrotnie brał udział w kampaniach IASC i nadzorował zespoły poszukiwaczy z Torunia, wykorzystałem część pochodzących z instrukcji zdjęć. Tekst instrukcji został przeze mnie napisany od podstaw.

<sup>37</sup> Tłumaczenie z języka angielskiego wykonał student Uniwersytetu Pedagogicznego Stanisław B. A. Stawowy. Autor pracy tekst gruntownie przeredagował i uzupełnił.

## Załącznik 1.

### Instrukcja analizy zdjęć IASC programem Astrometrica

Przed rozpoczęciem pracy z programem należy pobrać najpierw trzy archiwa :

- program Astrometrica,
- pliki konfiguracyjne do teleskopów ARI (ARI-32.cfg, ARI-24.cfg),
- bazę danych MPCORB.zip.

Wszystkie pliki możemy znaleźć na stronie głównej IASC (<http://iasc.hsutx.edu/index.htm>). Program i pliki konfiguracyjne znajdziemy w zakładce Astrometrica a bazę danych na samym dole strony głównej.

Rozpakowana baza danych powinna zawierać 6 plików (COMET.dat, DAILY.dat, DistantObjects.dat, MPCOrb.dat, NEAtod.dat, Unusuals.dat). W domyślnych ustawieniach programu pliki bazy danych należy umieścić w folderze Tutorials. Pliki konfiguracyjne umieszczamy w folderze głównym programu. Uruchamiamy plik Astrometrica.exe. Przesuwający się niebieski pasek informuje nas o poprawnym wczytywaniu bazy danych do programu. Aby uniknąć nieprzyjemnych komunikatów można program aktywować. Wybieramy w menu głównym Help, następnie Registration i wpisujemy dane :

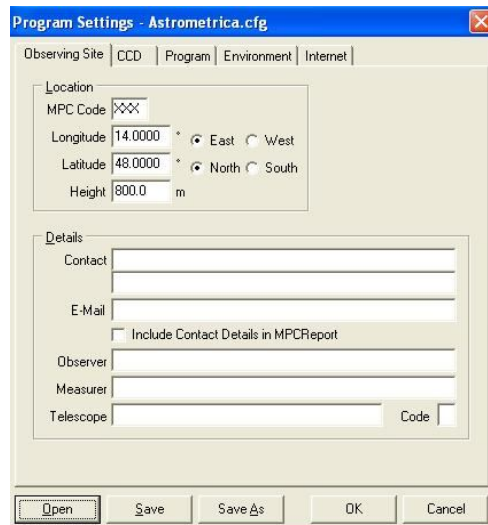
License : Holmes Robert  
Key : ZXD-338

#### Konfiguracja programu.

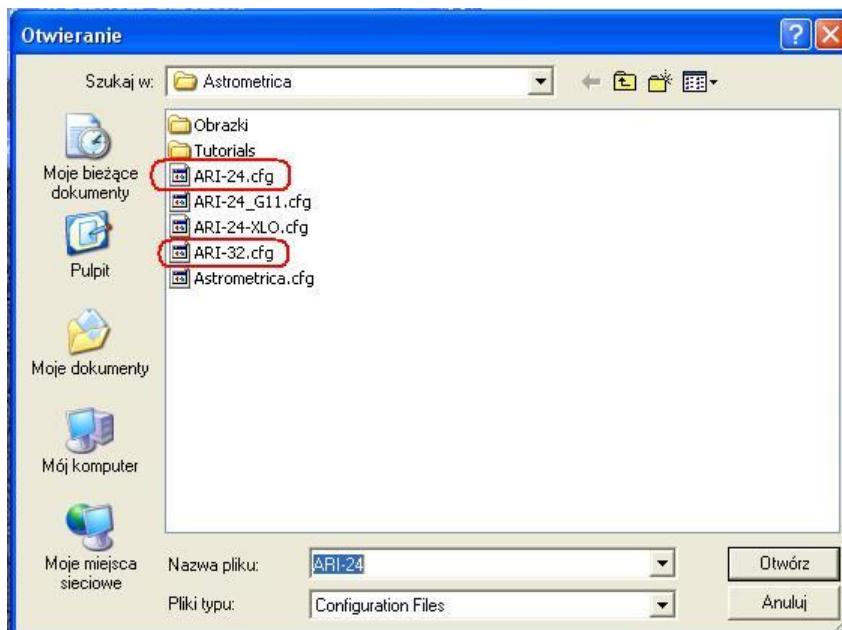
Korzystamy z opcji Settings zakreślonej na czerwono na pasku narzędzi :



Pojawi się okienko :

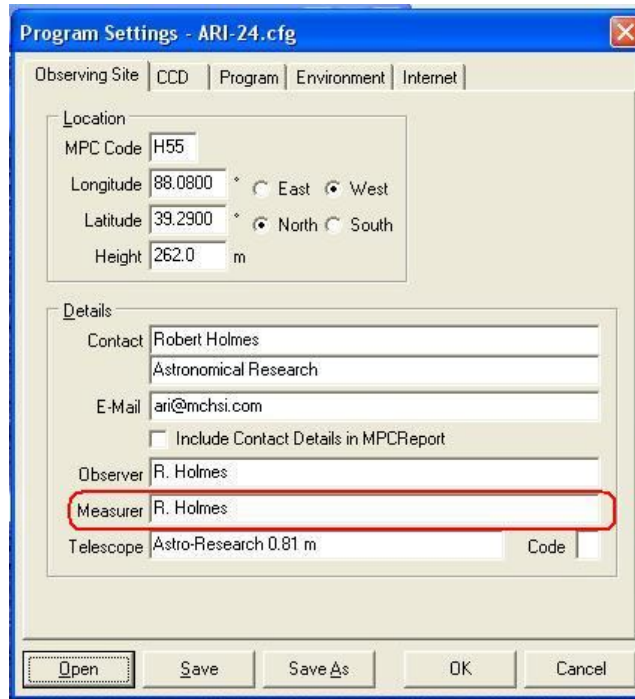


Za pomocą przycisku Open wczytujemy odpowiedni plik konfiguracyjny :




O tym jaki plik konfiguracyjny wybrać informują nas zawsze dwie ostatnie cyfry nazwy pobranego pakietu ze zdjęciami (przykładowo przy zdjęciach 04-2009 BB-0131-24 wybieramy ARI-24.cfg).

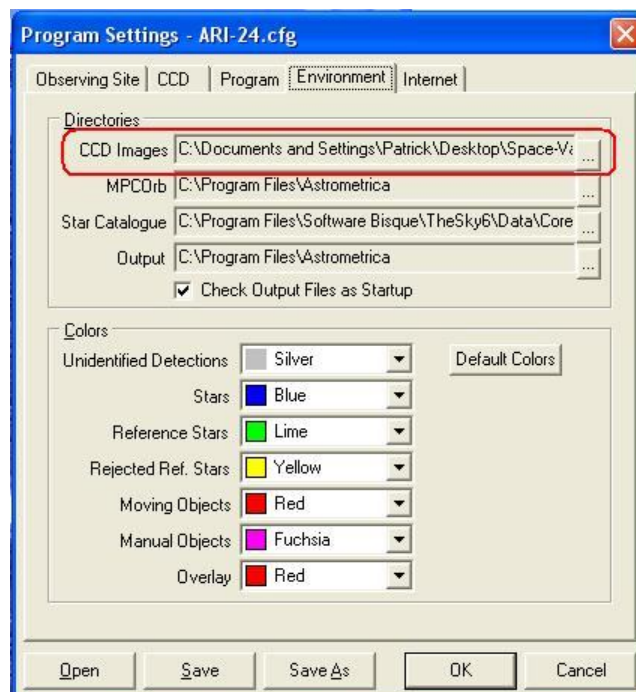
Aby ułatwić sobie pracę z programem dobrze jest zmienić najpierw kilka ustawień w pliku konfiguracyjnym. W zakładce Observing Site w polu Measurer wpisujemy dane opiekuna grupy i maksymalnie trzech poszukiwaczy oraz oznaczenie szkoły:



Przykładowo :

J.Skoczek, A.Kowalska, B.Majewski, J.Kubica – 9L0 Krakow – Poland

Nie używamy oczywiście polskich znaków (ś, ć, ż, ł itd.). Kolejnych zmian warto dokonać w zakładce Environment pliku konfiguracyjnego. W polu CCD Images wczytujemy (przycisk ) ścieżkę dostępu do folderu ze zdjęciami. Można wcześniej utworzyć folder w wygodnym dla nas miejscu :



Warto również stworzyć własny folder z bazą danych i wczytać ścieżkę dostępu do niego w polu MPCOrb. Co ważne – baza musi się znajdować w podanym folderze, w przeciwnym wypadku napotkamy błędy podczas uruchomienia programu.

Teraz należy zapisać zmiany poprzez opcję Save As i nadanie nowej nazwy plikowi (przykładowo ARI-24-9L0) i zakończyć przyciskiem OK. Aby upewnić się, że wszystko zrobiliśmy dobrze sprawdzamy czy w dolnym prawym rogu programu wyświetla się nazwa naszego pliku konfiguracyjnego :



Przy każdym uruchomieniu program będzie wczytywał automatycznie ostatni otwarty plik konfiguracyjny. Pliki możemy oczywiście w każdym momencie zmieniać.

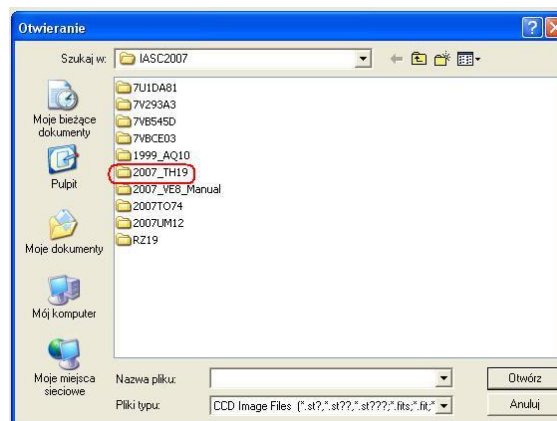
### Analiza zdjęć

Przed analizą zdjęć należy pobrać (codziennie) powtórnie bazę danych, gdyż jest ona aktualizowana co kilka godzin. Jest to niezmiernie ważne. Zdjęcia pobieramy z naszego folderu, który znajduje się w zakładce Asteroid Search na stronie głównej IASC po uprzednim zalogowaniu się. Hasło i login otrzymamy od opiekuna grupy.

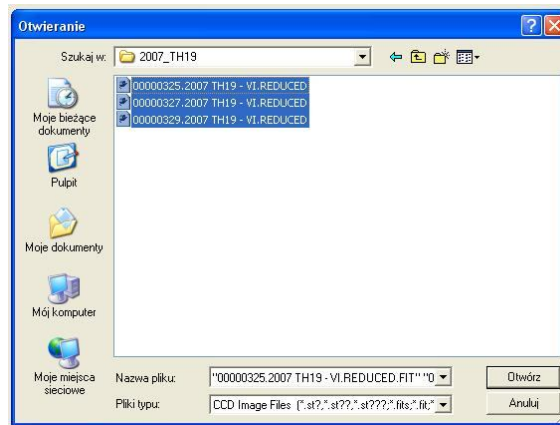
Zdjęcia zapisujemy w ustawionym wcześniej w programie folderze. Wczytujemy zdjęcia poprzez opcję Load Images :



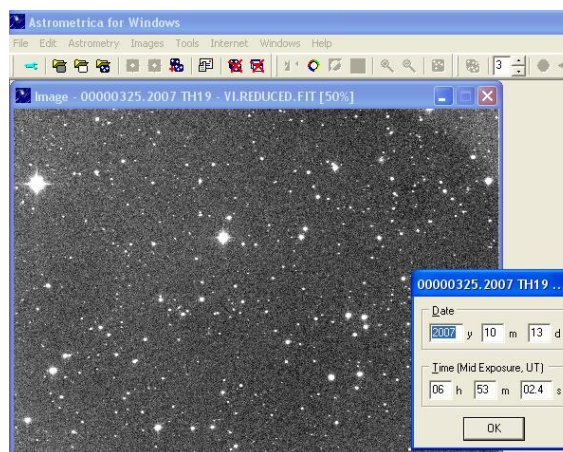
W okienku poniżej odnajdujemy folder ze zdjęciami :



Następnie trzymając klawisz CTRL zaznaczamy wszystkie trzy zdjęcia w katalogu :



I wczytujemy zdjęcia przyciskiem Otwórz. Pliki są ładowane kolejno, przy czym



naciskamy trzy razy OK :

W chwili gdy wszystkie zdjęcia zostaną poprawnie otwarte przez program można przystąpić do właściwych poszukiwań. Składać się one będą z trzech etapów :

- skan automatyczny,
- poszukiwanie znanych obiektów z bazy,
- ręczne poszukiwania nieznanymi obiektów.

### **Skany automatyczny**

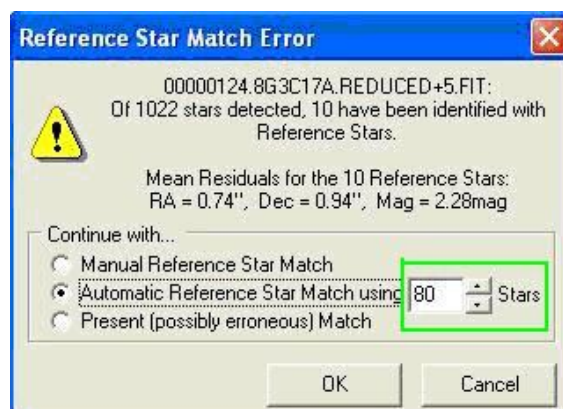
W tym etapie program automatycznie przeanalizuje zdjęcia i wyszuka na nich ruchome obiekty. W wyniku skanu automatycznego wykryte zostaną obiekty duże i dobrze widoczne zarówno znane jak i nieznanymi oraz obiekty złe. Wybieramy opcję Moving Object Detection zakreślona na czerwono :



Ograniczamy się do naciśnięcia OK i oczekiwania :

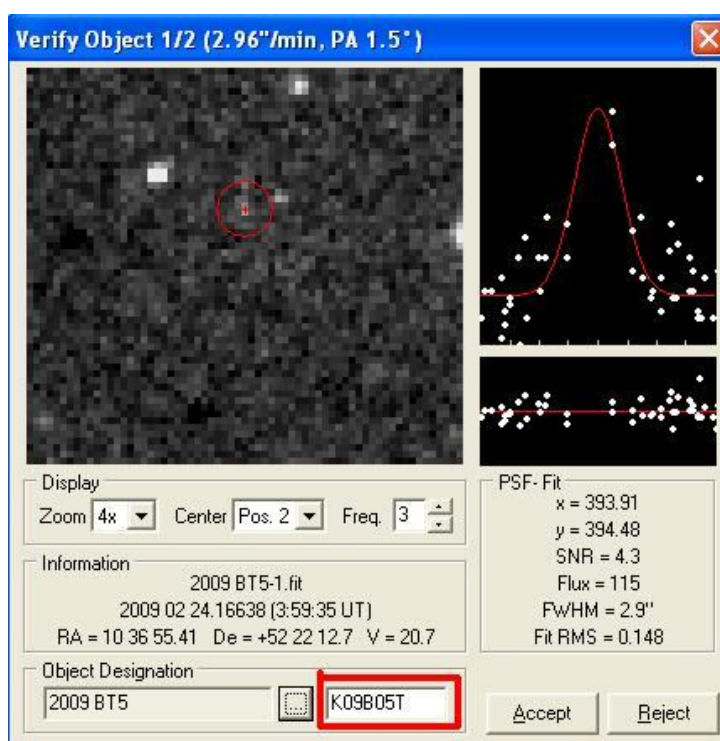


Program łączy się przez Internet z katalogiem USNO-B1.0 skąd pobiera współrzędne gwiazd odniesienia dla wszystkich trzech zdjęć. Podczas tego procesu może się zdarzyć, że program nie wykona operacji automatycznie. Jeśli pojawi się błąd HTTP acces failed należy w zakładce Internet pliku konfiguracyjnego zmienić serwer z którego pobierany jest katalog gwiazd. W polu Vizier Server wybieram inną lokalizację, dla której pobieranie przebiegnie pomyślnie. Inny problem może nas spotkać, gdy zdjęcie jest marnej jakości z powodu złych warunków atmosferycznych lub gdy jest na nim bardzo dużo gwiazd. Pojawi się wówczas okienko w którym należy wybrać środkową opcję Automatic reference star match i potwierdzić przyciskiem OK :



Jeśli powyższy komunikat pojawi się powtórnie to zwiększamy ilość gwiazd w okienku zakreślonym na zielono i powtarzamy obliczenia. Należy również sprawdzić czy używamy pliku konfiguracyjnego odpowiedniego do analizowanych zdjęć (prawy dolny róg programu). Jeśli plik konfiguracyjny jest nieodpowiedni program będzie się w trakcie obliczeń zawieszał. Jeśli plik jest odpowiedni obliczenia dla maksymalnie 320 gwiazd powinny zakończyć się powodzeniem.

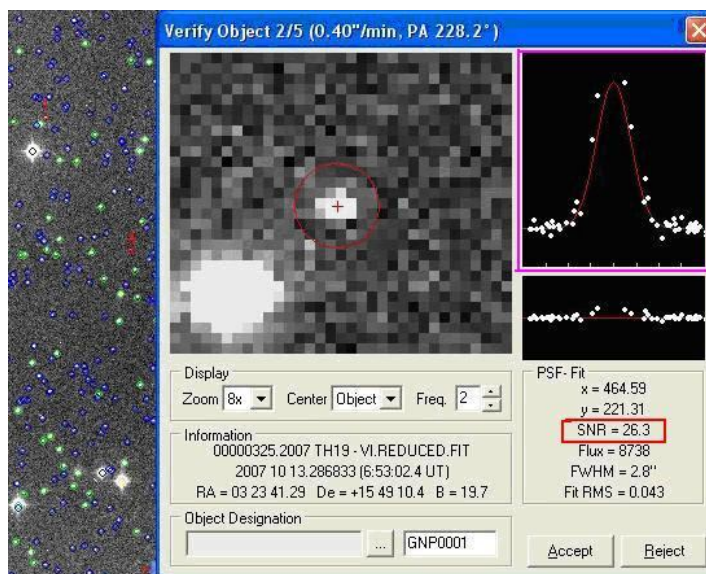
Po zakończeniu tego procesu pojawia się okno weryfikacji obiektów, które są asteroidami lub program podejrzewa, że mogą nimi być. W przykładowym oknie weryfikacji poniżej program wykrył dwa ruchome obiekty. Jeśli w polu zakreślonym na czerwono pojawia się nazwa planetoidy ( w tym wypadku K09B05T) oznacza to, że program wykrył na zdjęciu planetoidę i jej współrzędne zgadzają się z obiektem z bazy danych o tej właśnie nazwie. W takim wypadku akceptujemy obiekt przyciskiem Accept.



Program przechodzi do następnego obiektu. Jeśli w zakreślonym na czerwono polu na powyższym zdjęciu nie pojawia się żaden napis oznacza to, że znalezionej obiektu nie ma w bazie danych. Mamy wtedy dwie możliwości :

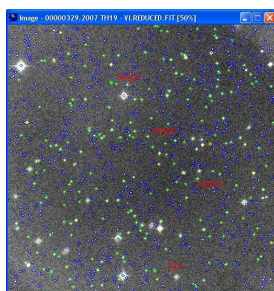
- jeśli obiekt nie jest planetoidą odrzucamy go naciskając przycisk Reject, Możemy się tutaj spotkać z różnymi wykrytymi przez program obiektami, które już na pierwszy rzut oka planetoidami nie są. Przykładowo mogą to być duże prześwieczone gwiazdy z których „wylewa się” światło, ruchome gorące pixele o bardzo ostrych krawędziach, przesuwający się brzeg zdjęcia, przypadkowo ułożone fluktuacje tła itp. Wszystkie takie obiekty odrzucamy. Pomocnym w ocenie poprawności obiektu jest tutaj parametr SNR zakreślony na czerwono, który powinien być większy niż 4. W przeciwnym razie mamy do czynienia z fluktuacjami tła. Również wykres w ramce zakreślonej na fioletowo powinien dobrze pokrywać się z jasnymi punktami.

- jeśli obiekt nie jest znany a wygląda na poprawną planetoidę, nadajemy mu własną nazwę. W poniższym okienku była to nazwa GNP0001.



Nazwę tworzymy ze skrótu nazwy szkoły (3 litery) i numeru kolejnego odkrytego przez nas obiektu (4 cyfry). Dla Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie pierwszy obiekt oznaczylibyśmy jako UPK0001, drugi odkryty jako UPK0002 itd. W trakcie trwania całej kampanii każdy odkryty obiekt musi mieć swoją unikalną, kolejną nazwę – numer. Nie mogą się one powtarzać.

W ten sposób weryfikujemy wszystkie obiekty. Po zakończeniu skanu automatycznego na zdjęciach będą widoczne zaakceptowane przez nas obiekty otoczone czerwonymi kółeczkami. Obok znajdują się ich nazwy :



### Poszukiwanie pozostałych znanych obiektów z bazy danych

Skan automatyczny wykrywa jedynie obiekty dość duże. Istnieją jednak mniejsze obiekty, których nie jest w stanie wykryć gdyż są na zdjęciach zbyt słabo widoczne. W tym etapie spróbujemy wykryć pozostałe znane obiekty, których nie wykrył skan automatyczny. Naciskamy przycisk Known Object Overlay :



W tym momencie program wybierze z bazy danych takie obiekty, których współrzędne położenia znajdują się w obrębie zdjęcia i które powinny na zdjęciach zostać uchwycone. W tych miejscach pojawiają się czerwone kwadraciki z nazwami obiektów. Naszym celem będzie przekonać się, czy coś w tych miejscach na zdjęciach rzeczywiście się znajduje. Aby obiekty było łatwiej zauważyć tworzymy animację ze zdjęć naciskając przycisk Blink current Images zakreślony na czerwono :



Program tworzy animację wyświetlając naprzemian trzy zdjęcia nałożone na siebie. Za pomocą lupki „+” zakreślonej na zielono możemy animację powiększyć. Możemy również zmieniać prędkość zmian za pomocą okienka zakreślonego na żółto.

Teraz przystępujemy do weryfikacji wybranych przez program z bazy obiektów. Musimy przejrzeć po kolei wszystkie czerwone kwadraciki na animacji i ocenić, co się w nich znajduje. Mamy do wyboru trzy możliwości postępowania :

- jeśli w czerwonym kwadraciku (lub w pobliżu) znajduje się czerwone kółeczko poruszające się w ten sam sposób to nie robimy nic z tym obiektem. Jest to obiekt wykryty w skanie automatycznym (czerwone kółeczko), którego współrzędne zostały już przez program obliczone i nie ma potrzeby ich dublowania,

- jeśli w czerwonym kwadraciku (lub w pobliżu) mimo naszych usilnych starań i użycia lupki nic nie dostrzegamy to również nie robimy nic z takim obiektem. Najprawdopodobniej obiekt wskazany przez bazę danych miał zbyt małą jasność aby teleskop go dostrzegł albo warunki atmosferyczne nie pozwoliły go uchwycić. Ważne aby nie klikać w pustych czerwonych kwadracikach i nie tworzyć obiektów – widm, jeśli ich tam w rzeczywistości nie ma.

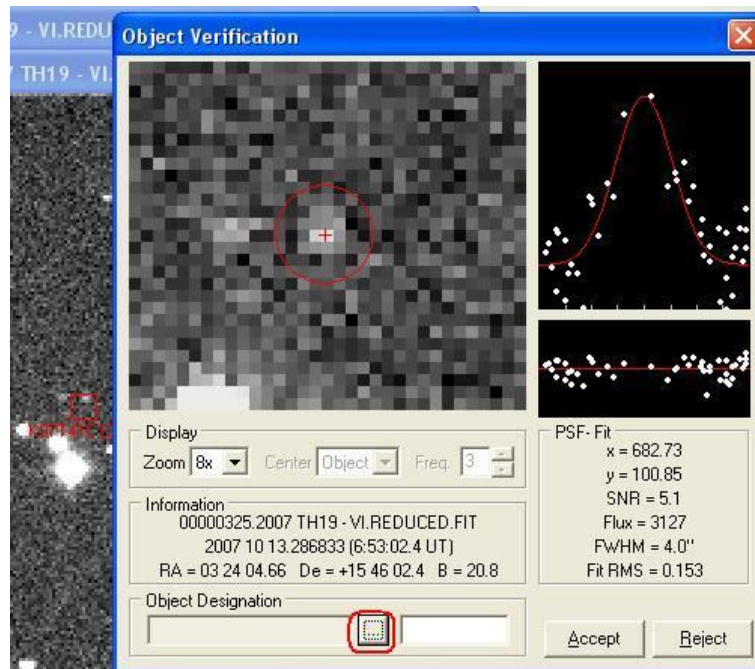
- jeśli w czerwonym kwadraciku (lub w pobliżu) widzimy obiekt, który porusza się tak samo jak kwadracik oznacza to, że odnaleźliśmy ów znany obiekt. Postępujemy z nim, jak to jest opisane niżej.

Zatrzymujemy animację naciskając przycisk Stop Blinking zakreślony na czerwono :

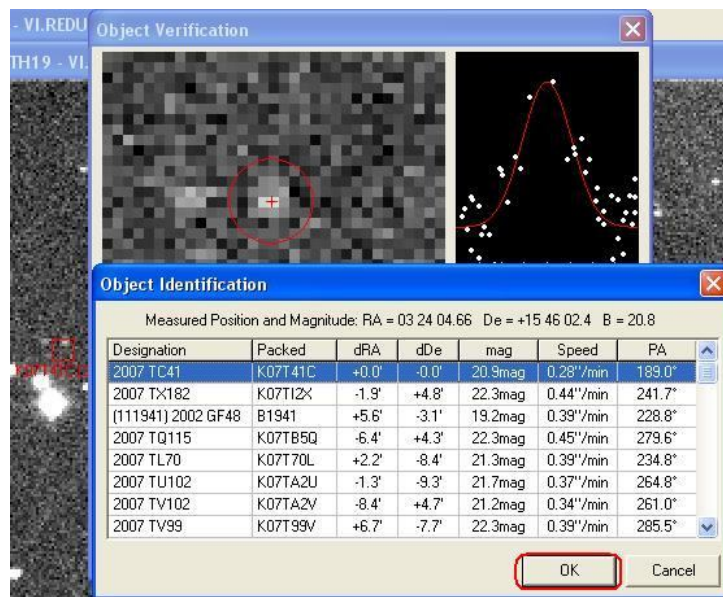


Następnie za pomocą strzałek zakreślonych na zielono ustawiamy animację na zdjęciu z numerem 1.

Pomagając sobie lupką możliwie najdokładniej klikamy kursorem na obiekcie. Wtedy pojawi się okienko Object Verification, które znamy już ze skanu automatycznego. Dobrze jest przemieścić je odrobinę w prawo tak by nie zasłaniało nazwy weryfikowanego obiektu. Naciskamy przycisk zakreślony na czerwono :

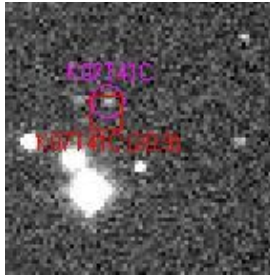


Z listy z nazwami obiektów wybieramy ten z samej góry, dla którego różnice współrzędnych dRA oraz dDe wynoszą 0.0'.



Po sprawdzeniu czy nazwa obiektu na zdjęciu i ta w tabeli są identyczne naciskamy przycisk OK

Po tej operacji w czerwony kwadraciku pojawi się fioletowe kółeczko, które potwierdza obliczenie przez program współrzędnych obiektu na tym zdjęciu :



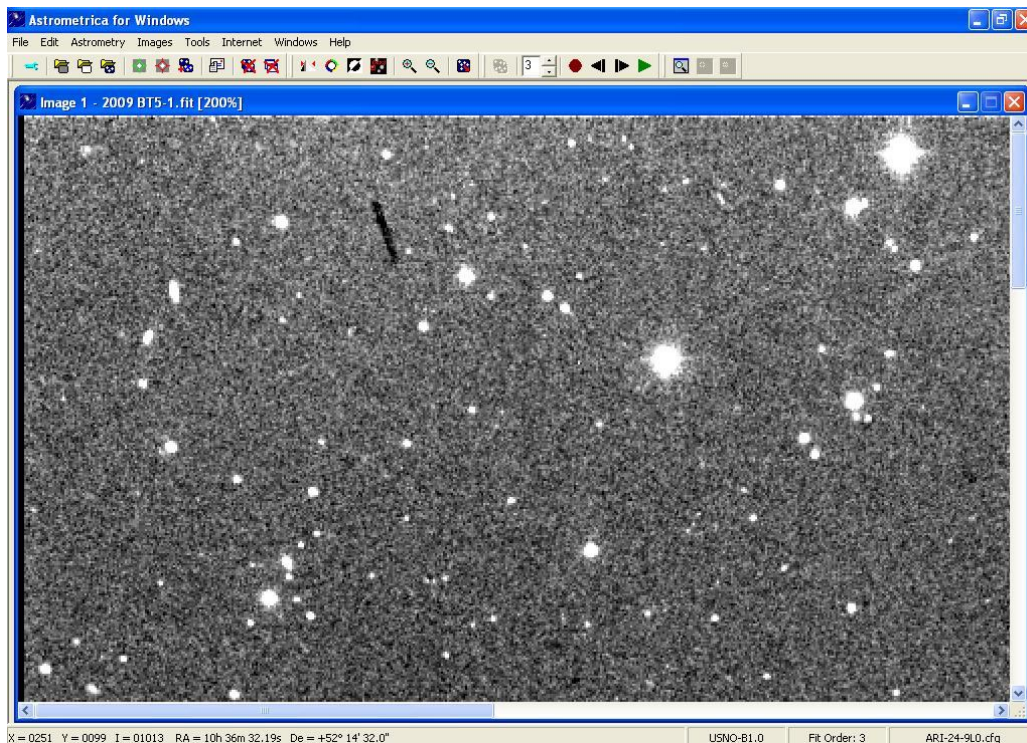
Powyższą operację należy wykonać dla tego obiektu również na zdjęciach numer 2 i 3, tak aby na każdym z nich znalazło się fioletowe kółeczko. W sumie dla pojedynczego obiektu musimy więc wykonać to trzy razy.

Kiedy przeanalizujemy już wszystkie czerwone kwadraciki, pora na ostatni etap poszukiwań.

### Ręczne poszukiwania nieznanymi obiektów

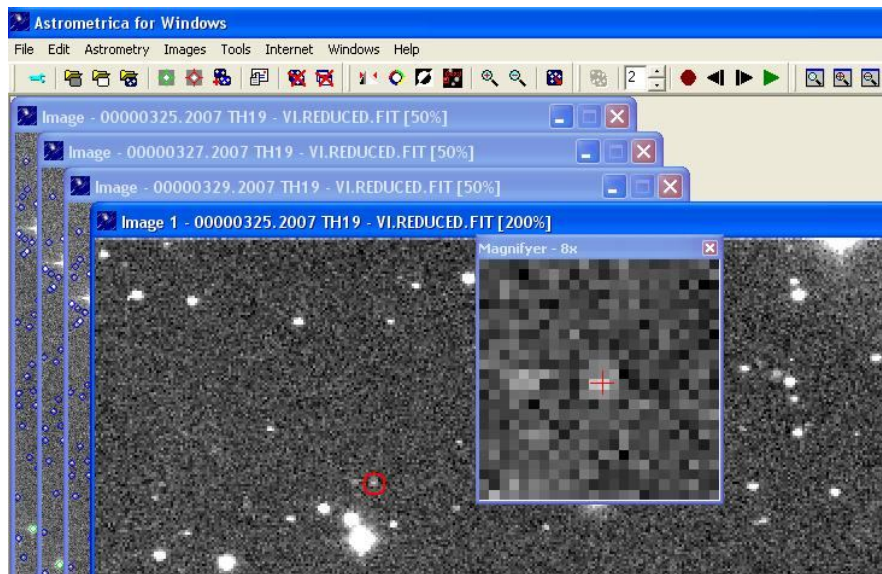
Oprócz obiektów znanych, które już wyeliminowaliśmy oraz obiektów wykrytych przez skan automatyczny na zdjęciu mogą znaleźć się jeszcze małe, nieznanne obiekty. Takie właśnie obiekty są najcenniejsze, gdyż są dla nas potencjalnymi nowo odkrytymi planetoidami. Niestety z tego powodu proces ich wykrycia jest wyjątkowo żmudny.

W znany już sposób wykonujemy animację. Maksymalizujemy okno animacji i ustawiamy dość duże powiększenie (typu 200%). Okienko animacji ustawiamy w lewym górnym rogu zdjęcia :

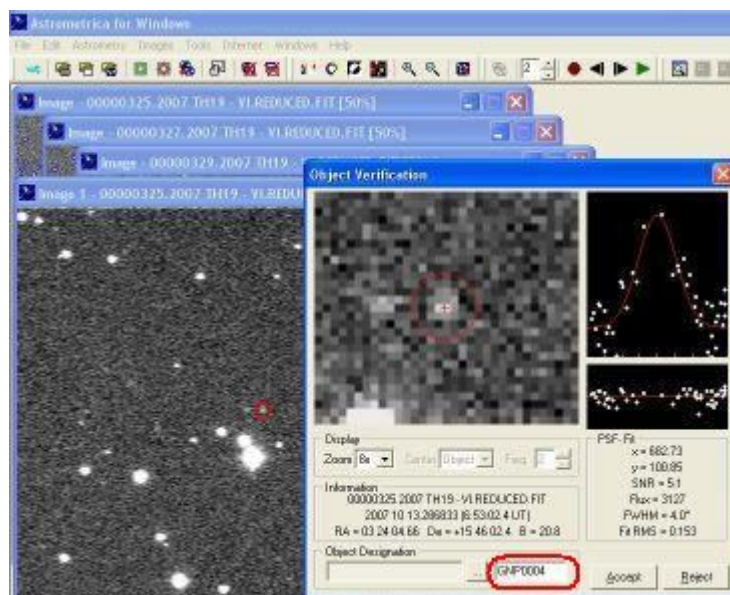


Następnie powoli i dokładnie „skanujemy” oczami widoczny fragment zdjęcia. Od naszej dokładności zależy możliwe odkrycie bądź przegapienie nowego obiektu. Jeśli nic nie dostrzeżemy, przesuwamy okienko w dół o jedną wysokość okna. W ten sposób przeszukujemy pionowy pas zdjęcia. Następnie przesuwamy okno o jedną jego

szerokość w prawo i przepatrujemy następny pas, tym razem idąc do góry. W ten sposób postępujemy do końca zdjęcia. W momencie gdy zauważymy jakiś ciekawy obiekt poza wszelkimi kółkami i kwadracikami zatrzymujemy animację i przechodzimy do pierwszego zdjęcia. Możliwie precyzyjnie „celujemy” w obiekt kursorem (przydaje się lupka) i klikamy :



Pojawia się ponownie okienko weryfikacji



W którym wpisujemy unikalną nazwę obiektu w miejscu zakreślonym na czerwono. W tym przypadku jest to już czwarty kandydat na planetoidę stąd wpis GNP0004. Akceptujemy obiekt klikając przycisk Accept. W efekcie na zdjęciu pojawia się fioletowe kółeczko wraz z nadaną nazwą. Powyższe namierzenie i nadanie nazwy przeprowadzamy również na zdjęciach numer 2 i 3.

W ten sposób zakończyliśmy trzeci, ostatni etap analizy pakietu zdjęć.



```

New Text Document - Notepad
File Edit Format View Help
COD H55
OBS R. Holmes
MEA W.Ogloza, w.Kulynycz, K.Głowa - UP Krakow - Poland
TEL Astro-Research 0.61 m + CCD
ACK MPCReport file updated 2009.06.25 00:57:35
AC2 ar1@mchsi.com
NET USNO-B1.0
Image set : 8G3FA9B_7
UPK0001 C2008 04 14.23685 12 14 18.33 +06 33 25.9 17.4 v H55
UPK0001 C2008 04 14.24066 12 14 18.08 +06 33 23.9 16.9 v H55
UPK0001 C2008 04 14.24458 12 14 17.85 +06 33 23.0 17.9 v H55
14449 C2008 04 14.23685 12 14 22.12 +06 30 15.0 19.4 v H55
14449 C2008 04 14.24066 12 14 21.92 +06 30 15.8 19.2 v H55
14449 C2008 04 14.24458 12 14 21.67 +06 30 16.7 19.6 v H55
26284 C2008 04 14.23685 12 14 25.06 +06 28 48.8 18.2 v H55
26284 C2008 04 14.24066 12 14 24.90 +06 28 49.9 18.2 v H55
26284 C2008 04 14.24458 12 14 24.70 +06 28 51.4 18.2 v H55
----- end -----

```

Plik zapisujemy i nadajemy mu nazwę pakietu zdjęć. W tym wypadku będzie to plik 8G3FA9B\_7.txt.

Jeżeli obrabiamy więcej niż jeden zestaw zdjęć należy pamiętać aby po każdym pakiecie wyczyścić wszystkie pliki tymczasowe, w których program przetrzymuje dane. Robimy to za pomocą opcji Reset Files w menu rozwijanym File na górnym pasku programu. Raporty dotyczące kilku pakietów powinny się znaleźć w osobnych plikach tekstowych.

Na koniec wysyłamy maila z raportem dołączonym jako załącznik do Patricka Millera na adres

[pmiller@hsutx.edu](mailto:pmiller@hsutx.edu)

W tytule maila zawieramy nazwę pakietu zdjęć i dane szkoły, przykładowo :  
Report – Image set : 8G3FA9B\_7 - UP Krakow – Poland

### Uwagi

Analiza jednego pakietu zdjęć powinna zająć jednej osobie około godziny. W początkowym okresie poszukiwań może to zająć oczywiście więcej czasu. Od momentu pojawienia się zdjęć w folderze do przesłania gotowego raportu nie może minąć więcej niż 48 godzin. Najlepiej jest tak zorganizować pracę i podzielić grupę aby raporty były wysyłane możliwie szybko, jeszcze tego samego dnia po otrzymaniu. Ma to znaczenie przy przyznaniu odkrycia.

## Załącznik 2.

### Instrukcja weryfikacji raportów IASC

Raporty do zweryfikowania otrzymujemy od Patrick Millera z adresu :

[pmiller@hsutx.edu](mailto:pmiller@hsutx.edu)

Nazwa paczki z raportami zawiera w sobie typ teleskopu, datę wykonania zdjęć oraz numer partii raportów (przykładowo ARI-24.cfg (02-09-09) - 1.zip). Po otrzymaniu archiwum, rozpakowujemy je. Tworzymy plik tekstowy raportu końcowego, w którym będziemy wykonywać całą pracę. W tym przypadku powinien on mieć nazwę MPC Reports Final - 24.cfg (02-09-09) - 1.txt.

Otwieramy kolejno każdy z otrzymanych raportów, zaznaczamy i kopiujemy całość a następnie wklejamy w raporcie końcowym. Pomędzy poszczególnymi raportami pozostawiamy jedną linijkę przerwy. Po takim przygotowaniu raportu końcowego możemy przystąpić do pracy. Dla każdego obiektu należy wykonać cztery testy :

- sprawdzenie w pliku testującym Excel'a – IASC MPC Report Tester.xls,
- sprawdzenie obiektu na zdjęciach w programie Astrometrica,
- wykonanie testu w programie Find Orbit,
- sprawdzenie obiektu w formularzu MPCheker.

#### Test w Excelu

Plik weryfikujący IASC\_MPC\_Report\_Tester.xls został napisany w USA stąd przed jego uruchomieniem należy zmienić opcje regionalne i językowe systemu operacyjnego według schematu: Start => Panel Sterowania => Opcje regionalne i językowe => Angielski(Stany Zjednoczone) => Zastosuj => OK.

Szczegóły użycia pliku testującego Excela opisałem w rozdziale 3.1.2 pracy magisterskiej. W tym przypadku kopiujemy najpierw dane z jednego raportu i wklejamy je w Excelu w miejscu gdzie zaczyna się pierwsza linijka z danymi. Arkusz przeliczy współrzędne obiektów i zbada ich poprawność. Po wykonaniu testu proponuję w raporcie końcowym pod każdym przetestowanym obiektem umieścić tymczasowe cztery linijki tekstu :

Excel –  
Astrometrica –  
Find Orbit –  
MPCheker –

W sposób przedstawiony poniżej :

```

MPC Reports Final - ARI-24.cfg (02-09-09) - 1 - Notepad
File Edit Format View Help
COD H55
OBS R. Holmes
MEA B. Nowicki, M. Gadzinski, K. Przybyszewski, K. Urbanski - CGS(Sierpc, Poland)
TEL Astro-Research 0.61 m + CCD
ACK MPCReport file updated 2009.02.10 19:36:41
AC2 ari@mchsi.com
NET USNO-B1.0

Image set: 09-2005 EY-0209-24

      CGS0014 C2009 02 05.13064 04 41 30.13 +41 18 49.4      20.8 v      H55
      CGS0014 C2009 02 05.13684 04 41 29.38 +41 18 50.3      21.1 v      H55
      CGS0014 C2009 02 05.14302 04 41 28.35 +41 18 51.3      20.8 v      H55
Excel - pass,
Astrometrica -
Find orbit -
MPCheker -

      K01F25B C2009 02 05.13064 04 42 02.55 +41 29 30.1      19.5 v      H55
      K01F25B C2009 02 05.13684 04 42 03.04 +41 29 26.5      20.2 v      H55
      K01F25B C2009 02 05.14302 04 42 03.21 +41 29 24.4      19.8 v      H55
Excel - fail,
Astrometrica -
Find orbit -
MPCheker -

----- end -----

COD H55
OBS R. Holmes
MEA M. Berggren, J. Hart, W. McAllister (IAS)
TEL Astro-Research 0.61 m + CCD
ACK MPCReport file updated 2009.02.09 10:52:06
AC2 ari@mchsi.com
NET USNO-B1.0

```

W każdej linijce będziemy wpisywać wynik odpowiedniego testu. W linijce Excel wpisujemy komunikat pass (obiekt OK) lub fail (obiekt niepoprawny) widoczny w Excelu w kolumnie Status. Ponieważ lepiej jest kopiować całe raporty do Excela adnotacje umieszczamy pod obiektami dopiero po wykonaniu testów. W ten sposób postępujemy z każdym z raportów. Kiedy już pod każdym obiektem w raporcie końcowym mamy 4 adnotacje wraz z wynikiem testu Excela możemy przystąpić do następnego etapu.

### Kontrola obiektu w programie Astrometrica

Otwieramy program Astrometrica i wczytujemy odpowiedni plik konfiguracyjny teleskopu (w tym wypadku ARI-24.cfg). Należy teraz sprawdzić czy obiekty z danego raportu znajdują się na zdjęciach oraz czy są one poprawne. W tym celu wczytujemy odpowiednie zdjęcia. Wszystkie zdjęcia można znaleźć w folderach szkół na stronie IASC

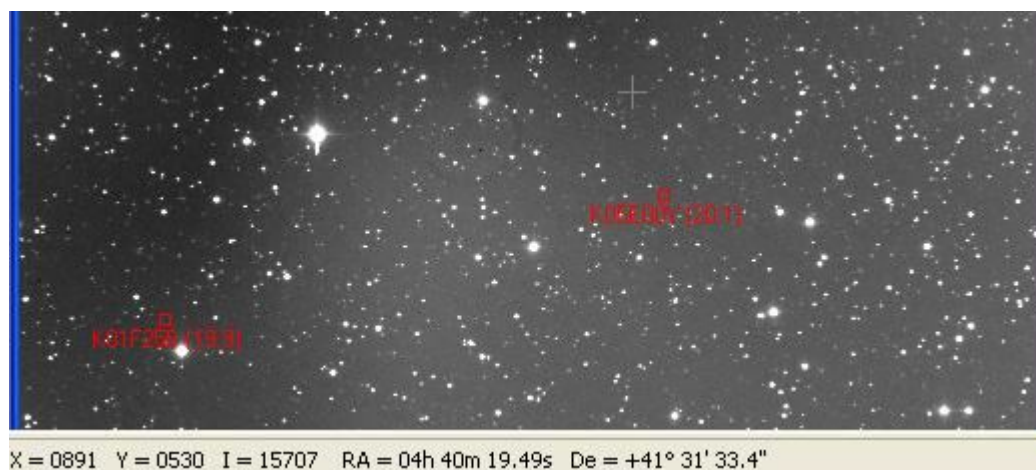
[http://iasc.hsutx.edu/index\\_files/Page593.htm](http://iasc.hsutx.edu/index_files/Page593.htm)

Jeśli brak zdjęć z folderach prawdopodobnie zostały one przeniesione do archiwum :

<http://www.remote-astronomy.com/IASC/>

Po wczytaniu zdjęć uruchamiamy najpierw opcję Know Object Overlay a następnie Blink current Images . W ten sposób zlokalizujemy na zdjęciu znane planetoidy. Nieznane obiekty zlokalizujemy dzięki ich współrzędnym zawartym w raporcie. Przy

przesuwaniu kursora po animacji na szarym pasku u dołu po lewej stronie pojawiają się współrzędne w rektascensji i deklinacji punktu w którym jest kursor :



Jeśli widoczne są tylko współrzędne w pikselach musimy przeprowadzić skan automatyczny lub redukcję zdjęć.

Każde trzy kolejne wersy w raporcie to dane jednego obiektu na trzech zdjęciach. Wybieramy zatem środkową linijkę i odczytujemy z niej współrzędne obiektu. Poniższy rysunek pokazuje co oznaczają konkretne grupy cyfr w danym wersie :

<u>CGS0014</u>	<u>C2009</u>	<u>02</u>	<u>05.13064</u>	<u>04</u>	<u>41</u>	<u>30.13</u>	<u>+41</u>	<u>18</u>	<u>49.4</u>	<u>20.8</u>	<u>V</u>	<u>H55</u>
<u>Nazwa</u> <u>obektu</u>	<u>Rok</u> <u>obserwacji</u>	<u>Mies.</u>	<u>Czas</u>	<u>Rektasc-</u> <u>-ensja</u>	<u>Dekli-</u> <u>-nacja</u>	<u>Jasn-</u> <u>-ość</u>	<u>Filtr</u> <u>obserwatorium</u>	<u>Kod</u>				

Umieszczamy kursor w punkcie wskazanym przez współrzędne z raportu i sprawdzamy co się tam znajduje. W zależności od tego co zobaczymy dokonujemy odpowiedniej adnotacji w linijce Astrometrica w raporcie końcowym (pass lub fail). Czynność tą przeprowadzamy dla każdego obiektu w danym raporcie, następnie dla każdego raportu. Po przejrzaniu wszystkich obiektów z raportu końcowego przechodzimy do następnego etapu.

### Badanie residuów w programie Find Orbit

Dokładny opis użycia programu Find Orbit jest opisany w pracy magisterskiej w rozdziale 3.1.2. Testy wykonujemy na oryginalnych, pojedynczych raportach. Najpierw wczytujemy dany raport. Następnie dla każdego obiektu widocznego w okienku wykonujemy test Vaisala. Wartości residuów widoczne w dwóch ostatnich kolumnach z wynikami dla poprawnych obiektów powinny :

- być  $< 0.2$  dla obiektów znanych o nazwach np. 2009 BD81,
- być  $< 0.4$  dla obiektów proponowanych o nazwach np. UPK007.

Po ocenie residuów obiektu notujemy czy obiekt jest poprawny (lub niepoprawny) w raporcie końcowym. W programie bardzo często występują błędy już na etapie wczytania raportu lub próby wykonania testu. Jest tak w około 90% przypadków. Wtedy uznajemy test za „niebyły” (-).

## Formularz MPCheker

Wchodzimy na stronę MPCheker'a :

<http://scully.harvard.edu/~cgi/CheckMP>

Dokładny opis użycia formularza znajduje się w rozdziale 3.1.2 pracy magisterskiej. Kopiujemy z raportu do formularza współrzędne obiektu w rektascensji i deklinacji, rok, miesiąc i czas obserwacji oraz kod obserwatorium. Zwiększamy limit jasności do 25 M.

Zawsze używamy danych ze środkowego wiersu dla danego obiektu.

Dla każdego znanego obiektu z raportu końcowego sprawdzamy :

- czy taki obiekt istnieje – zwracamy uwagę na zakreślone kolorem zielonym na zdjęciu poniżej różnice we współrzędnych – powinny być  $< 0.5$ ,
- czy jego nazwa się zgadza – zwracamy uwagę na pole zakreślone kolorem czerwonym. Nazwa może być zapisana w innej konwencji ale pewien jej człon powinien być identyczny (w tym wypadku człon FB25),
- czy obserwacje obiektu są pożądane - sprawdzamy komentarz o obiekcie zakreślony na fioletowo.

Dla obiektów – kandydatów z raportu sprawdzamy :

- czy taki obiekt istnieje. Jeśli okaże się, że jest to już znany obiekt to zmieniamy jego nazwę na tą podaną przez MPCheker i sprawdzamy komentarz.

## MPCheker/CMTChecker/NEOChecker/NEOCMTChecker

Here are the results of your search(es) in the requested field(s):

The following objects, brighter than  $V = 25.0$ , were found in the 15.0-arcminute region around R.A. = 04 42 03.04, Decl. = +41 29 26.5 (J2000.0) on 2009 02 05 13 UT:

Object designation	R.A.			Decl.			V	Offsets		Motion/hr		Orbit	Further observations? Comment (Elong/Decl/V at date 1)
	h	m	s	°	'	"		R.A.	Decl.	R.A.	Decl.		
2001 FB25	04	42	02.2	+41	29	29	19.9	0.1W	0.0N	13+	17-	4o	Desirable between 2009 June 25-July 25
2005 EY	04	40	55.8	+41	32	57	20.1	12.6W	3.5N	69-	20-	3o	NEO : Very desirable between 2009 June

Po sprawdzeniu obiektu w linijce MPCheker w raporcie końcowym umieszczamy informację o stopniu pożądania obiektu oraz o tym, czy taki obiekt istnieje.

W tym momencie raport końcowy będzie wyglądał następująco :

```

MPC Reports Final - ARI-24.cfg (02-09-09) - 1 - Notepad
File Edit Format View Help
TEL Astro-Research 0.61 m + CCD
ACK MPCReport file updated 2009.02.10 19:36:41
AC2 ari@mchsi.com
NET USNO-B1.0

Image set: 09-2005 EY-0209-24

      CGS0014 C2009 02 05.13064 04 41 30.13 +41 18 49.4      20.8 V      H55
      CGS0014 C2009 02 05.13684 04 41 29.38 +41 18 50.3      21.1 V      H55
      CGS0014 C2009 02 05.14302 04 41 28.35 +41 18 51.3      20.8 V      H55
Excel - pass,
Astrometrica - pass,
Find Orbit - test niemożliwy,
MPCheker - brak obiektu,

      K01F25B C2009 02 05.13064 04 42 02.55 +41 29 30.1      19.5 V      H55
      K01F25B C2009 02 05.13684 04 42 03.04 +41 29 26.5      20.2 V      H55
      K01F25B C2009 02 05.14302 04 42 03.21 +41 29 24.4      19.8 V      H55
Excel - fail,
Astrometrica - pass,
Find Orbit - test niemożliwy,
MPCheker - obiekt istnieje - very desirable,

----- end -----

COD H55
OBS R. Holmes
MEA M. Berggren, J. Hart, W. McAllister (IAS)
TEL Astro-Research 0.61 m + CCD
ACK MPCReport file updated 2009.02.09 10:52:06
AC2 ari@mchsi.com
NET USNO-B1.0

Image Set: 03-2008 WN2-0209-24

```

### Podsumowanie testów

Mając pod każdym obiektem przekrojowy widok wyników wszystkich czterech testów łatwiej jest ocenić, co z danym obiektem należy zrobić. Ze względu na małą ilość możliwych do wykonania testów, wyników z programu Find Orbit w ogóle nie bierzemy pod uwagę. Decydujący i najważniejszy jest wygląd obiektu w programie Astrometrica. Jeśli na zdjęciu obiekt jest poprawny to mimo nie zaliczenia pozostałych testów pozostawiamy go w raporcie. Jeśli natomiast obiektu nie ma na zdjęciach to w raporcie również nie może się znaleźć. Test w Excelu nie jest wiążący ze względu na swoją zbytnią restrykcyjność. Należy jednak szczególnie zastanowić się nim usuniemy obiekt, który ma w Excelu status pass. Również jeśli obiekt w MPCheker ma status pożądanego warto dobrze przyrzeć się zdjęciom nim usuniemy go z raportu.

W kilku przypadkach pod obiektem należy umieścić komentarz w nawiasie :

- jeśli obiekt nie przechodzi Excela ale jest poprawny na zdjęciach i zostawiamy go w raporcie dopisujemy komentarz - (fail in excel, but clearly visible),
- jeśli dodatkowo obserwacja obiektu jest pożądana w MPCheker dopisujemy komentarz - (fail in excel, but clearly visible and desirable in MPChecker).

Uzasadniamy w ten sposób pozostawienie w raporcie obiektów, które nie przechodzą Excela. Obiekty, które przechodzą Excela nie wymagają żadnych komentarzy. Ostatecznie raport będzie miał postać :

```

MPC Reports Final - ARI-24.cfg (02-09-09) - 1 - Notepad
File Edit Format View Help
COD H55
OBS R. Holmes
MEA B. Nowicki, M. Gadzinski, K. Przybyszewski, K. Urbanski - CGS(Sierpc, Poland)
TEL Astro-Research 0.61 m + CCD
ACK MPCReport file updated 2009.02.10 19:36:41
AC2 ari@mchsi.com
NET USNO-B1.0

Image set: 09-2005 EY-0209-24

      CGS0014  C2009 02 05.13064 04 41 30.13 +41 18 49.4          20.8 V      H55
      CGS0014  C2009 02 05.13684 04 41 29.38 +41 18 50.3          21.1 V      H55
      CGS0014  C2009 02 05.14302 04 41 28.35 +41 18 51.3          20.8 V      H55

      K01F25B  C2009 02 05.13064 04 42 02.55 +41 29 30.1          19.5 V      H55
      K01F25B  C2009 02 05.13684 04 42 03.04 +41 29 26.5          20.2 V      H55
      K01F25B  C2009 02 05.14302 04 42 03.21 +41 29 24.4          19.8 V      H55
(fail in excel, but clearly visible and very desirable in MPChcecker)

----- end -----

COD H55
OBS R. Holmes
MEA M. Berggren, J. Hart, W. McAllister (IAS)
TEL Astro-Research 0.61 m + CCD
ACK MPCReport file updated 2009.02.09 10:52:06
AC2 ari@mchsi.com
NET USNO-B1.0

Image Set: 03-2008 WN2-0209-24

No moving objects detected.

----- end -----

```

Jeśli jakiś raport nie posiada prawidłowych obiektów to w miejsce usuniętych danych wpisujemy wyrażenie No moving objects detected pozostawiając nagłówek i liniijkę końcową bez zmian. Tak jest w przypadku drugiego raportu na zdjęciu powyżej.

Jeśli nie możemy odnaleźć zdjęć do weryfikacji pod obiektem umieszczamy komentarz:  
(we have no access to images during verification)

Po zweryfikowaniu wszystkich obiektów odsyłamy raport końcowy na adres Patricka Millera. Mail powinien mieć tytuł taki jak nazwa raportu końcowego (MPC Reports Final - 24.cfg (02-09-09) - 1.txt). Jeśli podczas weryfikacji spotkamy się z jakimś innym problemem możliwe jest tworzenie własnych zwięzłych komentarzy w języku angielskim. Umieszczamy je w nawiasach pod obiektem, którego dotyczą.

## Załącznik 3.

### Instrukcja dla studentów do ćwiczenia ”Wyznaczanie odległości do asteroidy 1992JB metodą paralaksy” (CLEA - Astrometry of asteroids)

#### POTRZEBNE POJĘCIA TEORETYCZNE:

Planetoida (asteroida), współrzędne – rektascensja i deklinacja, paralaksa, prędkość tangencjalna, prędkość kąтова.

#### NIEZBĘDNE POMOCE:

Komputer, program CLEA *Astrometry of Asteroids* z przykładowymi zdjęciami lub *Astrometry Tolkit*, kalkulator lub arkusz kalkulacyjny.

#### PRZEBIEG ĆWICZENIA:

Uruchom program *Astrometry of Asteroids*. Wybierz polecenie **File** a następnie **Login** i wpisz nazwiska kolegów z grupy i swoje w okienku logowania (Student#1, Student#2 ...). Możesz również podać numer komputera przy którym pracujesz.

#### **1. Wczytywanie zdjęć :**

Wybierz polecenie **File** a potem **Load Image Files**. W tym miejscu masz do wyboru wczytanie kilku zdjęć naraz (maksymalnie 4) za pomocą polecenia **Multiple Load** lub wczytywanie zdjęć pojedynczo używając kolejno poleceń **Image 1**, **Image 2 ...**

**Uwaga:** W folderze z zdjęciami znajduje się po kilka zdjęć różnych obszarów nieba wykonanych w odstępie pewnego czasu. Wczytaj więc zdjęcia jednego obszaru wskazanego przez prowadzącego, których nazwy zaczynają się tak samo i różnią końcowymi cyframi. Asteroidy 1992JB dotyczą zdjęcia o nazwach 92JB.... Wczytaj zdjęcia w kolejności ich wykonania o której informują cyfry na końcu nazwy.

#### **2. Poszukiwanie planetoidy :**

Używamy metody nazywanej popularnie „blinkowaniem”. Polega ona na nałożeniu na siebie zdjęć tego samego obszaru i wyświetlaniu ich na przemian w krótkich odstępach czasu. Obiekty, które zmieniły swoje położenie na niebie będą w charakterystyczny sposób „skakać” na widocznym dynamicznym zdjęciu.

Wybierz z menu **Images** pozycję **Blink**. Zaznacz na zdjęciu nr 1 dwie charakterystyczne gwiazdy (zaznaczasz i naciskasz **Continue**). W ten sam sposób zaznacz na następnych zdjęciach te same gwiazdy. Następnie naciśnij **Blink**. Czy widzisz na zdjęciu poruszające się obiekty ?

**Uwaga:** Nie wybieraj gwiazd w okolicy środka zdjęcia gdyż tam najprawdopodobniej znajduje się planetoida. Małe i jasne kwadraciki nie są planetoidami tylko wypalonymi pikslami kamery CCD.

Jeśli odkryłeś planetoidę naciśnij **Stop** i użyj polecenia **Identify Target**. Zaznacz planetoidę po kolei na wszystkich zdjęciach (zaznaczasz i naciskasz **Continue**).

**Uwaga:** W razie problemów i potrzeby wczytania zdjęć od nowa z menu **FILE** wybierz **Clear Images/Ref. Fields** a następnie **Images and reference fields**. Możesz również zmieniać odstępy czasu w jakich wyświetlane są zdjęcia podczas „blinkowania” wybierając **Adjust** i **Blink rate**.

### **3. Wyznaczanie współrzędnych planetoidy:**

Użyj polecenia **Images** następnie **Measure** i wybierz zdjęcie **Image 1**. W okienku znajdują się podstawowe parametry tego zdjęcia – data, godzina wykonania. Przejdź dalej naciskając **ok**. W następnym okienku podane są współrzędne i parametry mapy nieba, która będzie użyta do obróbki zdjęć. Możesz zaznaczyć opcję **Use On-line Catalog** aby pobrać z serwera dokładniejszą mapę. Przejdź dalej naciskając **ok**.

Pojawia się zdjęcie w okienku po prawej i mapa nieba w okienku po lewej. Rozpoznaj na mapie nieba trzy (lub więcej) gwiazd, które widzisz w takim samym układzie na zdjęciu obok. Zaznacz po kolei rozpoznane gwiazdy na mapie nieba za każdym razem potwierdzając **ok**. Jeśli nie chcesz zaznaczać więcej gwiazd kliknij **no** (warto się wysilić gdyż zaznaczenie 6 lub więcej gwiazd pozwoli programowi na wyznaczenie niepewności). Następnie zaznacz te same gwiazdy na zdjęciu obok w tej samej kolejności i w ten sam sposób.

**Uwaga:** Zdjęcie i mapa często nie są w tej samej skali. Jeśli nie możesz znaleźć na zdjęciu powtarzającego się na mapie układu gwiazd być może zdjęcie jest odbite symetrycznie względem mapy. Problemy te możesz rozwiązać naciskając prawym przyciskiem myszy na zdjęciu. Wybierając **Resize image** dopasujesz skalę zdjęcia. Wybierając **Adjust Image** za pomocą czerwonych strzałek w nowym okienku możesz dowolnie obracać zdjęcie w pionie i w poziomie tak aby dopasować je do mapy.

Następnie program zapyta czy w sąsiedztwie planetoidy w zaznaczonym kwadracie znajdują się jakieś jasne obiekty, które mogą wprowadzić błąd w pomiarze jasności tła. Jeśli tak jest to należy zaznaczyć pobliski fragment nieba na którym nie ma żadnych jasnych obiektów.

### **4. Zapisywanie raportu:**

Na ekranie pojawia się raport z wynikami pomiarów zdjęcia nr1 – współrzędnymi planetoidy, jasnością obserwowaną, niepewnościami tych parametrów, skalą zdjęcia, rozmiarami .... Należy go zapisać za pomocą **List** następnie **Save Text** i **As Displayed** w wybranym miejscu. Następnie naciśnij **ok** i na pytanie **Record measurement on report list now?** odpowiedz **Tak**.

**Uwaga:** Punkty 3 i 4 należy teraz powtórzyć dla wszystkich wczytanych zdjęć za każdym razem zapisując raport. Istnieje możliwość usunięcia tylko map za pomocą **Clear Images/Ref. Fields** i **References fields only**. Jeśli zdjęć jest więcej niż 4 to wczytane zdjęcia można usunąć używając **Clear Images/Ref. Fields** a następnie **Images and reference fields**. Potem wczytujemy resztę zdjęć.

### **5. Wyznaczanie drogi i prędkości kątowej planetoidy :**

Wykorzystujemy teraz zapisane raporty i kartkę z kalkulatorem bądź arkusz kalkulacyjny. Wybieramy dwa raporty. Jeden sporządzony na podstawie zdjęcia pierwszego a drugi na podstawie zdjęcia ostatniego po to aby uzyskać jak największą

dokładność obliczeń. Odczytujemy z raportów daty i godziny wykonania zdjęć, deklinację oraz rektascensję planetoidy i zapisujemy je. Następnie obliczamy różnicę w deklinacji oraz w rektascensji. Obliczamy drogę kątową  $\Delta\Theta$  ['] planetoidy korzystając ze wzoru:

$$\Delta\Theta = \sqrt{(\Delta RA)^2 + (\Delta DEC)^2}$$

Prędkość kątową  $\mu$  ["/sekundę] planetoidy wyznaczymy dzieląc drogę kątową  $\Delta\Theta$  ['] przez odstęp czasu  $\Delta t$  [sekundy] pomiędzy datami wykonania zdjęć wg wzoru

$$\mu = \frac{\Delta\Theta}{\Delta t}$$

**Uwaga:** Aby wykonać następne punkty (wyznaczanie paralaksy i odległości do planetoidy oraz jej prędkości tangencjalnej) potrzebne są dwa zdjęcia tego samego fragmentu nieba wykonane w tym samym momencie z dwóch różnych obserwatoriów na Ziemi. W folderze z zdjęciami takie zdjęcia to **Astwest** i **Asteast**.

#### 6. Wyznaczanie paralaksy:

Wczytujemy zdjęcia **Astwest** i **Asteast**. Za pomocą znanych już procedur z punktów 2, 3 i 4 wyznaczamy położenie planetoidy i zapisujemy raporty z jej współrzędnymi z obu zdjęć. Następnie obliczamy zmianę rektascensji i deklinacji planetoidy wynikającą w tym wypadku nie z upływu czasu (zdjęcia zrobione w tym samym momencie) ale ze zmiany miejsca obserwacji (planetoida przesuwa się w ten sposób na tle dalekich gwiazd). Następnie obliczymy paralaksę  $P$  ['] ze wzoru

$$P = \sqrt{(\Delta RA)^2 + (\Delta DEC)^2}$$

#### 7. Wyznaczanie odległości pomiędzy obserwatoriami:

Wybieramy **Report** a następnie **Compute Baseline**. W oknie, które się otworzy naciskamy **Site 1** następnie **File** a potem **Find Site** i wybieramy nazwę pierwszego obserwatorium wyszukując je z listy. Następnie czynności te powtarzamy wybierając drugie obserwatorium za pomocą **Site 2**.

**Uwaga:** W jakim obserwatorium wykonano zdjęcie możemy dowiedzieć się otwierając plik zdjęcia znajdujący się w folderze *C:/Program Files/CLEA/AstrmLab* za pomocą dowolnego programu astronomicznego (np. Ds9). Otwieramy wtedy nagłówek zdjęcia (*header*) i odczytujemy nazwę obserwatorium. W przypadku zdjęcia **Asteast** jest to obserwatorium **Colgate** a w przypadku zdjęcia **Astwest** jest to obserwatorium **NURO**.

Otrzymany wynik zapisujemy za pomocą **List** następnie **Save Text** i **As Displayed**.

W pliku tekstowym pod zmienną o nazwie **Maximum Baseline** zapisana jest odległość **B** między obserwatoriami.

#### 8. Wyznaczanie odległości do planetoidy:

Znając odległość pomiędzy obserwatoriami **B** [km] oraz paralaksę  $P$  ['] możemy obliczyć szukaną odległość  $D$  [km] planetoidy od Ziemi wg wzoru:

$$D = 206,265 \left( \frac{B}{P} \right)$$

- a.) zamieniamy otrzymany wynik z kilometrów na jednostki astronomiczne AU  
 b.) porównujemy również otrzymaną odległość z odległością Ziemia - Księżyc

### 9. Obliczanie prędkości tangencjalnej planetoidy:

Korzystając z obliczonej wcześniej prędkości kątowej  $\mu$  ["/sekundę] i odległości  $D$ [km] asteroidy od Ziemi odliczamy prędkość tangencjalną  $V_t$  wg wzoru:

$$V_t = \frac{\mu D}{206,265} \left[ \frac{km}{s} \right]$$

SPRAWOZDANIE Z ĆWICZENIA powinno zawierać :

- krótkie i zwięzłe opracowanie pojęć teoretycznych,
- raporty z pomiarami zapisywane podczas ćwiczenia,
- przeprowadzone na ich podstawie obliczenia wg wzorów zawartych w instrukcji,
- wnioski zawierające ocenę otrzymanych wyników oraz skuteczności zastosowanej metody, uwagi i spostrzeżenia.

**Uwaga:** Jeśli nie zdążysz zrobić wszystkiego na zajęciach dokończ pracę w domu - pobierz program *Astrometry of asteroids* za darmo ze strony CLEA :

<http://public.gettysburg.edu/~marschal/clea/CLEAhome.html>

DODATEK – przeliczanie zmiany rektascensji i deklinacji :

Deklinację zapisujemy w formacie **stopień – minuta łuku – sekunda łuku** czyli np.

$$74^\circ 12' 34.7''$$

Przy odejmowaniu od siebie dwóch deklinacji musimy pamiętać że

$$\begin{array}{l} ^\circ \in (0; \pm 90) \quad ' \in (0; 60) \quad '' \in (0; 60) \quad \text{oraz że} \\ \mathbf{1^\circ = 60'} \quad \mathbf{1' = 60''} \quad \text{a stąd} \quad \mathbf{1^\circ = 3600''} \end{array}$$

Rektascensję zapisujemy w formacie **godzina – minuta – sekunda** czyli np.

$$16 \text{ h } 34 \text{ m } 32.1 \text{ s}$$

Przy odejmowaniu od siebie dwóch rektascensji musimy pamiętać że

$$\begin{array}{l} \mathbf{h} \in (0; 23), \quad \mathbf{m} \in (0; 60), \quad \mathbf{s} \in (0; 60) \quad \text{oraz że} \\ \mathbf{1 \text{ h} = 60 \text{ m}} \quad \mathbf{1 \text{ m} = 60 \text{ s}} \quad \text{a stąd} \quad \mathbf{1 \text{ h} = 3600 \text{ s}} \end{array}$$

Ponieważ pełen okrąg składa się z  $360^\circ$  (w skali deklinacji) lub z  $24 \text{ h}$  (w skali rektascensji) to widzimy, że  $1 \text{ h} \neq 1^\circ$  a co za tym idzie  $1 \text{ m} \neq 1'$  oraz  $1 \text{ s} \neq 1''$ . Skale

deklinacji i rektascensji są więc różne. Dlatego podczas obliczania sumy zmian rektascensji i deklinacji przeliczamy zmianę rektascensji na jednostki deklinacji ( $h \Rightarrow ^\circ$ ,  $m \Rightarrow '$ ,  $s \Rightarrow ''$ ) korzystając z relacji  $360^\circ = 24 h$  a stąd

$$1 h = 15^\circ$$

$$1 m = 15'$$

$$1 s = 15''$$

Obliczenia przeprowadzamy w ten sposób aby kąty otrzymać wyrażone w  $''$  łuku czyli w skali deklinacji, czasy w sekundach s, odległości w km.

COPYRIGHT BY:

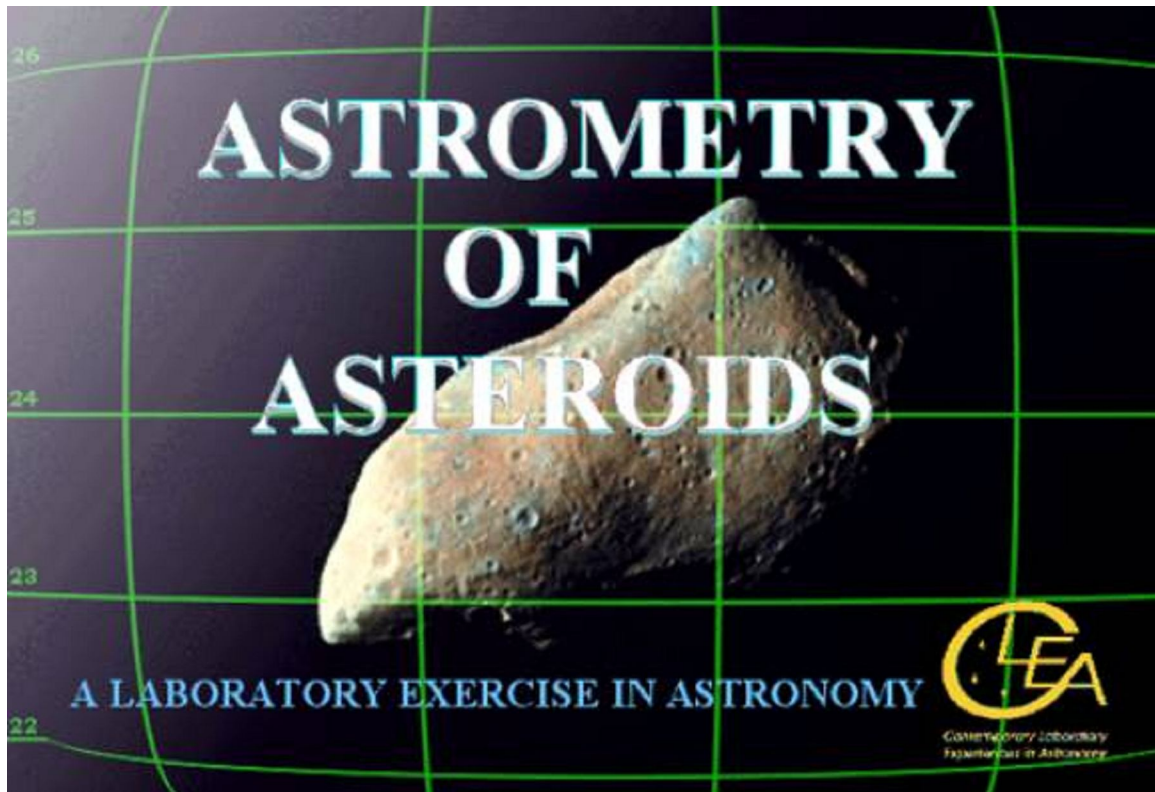
Studenci IV roku fizyki z astronomią i informatyką w roku 2007/08.

red. Wojciech Kułynycz

**Załącznik 4.**

# **Astrometria asteroid**

## **- podręcznik studenta**



**Tłumaczenie i opracowanie:**  
**Stanisław B. A. Stawowy**  
**Wojciech Kułynycz**

**Instytut Fizyki**  
**Akademia Pedagogiczna im. KEN**  
**Kraków, 2008**

**Oryginał :**



# Spis treści

Cele .....	3
Wprowadzenie .....	5
Część I. Poszukiwanie asteroidy .....	14
Część II .Wyznaczanie współrzędnych asteroidy .....	17
Część III. Obliczanie prędkości kątowej .....	22
Część IV. Pomiar odległości metodą paralaksy .....	26
Część V. Prędkość tangencjalna Asteroidy 1992 JB .....	31
Pytania dodatkowe.....	32
Zakończenie.....	34

## **Cele**

### **Ogólne**

- Powinieneś rozumieć w jaki sposób można na zdjęciach nieba odkryć poruszające się obiekty.
- Powinieneś znać zasady posługiwania się równikowym równonocnym układem współrzędnych astronomicznych w celu wyznaczania położenia obiektów na niebie.
- Powinieneś rozumieć, jak wykorzystać znane położenia gwiazd do wyznaczania położenia nieznanymi obiektów.
- Powinieneś zdawać sobie sprawę ze sposobu w jaki astronomowie mierzą paralaksę i umieć zastosować go do określenia odległości do obiektów w Układzie Słonecznym i poza nim .

### **Szczegółowe**

#### **Jeśli nauczylesz się :**

- Wyświetlać obrazy nieba z kamery CCD używając odpowiedniego do tego programu astronomicznego.
- Nakładać pary obrazów na siebie tak aby były na przemian wyświetlane i rozpoznawać obiekty, które poruszyły się na jednym obrazie względem drugiego.
- Rozpoznawać gwiazdy stałe na podstawie Gwiazdnego Katalogu Hubble'a (GSC).
- Rozpoznawać i porównywać przykładowe gwiazdy na wykresach w Katalogu Gwiazd z gwiazdami na zdjęciu.
- Mierzyć współrzędne nieznanymi obiektów na zdjęciu używając współrzędnych gwiazd stałych z katalogu .

#### **To powinieneś umieć :**

- Znaleźć asteroidy na zdjęciach z kamer CCD .
- Wyznaczać prędkość kątową asteroidy w sekundach łuku na sekundę.
- Wyznaczać heliocentryczną paralaksę asteroidy.

- Używać paralaksy aby określić odległość do asteroidy postępując w ten sam sposób w jaki astronomowie mierzą odległość do gwiazd .
- Obliczać prędkość tangencjalną asteroidy na podstawie jej prędkości kątowej oraz jej odległości od Ziemi .

**Pożyteczne terminy :**

Prędkość kątowa	Jednostka astronomiczna (AU)	Stopnie	Godziny
Prędkość tangencjalna	Czas uniwersalny (UT)	Planetoida	Sekundy łuku
Mruganie obrazów	Ruchy własne	Jasność	Asteroida
Współrzędne	Rektascensja	Deklinacja	Paralaksa

**Do wykonania ćwiczenia będą Ci potrzebne :**

- komputer
- program *Astrometry of Asteroids* stworzony przez CLEA
- długopis i kalkulator

## **Wprowadzenie**

### **Astrometria – wyznaczanie położenia gwiazd**

To ćwiczenie nauczy Cię posługiwania się jednym z podstawowych narzędzi astronomii, służącym do pomiaru dokładnego położenia ciał niebieskich, zwanym astrometrią. Dzięki znajomości dokładnych położenia obiektów niebieskich możemy tworzyć mapy i atlasy nieba. Możemy także badać przemieszczanie się obiektów na niebie. Tego typu zmiany położenia obiektów są źródłem wielu informacji o nich. Na przykład paralaksa – cykliczna zmiana położenia bliskiej gwiazdy względem dalekich gwiazd w okresie roku – jest spowodowana obiegiem Ziemi wokół Słońca. Zmiana położenia gwiazdy na niebie względem innych gwiazd może być również wynikiem rzeczywistego ruchu gwiazdy w przestrzeni nazywanego ruchem własnym.

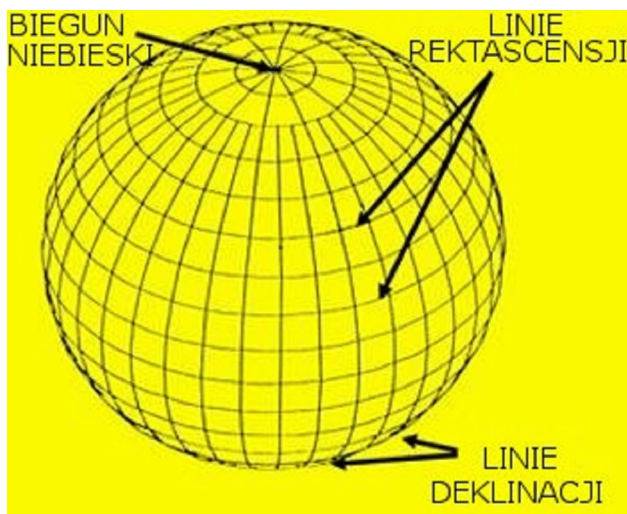
Dzięki użyciu komputerów do pomiaru pozycji obiektów na cyfrowych zdjęciach nieba, astronomowie mogą bardzo dokładnie określić ich współrzędne. Nawet przy pomocy tak prostego programu, jak ten, z którego będziesz korzystał podczas tego ćwiczenia, będziesz mógł wyznaczyć współrzędne z dokładnością większą niż 0.1 sekundy kątowej, co odpowiada średnicy monety dziesięciogroszowej widzianej z odległości 32 kilometrów. Taka dokładność nie wystarczy do zmierzenia paralaks większości gwiazd, ponieważ znajdują się one (z wyjątkiem Słońca) za daleko i mają w związku z tym bardzo małe paralaksy. Dlatego przedmiotem naszych badań podczas tych ćwiczeń będą asteroidy. Są to niewielkie skaliste ciała, których orbity najczęściej znajdują się w obrębie pasa asteroid pomiędzy Marsem a Jowiszem. Ze względu na znacznie mniejszą odległość od Ziemi, będziesz mógł łatwo zmierzyć zarówno ich paralaksę, jak i ruch własny, a metody, których się nauczysz podczas tych ćwiczeń będą mogły równie dobrze posłużyć badaniu ruchu własnego i paralaks gwiazd.

### **Układy współrzędnych. Astronomiczny równikowy układ współrzędnych : deklinacja i rektascensja**

W jaki sposób można opisać położenie obiektu na niebie? Opisując położenie obiektu na Ziemi, podajemy jego współrzędne: długość i szerokość geograficzną. Długość geograficzna jest mierzona od południka, przechodzącego przez Greenwich, a szerokość geograficzna od równika. Obydwie

wielkości wyrażone są w stopniach ( °), minutach ( ') i sekundach ( ") kątowych. Na przykład Kraków ma 20 stopni długości geograficznej wschodniej i 50 stopni szerokości geograficznej północnej.

Astronomowie używają podobnego systemu, zwanego współrzędnymi równikowymi, do określania położenia obiektów na niebie. Niebo ma dla nas postać wielkiej sfery pokrytej gwiazdami, którą oglądamy znajdując się w jej środku. Pozycja gwiazdy na niebie jest określana poprzez dwie współrzędne: rektascensję i deklinację. Deklinację oznaczamy grecką literą  $\delta$  a rektascensję literą  $\alpha$ . Współrzędne te określają położenie gwiazdy względem równika niebieskiego – wyimaginowanego okręgu na sferze niebieskiej, którego płaszczyzna jest prostopadła do osi obrotu Ziemi. Oś obrotu Ziemi wyznacza dwa bieguny niebieskie – północny i południowy. Linie deklinacji można porównać do południków ziemskich. Linie rektascensji można porównać do ziemskich równoleżników.



*Rys1. Współrzędne astronomiczne*

Deklinacja jest odpowiednikiem szerokości geograficznej na Ziemi. Deklinację określamy jako odległość kątową od równika niebieskiego w kierunku północnego bądź południowego bieguna niebieskiego. Mierzona jest w stopniach ( °) oraz minutach ( ') i sekundach łuku ( "). Wartości deklinacji zawierają się w przedziale (+90° 0' 0"; -90° 0' 0"), 1° = 60' a 1' = 60". Gwiazda o deklinacji +45° 30' leży na 45 stopniu i 30 minucie na północ od równika niebieskiego; wartości ujemne deklinacji określają obiekty na południe do równika niebieskiego. Dla obiektu położonego na równiku niebieskim deklinacja jest równa 0°. Dla obiektu położonego na biegunie niebieskim deklinacja jest równa  $\pm 90^\circ$ .

Rektascensja jest odpowiednikiem długości geograficznej na Ziemi. Mierzona jest wzdłuż linii równika niebieskiego na sferze niebieskiej od punktu Barana (punktu równonocy wiosennej) w

kierunku wschodnim. Jej linie przebiegają prostopadle do linii deklinacji. Rektascensja mierzona jest w godzinach (h), minutach (m) i sekundach (s). Wartości rektascensji zawierają się w przedziale (0h 0m 0s; 23h 59m 59s),  $1\text{ h} = 60\text{ m}$ , a  $1\text{ m} = 60\text{ s}$ . Gwiazda o rektascensji 5 h znajduje się 5 godzin na wschód od punktu Barana (0h 0m 0s).

Godzina w rektascensji jest zdefiniowana jako  $1/24$  kąta pełnego, który jest równy  $360^\circ$ , czyli 1h w rektascensji odpowiada  $15^\circ$  w deklinacji. Ponieważ podział głównych jednostek rektascensji i deklinacji jest taki sam (system sześćdziesiąty) to relacje między minutami i sekundami w rektascensji a minutami i sekundami łuku w deklinacji mają postać  $1\text{ m} = 15'$  i  $1\text{ s} = 15''$ .

### **Katalogi gwiazd**

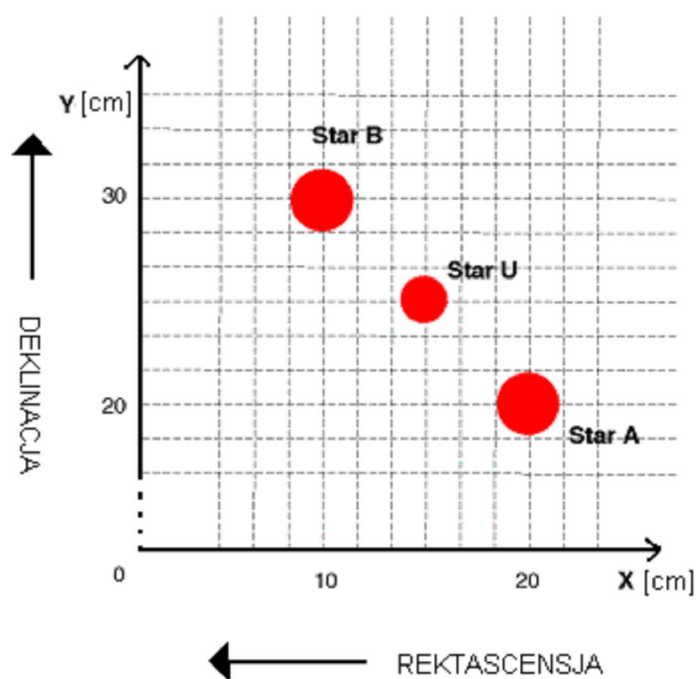
Istnieje wiele katalogów, zawierających wyznaczone rektascensje i deklinacje gwiazd. Niemożliwe jest oczywiście stworzenie katalogu, który zawierałby dane wszystkich spośród nich. Dlatego istniejące katalogi zawierają, w zależności od przeznaczenia, wybrane w określony sposób obiekty. Istnieje np. spis gwiazd o szczególnie dużych ruchach własnych; istnieje również katalog zawierający wyłącznie gwiazdy z gromady otwartej Plejad. Jeden z najważniejszych katalogów nosi nazwę *Katalogu FK5*. Jest on jednym z podstawowych katalogów gwiazd używanych jako odnośniki do pomiaru pozycji innych gwiazd na niebie. Katalog *FK5* zawiera tylko 3522 gwiazdy w większości o dużej jasności. Rektascensja i deklinacja gwiazd z katalogu *FK5* zostały zmierzone bardzo dokładnie i co około 5 lat są mierzone ponownie aby stanowić niezawodny zespół gwiazd odniesienia na niebie. Katalog *FK5* ma jednak pewną istotną wadę. Zawiera niewiele gwiazd i często się zdarza, że na niewielkim obszarze który nas interesuje, nie ma żadnej gwiazdy z tego katalogu.

Kolejnym przydatnym katalogiem, który wykorzystamy w ćwiczeniu, jest Katalog Gwiazd Kosmicznego Teleskopu Hubble'a. Znany jest pod angielską nazwą *Hubble Space Telescope Guide Star Catalog* i oznaczany skrótem *GSC*. Katalog *GSC* zawiera prawie wszystkie gwiazdy, które mają jasność obserwowaną większą niż 16 Mag (magnitudo). Jasność taka jest około 10 000 razy mniejsza niż jasność najśłabszej gwiazdy widocznej na niebie gołym okiem. W katalogu *GSC* znajdują się współrzędne ponad 20 milionów gwiazd. Cały katalog to około 1,4 GB danych (2 płyty CD). Ostatnimi laty katalog *GSC* stał się najbardziej użytecznym katalogiem dla astronomów.

### Wyznaczanie współrzędnych nieznanego obiektu

Często zdarza się, że współrzędne obiektu nie są znane ponieważ został niedawno odkryty i nie ma go jeszcze w katalogu bądź obiekt wciąż zmienia swoje położenie w czasie doby, jak planeta czy asteroida. Jak wyznaczyć współrzędne takiego obiektu? W jaki sposób można wyznaczyć położenie obiektu na niebie? Jedną z metod jest zrobienie fotografii fragmentu nieba, zawierającego nieznaną gwiazdę U. Jeżeli na zdjęciu znajdują się dwie gwiazdy A i B to będziemy mogli wyznaczyć położenie obiektu U względem tych gwiazd. Jeżeli zaś będziemy znali, korzystając na przykład z jakiegoś katalogu, współrzędne tych gwiazd to będziemy mogli wyznaczyć również współrzędne nieznanego obiektu U. Jeśli znamy współrzędne większej liczby gwiazd ze zdjęcia, to wyznaczymy położenie obiektu U na niebie z większą dokładnością. Gwiazdy o znanej pozycji nazywane są gwiazdami odniesienia lub gwiazdami wzorcowymi.

Przypuśćmy, że nieznaną gwiazdę U leży dokładnie w połowie drogi między gwiazdą A i gwiazdą B. Sytuację przedstawia Rys.2. Katalogowe współrzędne gwiazdy A :  $\alpha_A = 5^h 0^m 0^s$ ;  $\delta_A = 10^\circ 0' 0''$ . Katalogowe współrzędne gwiazdy B :  $\alpha_B = 6^h 0^m 0^s$ ;  $\delta_B = 25^\circ 0' 0''$ . Współrzędne nieznanego obiektu U wyznaczymy na podstawie współrzędnych gwiazd A i B. Rektascensję mierzymy na zdjęciu w kierunku X, deklinację w kierunku Y. Współrzędne osi X i Y wyrażone są w centymetrach.



Rys2. Wyznaczanie współrzędnych

Schemat wyznaczania deklinacji i rektascensji obiektu U na podstawie zdjęcia i znanych współrzędnych gwiazd A i B :

- odczytujemy współrzędną  $X_B$  gwiazdy B w cm łącząc jej środek pionową linią z osią x,

$$X_B = 10 \text{ cm}$$

- odczytujemy współrzędną  $Y_B$  gwiazdy B w cm łącząc jej środek poziomą linią z osią y,

$$Y_B = 30 \text{ cm}$$

- w analogiczny sposób odczytujemy współrzędne  $X_A$  i  $Y_A$  gwiazdy A w cm,

$$X_A = 20 \text{ cm}, Y_A = 20 \text{ cm}$$

- obliczamy różnicę współrzędnych  $X_A - X_B$  gwiazd A i B w cm czyli zmianę  $\Delta X$

$$\Delta X = 20 \text{ cm} - 10 \text{ cm} = 10 \text{ cm}$$

- podobnie obliczamy różnicę współrzędnych  $Y_A - Y_B$  gwiazd A i B w cm czyli zmianę  $\Delta Y$ .

Ponieważ wszystkie obliczane różnice są odległościami to zaniebujemy znaki „minus”

$$\Delta Y = 20 \text{ cm} - 30 \text{ cm} = 10 \text{ cm}$$

- obliczamy różnicę rektascensji  $\alpha_A - \alpha_B$  gwiazd A i B w h czyli zmianę  $\Delta \alpha$

$$\Delta \alpha = 5 \text{ h } 0 \text{ m } 0 \text{ s} - 6 \text{ h } 0 \text{ m } 0 \text{ s} = 1 \text{ h } 0 \text{ m } 0 \text{ s} = 1 \text{ h}$$

- obliczamy różnicę deklinacji  $\delta_A - \delta_B$  gwiazd A i B w  $^\circ$  czyli zmianę  $\Delta \delta$

$$\Delta \delta = 10^\circ 0' 0'' - 25^\circ 0' 0'' = 15^\circ 0' 0'' = 15^\circ$$

Każde zdjęcie jest odwzorowaniem rzeczywistego obrazu. Odwzorowania tego dokonano umieszczając obraz np. samochodu w dużym pomniejszeniu na kawałku papieru. Istnieje więc pewna skala określająca ile razy obraz samochodu na zdjęciu jest pomniejszony względem obrazu rzeczywistego. Wiemy, że zmianę rektascensji  $\Delta \alpha$  mierzymy w ( h) wzdłuż osi x i odpowiada jej zmiana współrzędnych  $\Delta X$  w cm. Podobnie zmianę deklinacji  $\Delta \delta$  mierzymy w ( $^\circ$ ) wzdłuż osi y i odpowiada jej zmiana współrzędnych  $\Delta Y$  w cm. Wyznamy więc skale zdjęcia, to znaczy obliczymy ile ( h) rektascensji przypada na jeden centymetr na zdjęciu oraz ile ( $^\circ$ ) deklinacji przypada na jeden centymetr na zdjęciu. Skala będzie równa stosunkom zmian rektascensji i deklinacji do zmian położenia  $\Delta X$  i  $\Delta Y$

$$\text{skala } \alpha = \Delta \alpha / \Delta X = 1 \text{ h} / 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ h/cm}$$

$$\text{skala } \delta = \Delta \delta / \Delta Y = 15^\circ / 10 \text{ cm} = 1.5^\circ / \text{cm}$$

Znając skale zdjęcia wyznaczenie rektascensji i deklinacji obiektu U będzie proste.

Odczytujemy współrzędne obiektu U

$$X_U = 15 \text{ cm}, Y_U = 25 \text{ cm}$$

Wybieramy gwiazdę odniesienia np. gwiazdę B. Obliczamy różnice położenia  $\Delta X$  i  $\Delta Y$  gwiazdy B i obiektu U

$$\Delta X = X_U - X_B = 5 \text{ cm}$$

$$\Delta Y = Y_U - Y_B = 5 \text{ cm}$$

Przeliczamy  $\Delta X$  z cm na (h) mnożąc przez skalę  $\alpha$  - otrzymujemy  $\Delta \alpha$

$$\Delta \alpha = \Delta X * \text{skala } \alpha = 5 \text{ cm} * 0.1 \text{ h/cm} = 0.5 \text{ h} = 30 \text{ m}$$

Przeliczamy  $\Delta Y$  z cm na (°) mnożąc przez skalę  $\delta$  - otrzymujemy  $\Delta \delta$

$$\Delta \delta = \Delta Y * \text{skala } \delta = 5 \text{ cm} * 1.5^\circ/\text{cm} = 7.5^\circ$$

W ten sposób znaleźliśmy różnice rektascensji i deklinacji obiektu U i gwiazdy B. Aby otrzymać deklinację i rektascensję obiektu U należy odjąć różnicę rektascensji do rektascensji gwiazdy B a różnicę deklinacji obiektu U odjąć od deklinacji gwiazdy B. Jeśli obiekt U jest na rysunku niżej na skali rektascensji lub deklinacji niż gwiazda B to różnicę rektascensji lub deklinacji odejmujemy. Jeśli obiekt U jest na rysunku wyżej na skali rektascensji lub deklinacji niż gwiazda B to różnicę rektascensji czy deklinacji dodajemy. Otrzymujemy

$$\alpha_U = \alpha_B - \Delta \alpha = 6^{\text{h}} 0^{\text{m}} 0^{\text{s}} - 30 \text{ m} = 5^{\text{h}} 30^{\text{m}} 0^{\text{s}}$$

$$\delta_U = \delta_B - \Delta \delta = 25^\circ 0' 0'' - 7.5^\circ = 17.5^\circ 0' 0'' = 17^\circ 30' 0''$$

Obliczyliśmy, że rektascensja nieznanego obiektu U, który znajduje się dokładnie w połowie drogi między gwiazdami A i B wynosi  $5^{\text{h}} 30^{\text{m}} 0^{\text{s}}$ , a jego deklinacja wynosi  $17^\circ 30' 0''$ . Wyznaczone wartości wpisz do tabeli poniżej.

Gwiazda	Rektascensja (h m s)	Deklinacja (° ' ")	X (cm)	Y (cm)
Star A	5h 0m 0s	10° 0' 0''		
Star B	6h 0m 0s	25° 0' 0''		
Star U				

**Tabl. Wyznaczanie współrzędnych nieznanego obiektu**

Jeśli nieznaną obiekt nie znajduje się dokładnie w połowie drogi między dwiema znanymi gwiazdami nie stanowi to żadnego problemu. Gdy już znajdziemy, z stosunków różnic położenia i współrzędnych, skale zdjęcia to możemy wyznaczyć współrzędne dowolnego obiektu na zdjęciu.

Mierzmy linijką na osiach odległość w cm współrzędnych obiektu od współrzędnych gwiazdy odniesienia. Zmierzone odległości mnożymy przez skale przechodząc na rektascensję i deklinację. Otrzymane wyniki dodajemy lub odejmujemy od współrzędnych gwiazdy odniesienia i współrzędne dowolnego obiektu mamy wyznaczone.

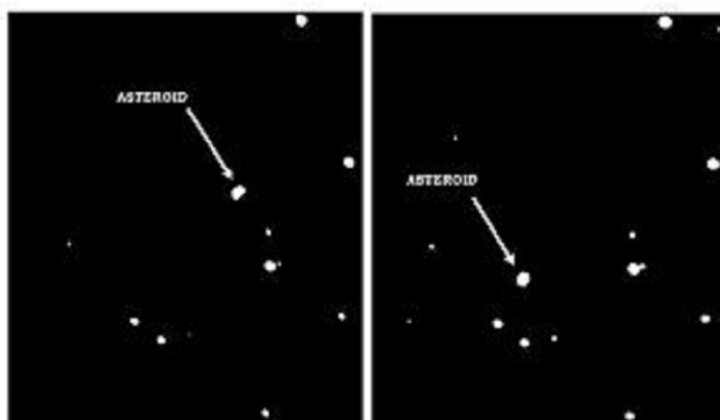
Stosując taką metodę astronomowie przez wiele lat ręcznie wyznaczyli współrzędne nowych gwiazd korzystając z zdjęć utrwalonych na szklanych kliszach fotograficznych. Obecnie zdjęcia nieba zapisywane są w formie cyfrowej. Pomiarów i obliczeń podczas wyznaczania współrzędnych nowych obiektów dokonują za astronomów programy komputerowe, co wydatnie ułatwia im pracę i zwiększa dokładność wyników.

W trakcie wykonywania ćwiczenia, aby wyznaczyć pozycje nieznanego obiektu U na podstawie zdjęcia, program poinstruuje Cię abyś zaznaczył na zdjęciu przynajmniej trzy gwiazdy o znanych współrzędnych (choć w celu uzyskania lepszych wyników lepiej zaznaczyć ich więcej). Następnie zaznaczysz położenie nieznanego obiektu U kursorem. Komputer dokonując bardzo podobnych obliczeń co my przed chwilą, wykona transformację współrzędnych (wyrażonych w pikselach) ze zdjęć do współrzędnych równikowych na niebie i wyświetli rozwiązanie : współrzędne nieznanego obiektu U.

### **Asteroidy na zdjęciach**

W ćwiczeniu, będziesz analizować zdjęcia nieba w celu znalezienia asteroid i wyznaczenia ich współrzędnych. Asteroidy, nazywane również planetoidami, to małe skalne obiekty o nieregularnych kształtach, które okrążają Słońce tak jak planety. Znajdują się one w większości pomiędzy orbitami Marsa i Jowisza, około 2.8 jednostek astronomicznych od Słońca. Orbity niektórych asteroid krążących bliżej Słońca przecinają orbitę ziemską. Może się więc zdarzyć, że dojdzie do kolizji asteroidy z Ziemią. Prawdopodobieństwo takiego zdarzenia jest niewielkie ale istnieje. Większość asteroid ma średnicę kilku, kilkunastu kilometrów. Średnice nielicznych, dużych asteroid sięgają do tysiąca kilometrów. Asteroidy tak jak planety odbijają światło słoneczne ale z racji swoich niewielkich rozmiarów, na zdjęciach nieba widoczne są jako punkty. Jak więc odróżnić, które punkty na zdjęciach to asteroidy a które to gwiazdy ?

Kluczem do rozpoznania asteroid jest fakt, iż poruszają się one na tle wszystkich gwiazd, ponieważ okrążają Słońce. Jeśli porównamy dwa zdjęcia tego samego fragmentu nieba zrobione w odstępie kilkudziesięciu minut to zauważymy, że niektóre „gwiazdy” poruszyły się względem pozostałych gwiazd. Te poruszające się „gwiazdy” to planetoidy (Rys3.).



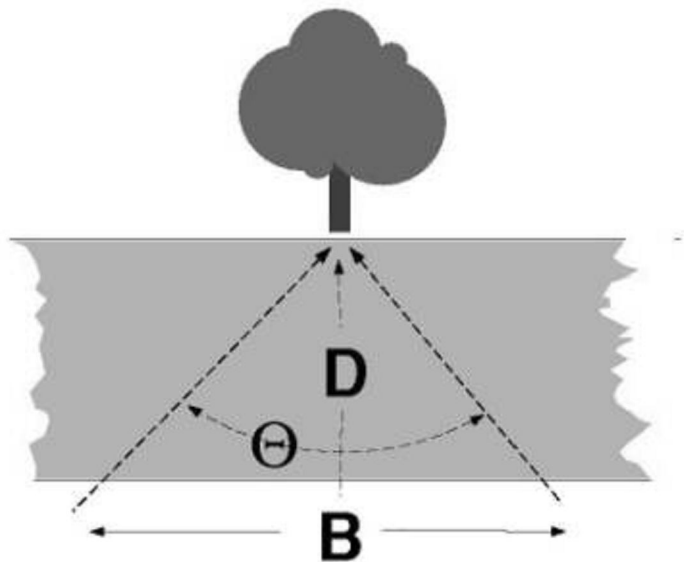
Rys3. Poruszająca się asteroida

Często na zdjęciu jest tak wiele gwiazd, że nie jesteśmy w stanie zapamiętać ich konfiguracji spoglądając naprzemian na zdjęcia. Co za tym idzie, trudno zauważyć nieznacznie przesunięty obiekt. Istnieje metoda, która pozwala skutecznie wychwycić poruszające się obiekty. Metoda ta nazywa się komparowaniem błyskowym (lub krócej – „blinkowaniem” od angielskiego blink). Polega na nieustannym wyświetlaniu na zmianę dwóch zdjęć tego samego obszaru nieba co krótki odstęp czasu. Łatwo jest wtedy zauważyć asteroidy, które przemieściły się w stosunku do nieruchomych gwiazd. Obiekty takie podczas komparowania w charakterystyczny sposób „skaczą”.

### **Paralaksa**

Paralakśą nazywamy zmianę położenia obiektu widzianego z dwóch różnych punktów. Często położenie to rozpatruje się względem innych obiektów, znajdujących się w pewnej odległości za obiektem obserwowanym. Słowem paralaksa określa się zarówno samo zjawisko jak i wartość zmiany położenia tego obiektu. Ta zmiana położenia ciała na tle innych obiektów to jednocześnie zmiana kierunku obserwacji tego ciała o pewien kąt. Paralaksa jest więc kątem, który mierzymy w stopniach ( $^{\circ}$ ). Zjawisko to często wykorzystuje się przy pomiarach odległości do różnych obiektów na Ziemi. Zazwyczaj mamy do czynienia z sytuacją gdy ciało zmienia swoje położenie na tle innych obiektów na skutek ruchu obserwatora. Przykładowo: satelita astronomiczny umieszczony na orbicie ziemskiej wykonuje zdjęcie nieba 6 grudnia. Po upływie pół roku, 6 czerwca, gdy Ziemia pokona odległość 300 milionów kilometrów i znajdzie się dokładnie po drugiej stronie Słońca satelita wykona drugie zdjęcie tego samego fragmentu nieba. Okazuje się, że bliskie gwiazdy na skutek zmiany położenia Ziemi przesunęły się na tle dalekich gwiazd. Satelita mierzy paralaksy

(kąty) przesunięcia tych gwiazd. Informacje te pozwalają na wyznaczenie odległości do bliskich gwiazd. Na Rys4. przedstawiono prosty przykład paralaksy



Rys4. Przykład paralaksy

Na brzegu, po drugiej stronie rzeki rośnie palma. Twoja młodsza siostra, wiedzona nieodpartym głodem, chce zbudować most przez rzekę aby zerwać z palmy wszystkie banany. Nim zacznie budować most usiłuje zmierzyć szerokość rzeki. Ponieważ rzeka jest głęboka i żyją w niej drapieżne piranie nie może zmierzyć jej szerokości przy pomocy taśmy ani sznurka. Jak możemy jej pomóc?

Wyberzmy dwa punkty na naszym brzegu. Odległość między nimi wynosi B. Z każdego z tych punktów widać palmę pod innym kątem. Różnica tych kątów wynosi  $\Theta$ . Szerokość D rzeki będzie równa

$$D = \frac{B}{2 \operatorname{tg}(\Theta/2)}$$

Wyobraźmy sobie teraz, że pozycja jakiegoś obiektu, mierzona w tej samej chwili z dwóch obserwatoriów położonych na przykład w Krakowie i w Quezaltenango w Gwatemali różni się o kąt  $\Theta$ . Znając odległość B między tymi obserwatoriami (12978.7 km) możemy, korzystając z powyższego wzoru obliczyć odległość do tego obiektu. Gdy mamy do czynienia w astronomii z większymi odległościami, rzędu parseków (pc), powyższy wzór przyjmuje postać

$$D [\text{pc}] = 1 / \Theta ["]$$

## Część I. Poszukiwanie Asteroidy

W tej części ćwiczenia poszukujemy na zdjęciach asteroidy 1992JB. Zdjęcia na których znajduje się asteroida mają nazwy zaczynające się od 92JB.... Wczytaj zdjęcia w kolejności ich wykonania o której informują cyfry na końcu nazwy każdego z plików.

Po uruchomieniu programu, na ekranie pojawia się logo CLEA. Z menu **File** wybierz pozycję **Login** i wpisz swoje imię. Przy logowaniu możesz podać imiona kilku osób oraz numer komputera przy którym pracujesz..

Przystąp do wczytywania zdjęć

z menu **File** wybierz pozycję **Load Images .... Image1**

z otwartego katalogu wybierz plik **92JB05.FTS** i naciśnij **Open**

Po wczytaniu pliku komputer pokaże komunikat

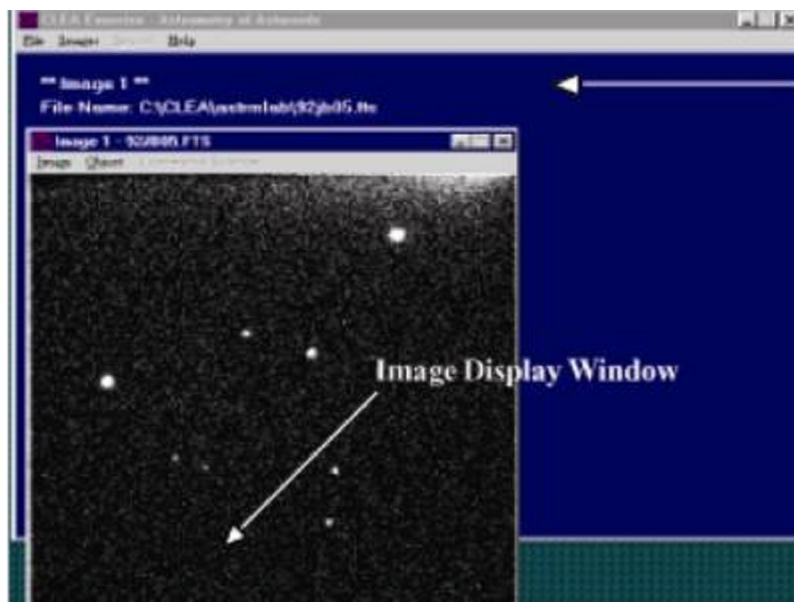
(File Name: ..... \ 92JB05.FTS)

Aby wyświetlić wczytane zdjęcie

wyberz z menu **Image** pozycję **View / Adjust** i w nowym okienku **Display Images...**

...wyberz **Image1**

Na ekranie zobaczysz fotografię fragmentu nieba, zawierającą asteroidę



Rys5. Wyświetlanie zdjęcia

Wszystkie jasne plamki widoczne na zdjęciu to gwiazdy z wyjątkiem jednej, którą jest poszukiwana asteroida. Aby określić, która z nich jest asteroidą wczytajmy drugie zdjęcie, przedstawiające ten sam obszar nieba sfotografowany zaledwie 10 minut później

z menu **File** wybierz pozycję **Load Images .... Image2**

z otwartego katalogu wybierz plik **92JB07.FTS** i naciśnij **Open**

Po wczytaniu pliku komputer pokaże komunikat

(File Name: ..... \ 92JB07.FTS)

Teraz wyświetl drugie zdjęcie.

wybierz z menu **Image** pozycję **View / Adjust** i w nowym okienku **Display Images...**

...wybierz **Image2**

Wczytywanie zdjęć możesz dokonać również wczytując kilka zdjęć naraz (maks.4). Wybierz

z menu **File** pozycję **Load Image Files** a następnie **Multiple Load**

Istnieje również możliwość usunięcia wczytanych zdjęć. Wybierz

z menu **FILE** pozycję **Clear Images/Ref. Fields** a następnie **Images and reference fields**

Kiedy obydwie zdjęcia są już wczytane przygotujmy operację „blinkowania”. Wybierz

z menu **Images** pozycję **Blink**.

W tym momencie na ekranie komputera widać tylko jedno okno, zawierające zdjęcie nr 1. Na dole pojawi się małe okienko. Zaznacz teraz 2 gwiazdy, które pozwolą programowi za ich pomocą dokładnie nałożyć na siebie oba zdjęcia. Najlepiej jest wybrać gwiazdy, znajdujące się w narożach obrazu. Nie wybieraj gwiazd w okolicy środka zdjęcia gdyż tam najprawdopodobniej znajduje się planetoida. Wykonaj polecenia

Wybierz pierwszą gwiazdę, zaznacz ją i naciśnij **Continue**

Wybierz drugą gwiazdę, zaznacz ją i naciśnij **Continue**

Pojawia się zdjęcie numer 2

Wskaż na nim pierwszą gwiazdę zapamiętaną z poprzedniego zdjęcia i naciśnij **Continue**

W ten sam sposób wskaż na drugim zdjęciu drugą gwiazdę zapamiętaną z poprzedniego zdjęcia i naciśnij **Continue**

Aby rozpocząć wyświetlanie zdjęć naciśnij **Blink**. Zdjęcia 1 i 2 będą wyświetlane na przemian na ekranie. Zidentyfikuj asteroidę na obydwu zdjęciach – będzie to obiekt, który w charakterystyczny sposób przesuwa się podczas wyświetlania zdjęć. Na zdjęciu mogą być widoczne małe i jasne kwadraciki. Są to wypalone piksele kamery CCD, którą zrobiono zdjęcie. Często obrazy gwiazd na

obu zdjęciach mogą się różnić, jeśli zdjęcia zostały robione z różnymi czasami naświetlania. Również przypadkowe naświetlenie kamery przez silne promieniowanie kosmiczne może spowodować na zdjęciu powstanie smug. W trakcie naprzemiennego wyświetlania zdjęć możesz regulować odstęp czasu w jakim zmieniane są zdjęcia

wybierając **Adjust** i **Blink rate**.

Jeśli zauważyłeś planetoidę naciśnij **Stop** i użyj polecenia **Identify Target**. Dokładnie zaznacz planetoidę po kolei na wszystkich zdjęciach za każdym razem potwierdzając **Continue**. Umożliwisz w ten sposób programowi zapamiętanie współrzędnych planetoidy na zdjęciach.

## Część II. Wyznaczanie współrzędnych Asteroidy

Gdy już wiemy, który obiekt na zdjęciach jest asteroidą możemy przystąpić do wyznaczenia jej współrzędnych czyli znalezienia jej rektascensji i deklinacji. Program posiada wbudowaną podstawową część katalogu gwiazd GSC. W trakcie pracy, gdy potrzebne są dokładniejsze mapy nieba z większą ilością gwiazd istnieje możliwość pobrania ich z katalogu GSC na serwerze. Program używa gwiazd z katalogu jako gwiazd odniesienia przy wyznaczaniu współrzędnych planetoidy. Przystąpmy do obróbki zdjęć i wskazania gwiazd odniesienia. Wybierz

z menu **Images** pozycję **Measure ...Image1**

W nowym okienku znajdują się parametry tego zdjęcia – data i godzina wykonania.

przejdź dalej naciskając **ok.**

W następnym okienku podane są rektascensja i deklinacja środka zdjęcia. Program automatycznie wczytuje te dane z nagłówka zdjęcia. Możesz zaznaczyć opcję

**Use On-line Catalog**

aby pobrać z serwera katalogu GSC dokładniejszą mapę. Jeśli chcesz, możesz też podać szerokość kątową mapy w ( " ) wpisując odpowiednią wartość w okienko

**Field Size**

Oraz ustalić minimalną jasność wyświetlanych na mapie gwiazd w Mag tak aby nie zagęszczać za bardzo gwiazd na obrazie. Wpisz odpowiednią wartość w okienko

**Mag Limit**

przejdź dalej naciskając **ok.**

Program narysuje teraz w nowym oknie mapę podanego obszaru i wyświetli ją w lewej części ekranu. W prawej części ekranu pokaże zdjęcie nr 1. Przyjrzyj się dokładnie i rozpoznaj na mapie nieba trzy (lub więcej) gwiazdy, które widzisz w takim samym charakterystycznym układzie na zdjęciu obok.

Zdjęcie po prawej i mapa po lewej często nie są w tej samej skali. Jeśli nie możesz znaleźć na zdjęciu powtarzającego się na mapie układu gwiazd być może zdjęcie jest odbite symetrycznie względem mapy. Problemy te możesz rozwiązać naciskając prawym przyciskiem myszy na zdjęciu. Wybierając

**Resize image**

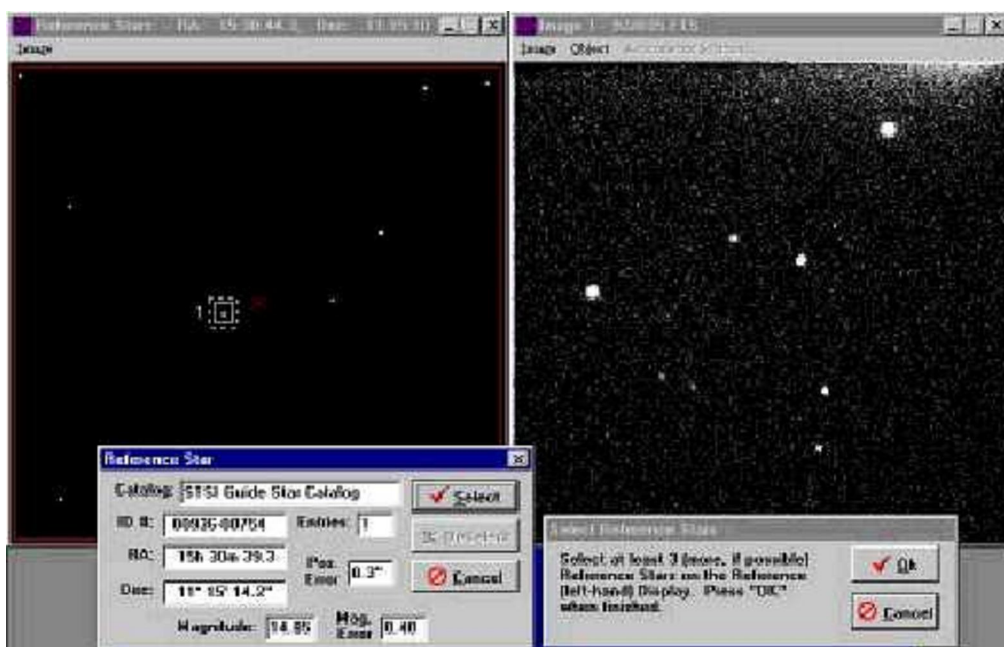
dopasujesz skalę zdjęcia. Natomiast wybierając

### Adjust Imge

za pomocą czerwonych strzałek w nowym okienku możesz dowolnie obracać zdjęcie w pionie i w poziomie tak aby dopasować je do mapy. Istnieje możliwość usunięcia mapy jeśli pomyliliśmy się.

Wybierz w tym celu

w menu **File** polecenie **Clear Images / Ref. Fields** i **References fields only**.



Rys6. Wybór gwiazd odniesienia

Zaznacz po kolei rozpoznane gwiazdy na mapie nieba za każdym razem zapisując rektascensję (RA) i deklinację (DEC) każdej z tych gwiazd w Tab2. gdy ich wartości pojawią się w okienku na dole po lewej. Za każdym razem potwierdzaj **ok**. Jeśli nie chcesz zaznaczać więcej gwiazd kliknij **no**. Warto się jednak wysilić gdyż zaznaczenie 6 gwiazd pozwoli programowi na wyznaczenie niepewności współrzędnych i jasności planetoidy.

Gwiazda	ID #	RA	DEC
1			
2			
3			

4			
5			
6			

*Tab2. Gwiazdy wzorcowe*

Następnie zaznacz te same gwiazdy na zdjęciu po prawej w tej samej kolejności i w ten sam sposób za każdym razem potwierdzając **ok**. Gdy wskażesz na prawym zdjęciu wszystkie gwiazdy odniesienia, zostaniesz poproszony o potwierdzenie wyboru asteroidy. Zrób to. Potem program zapyta czy w sąsiedztwie planetoidy w zaznaczonym kwadracie znajdują się jakieś jasne obiekty, które mogą wprowadzić błąd w pomiarze jasności tła. Jeśli tak jest to należy zaznaczyć pobliski fragment nieba na którym nie ma żadnych jasnych obiektów a następnie nacisnąć **ok**.



*Rys7. Identyfikacja asteroidy*

Na ekranie pojawi się raport z wynikami pomiarów zdjęcia nr1. Raport zawiera współrzędne planetoidy, jej jasność obserwowaną, niepewności tych parametrów, skalę zdjęcia i jego rozmiary.

Rektascensję i deklinację planetoidy widniejące jako **Ra** i **Dec** przy **Target Object** należy wpisać do Tab.3 przy odpowiedniej nazwie zdjęcia.

<b>Współrzędne asteroidy 1992JB</b>			
<b>23 maja 1992</b>			
<b>Nazwa pliku</b>	<b>Czas (UT)</b>	<b>RA (h, m, s)</b>	<b>DEC (°, ', ")</b>
92JB05.FTS	04 53 00	15 30 38,5	
92JB07.FTS	05 03 00		
92JB08.FTS	05 09 00		
92JB09.FTS	06 37 30		
92JB10.FTS	06 49 00		
92JB12.FTS	06 57 00		
92JB14.FTS	07 16 00		

*Tab3. Współrzędne asteroidy*

Istnieje również możliwość zapisania raportu jako pliku za pomocą polecenia

**List** następnie **Save Text** i **As Displayed** w wybranym folderze

Następnie naciśnij **ok** i na pytanie

**Record measurement on report list now?** odpowiedz **Tak**

Umożliwi to zapisanie wyników w pamięci podręcznej programu.

Część I i część II ćwiczenia należy wykonać dla 7 zdjęć asteroidy 1992JB o nazwach

**92JB05.FTS 92JB07.FTS 92JB08.FTS 92JB09.FTS**

**92JB10.FTS 92JB12.FTS 92JB14.FTS**

za każdym razem zapisując wyznaczone współrzędne asteroidy na danym zdjęciu do Tab.3.

<b>Nazwa pliku</b>	<b>Rektascensja (2000) środk zdjęcia (h m s)</b>	<b>Deklinacja (2000) środk zdjęcia (° ' ")</b>	<b>Czas UT wykonania zdjęcia (h m s)</b>	<b>Czas trwania ekspozycji (s)</b>
92JB05.FTS	15 30 44,30	11 15 10,4	04 53 00	30
92JB07.FTS	15 30 44,30	11 15 10,4	05 03 00	120
92JB08.FTS	15 30 44,30	11 15 10,4	05 09 00	30
92JB09.FTS	15 30 44,30	11 15 10,4	06 37 30	180
92JB10.FTS	15 30 44,30	11 15 10,4	06 49 00	30
92JB12.FTS	15 30 44,30	11 15 10,4	06 57 00	120
92JB14.FTS	15 30 44,30	11 15 10,4	07 16 00	30

***Tab4. Zestawienie informacji o zdjęciach***

Wszystkie zdjęcia zostały wykonane 23 maja 1992r w *National Undergraduate Research Observatory* za pomocą 0.5 m teleskopu *Lowell Observatory*, f 15, kamera CCD 512x512.

### Część III. Obliczanie prędkości kątowej

Jak szybko porusza się asteroida 1992JB? Korzystając z danych, zebranych przez nas w poprzedniej części ćwiczenia, będziemy mogli obliczyć jej prędkość kątową w sekundach kątowych na sekundę. Aby tego dokonać, będziemy musieli odjąć początkową pozycję asteroidy ze zdjęcia 92JB05.FTS od końcowej pozycji (na zdjęciu 92JB14.FTS) a następnie podzielić wynik przez liczbę sekund, jakie upłynęły pomiędzy wykonaniem tych zdjęć. Możemy napisać to wzorem:

$$\mu = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

gdzie  $\mu$  jest prędkością kątową asteroidy,  $\Delta\theta$  -- odległością kątową między początkową i końcową pozycją asteroidy, a  $\Delta t$  – czasem, który upłynął pomiędzy zdjęciami.

Zacznijmy od obliczenia czasu, który upłynął pomiędzy wykonaniem zdjęć:

Odczytaj z tabeli z poprzedniej strony czasy wykonania zdjęć 92JB14.FTS i 92JB05.FTS i wpisz w odpowiednie pola poniżej:

Moment wykonania zdjęcia 92JB14.FTS: .....godzina .....minut .....sekund

Moment wykonania zdjęcia 92JB05.FTS: .....godzina .....minut .....sekund

Zamień powyższe wartości na godziny i ich ułamki:

Moment wykonania zdjęcia 92JB14.FTS: ..... godzin

Moment wykonania zdjęcia 92JB05.FTS: ..... godzin

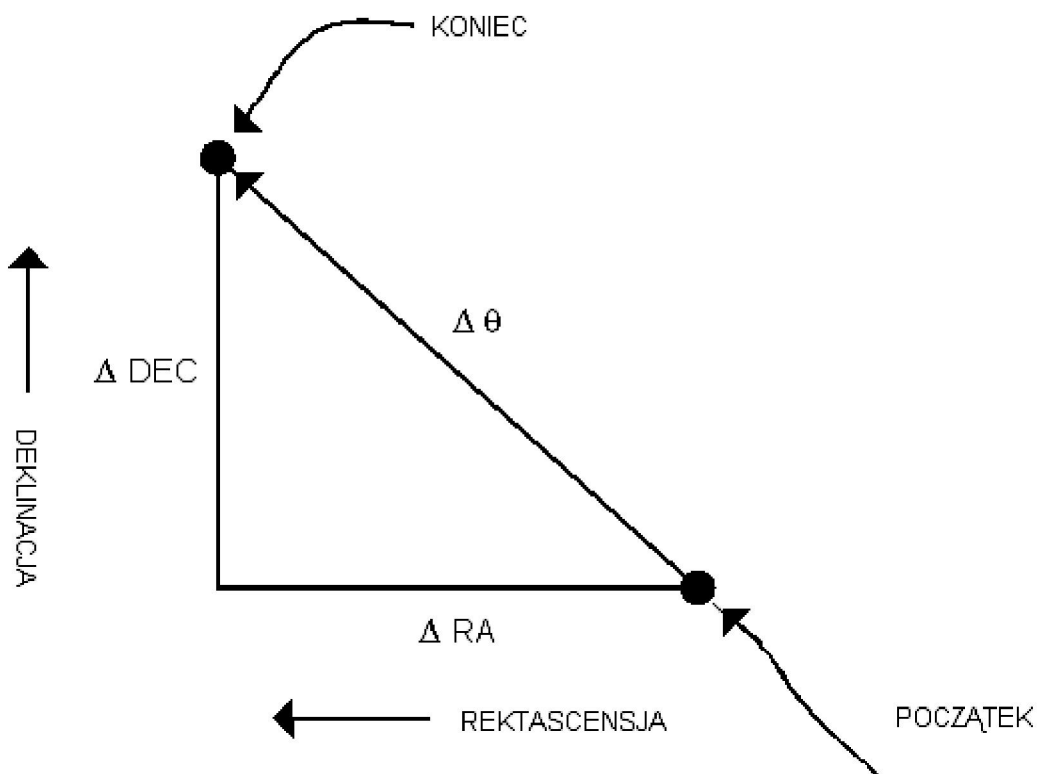
Czas, który upłynął między wykonaniem zdjęć wyniósł:..... godzin

Zamień wynik na sekundy (pomnóż go przez 3600) i wpisz poniżej:

Czas pomiędzy wykonaniem zdjęć: ..... sekund

Teraz zmierzmy odległość kątową  $\Delta\theta$ , przebytą przez asteroidę 1992JB. W tym celu wykorzystamy twierdzenie Pitagorasa:

$$\Delta\theta = \sqrt{(\Delta RA)^2 + (\Delta DEC)^2}$$



**Rys8. Odległość kątowa asteroidy**

Rysunek u góry pokazuje zasadę obliczania przebytej przez asteroidę odległości kątowej. Jak widać, przez  $\Delta RA$  oznaczyliśmy różnicę pomiędzy rektascensją asteroidy na ostatnim i pierwszym zdjęciu, a przez  $\Delta DEC$  różnicę pomiędzy jej deklinacją. Teraz zastosujemy nasz wzór w praktyce. Wpisz wartości deklinacji asteroidy na zdjęciach 92JB14.FTS i 92JB05.FTS w odpowiednie pola poniżej:

Deklinacja asteroidy na zdjęciu 92JB14.FTS: ..... ° ..... ‘ .....”

Deklinacja asteroidy na zdjęciu 92JB05.FTS: .....° .....’ .....”

Zamień powyższe wartości na stopnie i ich części dziesiętne:

Deklinacja asteroidy na zdjęciu 92JB14.FTS: .....°

Deklinacja asteroidy na zdjęciu 92JB05.FTS: .....°

Odejmij wartości od siebie:

$\Delta$ DEC: .....°

Zamień stopnie na sekundy kątowe (podziel wynik przez 3600):

$\Delta$ DEC: .....”

Teraz powtórzmy powyższe kroki, aby otrzymać  $\Delta$ RA:

Rektascensja asteroidy na zdjęciu 92JB14.FTS: .....h .....m .....s

Rektascensja asteroidy na zdjęciu 92JB05.FTS: .....h.....m.....s

Zamieniamy na godziny i ich części dziesiętne:

Rektascensja asteroidy na zdjęciu 92JB14.FTS: .....h

Rektascensja asteroidy na zdjęciu 92JB05.FTS: .....h

Odejmujemy wartości od siebie:

$\Delta$ RA: .....h

Zamieniamy na sekundy kątowe:

$\Delta RA$ : ..... s

UWAGA! To jeszcze nie jest ostateczna wartość  $\Delta RA$ , ponieważ jedna sekunda rektascensji jest równa ( $15 \times \cos(\delta)$ ), gdzie  $\delta$  jest wartością deklinacji w tym punkcie. Zauważmy bowiem, że odległości pomiędzy południkami na sferze niebieskiej nie są stałe – blisko biegunów niebieskich są znacznie mniejsze, niż w pobliżu równika niebieskiego. Musimy zatem pomnożyć nasz wynik przez  $15 \times \cos \delta$ . Za  $\delta$  możemy przyjąć deklinację asteroidy z któregośkolwiek ze zdjęć, ponieważ ze względu na małą wartość przemieszczenia obiektu błąd będzie bardzo mały. Zatem, po uwzględnieniu tej poprawki mamy:

$\Delta RA$ : .....”

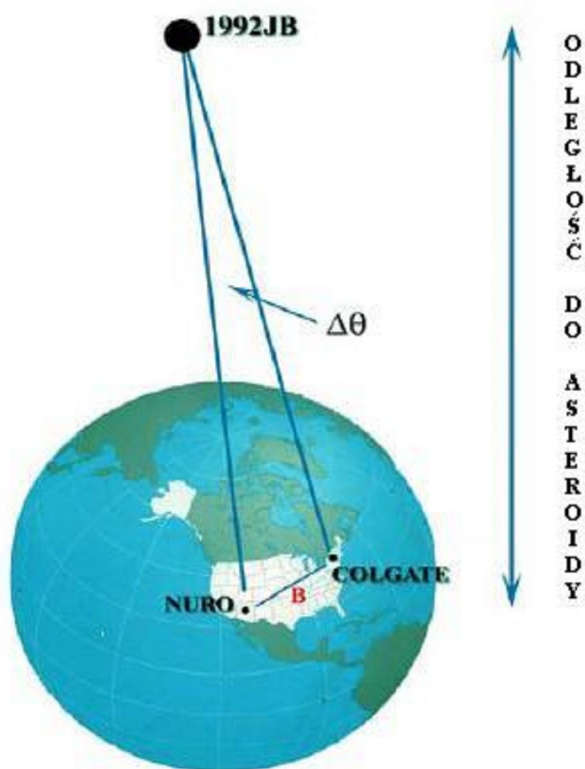
Teraz możemy zastosować nasz wzór na obliczenie  $\Delta\theta$ :

$\Delta\theta$  = ..... ”

Na koniec możemy obliczyć prędkość kątową asteroidy  $\mu$ :

$\mu$  = ..... ” / sekundę

## Część IV. Pomiar odległości metodą paralaksy



*Rys9. Powstanie paralaksy*

Na rysunku obok widać zasadę pomiaru odległości do asteroidy przy pomocy paralaksy. Zasada jest taka sama, jak w przypadku pomiaru szerokości rzeki: jeśli dwa obserwatoria, odległe od siebie o  $B$  dokonają jednocześnie pomiaru położenia asteroidy i obliczone przez nie pozycje będą różnić się o  $\Delta\theta$ , to odległość do asteroidy będzie wynosić:

$$D = 206,265 \frac{B}{\Delta\theta}$$

Jedno ze zdjęć które już oglądaliśmy, 92JB12.FTS, jest zapisane także pod nazwą ASTWEST.FTS. Jednocześnie pod nazwą ASTEAST.FTS zostało zapisane zdjęcie, wykonane w tej samej chwili w obserwatorium, położonym po drugiej stronie USA. Współrzędne tych obserwatoriów zawarte są w Tab5.

<b>Obserwatorium</b>	<b>Długość geograficzna</b>	<b>Szerokość geograficzna</b>	<b>Nazwa pliku</b>	<b>Czas ekspozycji [s]</b>
<i>Foggy Bottom Observatory, Colgate University, Hamilton, NY</i>	42° 48' 59,1"	W 75°31' 59,2 "	ASTEAST.FTS	120
<i>National Undergraduate Research Observatory, Flagstaff, AZ</i>	35° 05' 48,6 "	W 111° 32' 09,3"	ASTWEST.FTS	120

**Tab5. Dane obserwatoriów**

Teraz spróbujemy obliczyć odległość do asteroidy. Wczytaj plik ASTEAST.FTS jako Image1, a ASTWEST.FTS jako Image2. Porównaj obydwa zdjęcia. Znajdź asteroidę 1992JB na obu zdjęciach. Czy asteroida na zdjęciu ASTWEST jest przesunięta bardziej na wschód czy na zachód? Dlaczego? (Wyjaśnij poniżej):

Korzystając z poznanych przez siebie metod, zmierz współrzędne asteroidy na obydwu zdjęciach i wpisz poniżej:

Plik	RA (h m. s)	DEC(° ‘ ")
ASTEAST.FTS	.....	.....
ASTWEST.FTS	.....	.....

Zamień wartości na stopnie i ich części:

Plik	RA( ° )	DEC( ° )
ASTEAST.FTS	.....	.....
ASTWEST.FTS	.....	.....

Wyraż różnicę deklinacji  $\Delta DEC$  w stopniach:

$$\Delta DEC = \text{.....}^\circ$$

Zamień na sekundy kątowe:

$$\Delta DEC = \text{.....}''$$

Wyraż różnicę rektascensji  $\Delta RA$  w godzinach kątowych:

$$\Delta RA = \text{.....}h$$

Zamień na sekundy kątowe:

$$\Delta RA = \text{.....}''$$

Wprowadź odpowiednią poprawkę (pomnóż przez  $15 \times \cos(\delta)$ ):

$$\Delta RA = \text{.....}''$$

Oblicz paralaksę:

$$P = \sqrt{(\Delta RA)^2 + (\Delta DEC)^2}$$

P = .....

W programie istnieje możliwość obliczania odległości B pomiędzy dowolnymi dwoma obserwatoriami. Wybieramy

**Report** a następnie **Compute Baseline**

W oknie, które się otworzy naciskamy

**Site 1** następnie **File** a potem **Find Site**

i wybieramy nazwę pierwszego obserwatorium wyszukując je z listy. Następnie czynności te powtarzamy wybierając drugie obserwatorium za pomocą

**Site 2** następnie **File** a potem **Find Site**

Otrzymany wynik możemy zapisać jako plik za pomocą polecenia

**List** następnie **Save Text** i **As Displayed**.

W zapisanym pliku tekstowym pod zmienną o nazwie

**Maximum Baseline**

zapisana jest odległość B pomiędzy obserwatoriami

Znając paralaksę P. asteroidy 1992JB i odległość B pomiędzy obserwatoriami (około 3172 kilometrów) możemy obliczyć odległość D do asteroidy korzystając ze wzoru:

$$D = 206,265 \frac{B}{\Delta\Theta}$$

Korzystając z powyższego wzoru oblicz odległość od Ziemi do asteroidy 1992JB 23 maja 1992 roku o godzinie 6:57 czasu Greenwich (data i chwila wykonania obydwu zdjęć):

Odległość asteroidy 1992JB = ..... km

Zamień wynik na jednostki astronomiczne:

Odległość asteroidy 1992JB = ..... AU

Porównaj otrzymany wynik z odległością z Ziemi do Księżyca. Ile razy asteroida była dalej/blżej Ziemi niż Księżyc? (napisz poniżej)

Asteroidy dzielimy na *asteroidy pasa asteroid*, *asteroidy trojańskie*, okrążające Słońce w tej samej odległości co Jowisz i *asteroidy zbliżające się do Ziemi*. Jakim typem asteroidy była 1992JB? Dlaczego tak uważasz?

## Część V. Prędkość tangencjalna Asteroidy 1992 JB

Prędkość tangencjalna  $V_t$  jest składową prędkości obiektu prostopadłą do kierunku obserwacji. Możemy ją wyznaczyć z prostego wzoru, korzystając z obliczonej poprzednio prędkości kątowej  $\mu$  ["/sekundę] i odległości  $D$  [km]. Prędkość tangencjalna jest równa

$$V_t = \frac{\mu D}{206,265}$$

Prędkość tangencjalna asteroidy 1992JB wynosiła:

$V_t = \dots\dots\dots$  km / s

Jeśli gwiazda porusza się wzdłuż kierunku w którym ją obserwujemy to nie zauważymy jej ruchu. Gwiazda nie zmienia wtedy swojego położenia na niebie i jej prędkość tangencjalna  $V_t = 0$ . Jeśli gwiazda porusza się z prędkością  $V$  prostopadłą do kierunku obserwacji to obserwujemy jej ruch na niebie z prędkość tangencjalna  $V_t = V$ . W przypadkach pośrednich, gdy gwiazda nie porusza się ani prostopadłe ani równoległe do kierunku obserwacji prędkość tangencjalna  $V_t$  stanowi pewną część prędkości  $V$  gwiazdy i jej ruch na niebie jest wolniejszy. Gdybyśmy znali kąt jaki tworzy kierunek ruchu gwiazdy z kierunkiem obserwacji to moglibyśmy wyliczyć prędkość rzeczywistą ze wzoru

$$V = \frac{V_t}{\sin \alpha}$$

## Pytania dodatkowe

Czy obliczona wartość prędkości tangencjalnej jest prawdopodobna?

Oblicz dla porównania prędkość orbitalną Ziemi znając promień jej orbity - 1AU i czas obiegu wokół Słońca - 1 rok czyli  $3,1 \cdot 10^7$  s.

Czy spodziewałeś się, że prędkość orbitalna Ziemi będzie większa czy mniejsza od prędkości orbitalnej asteroidy? Dlaczego?

Jakiego przybliżenia dokonaliśmy, przyjmując prędkość tangencjalną asteroidy za jej prędkość orbitalną?

Przygotowaliśmy dla Ciebie jeszcze jedną ciekawostkę. Jak już pewnie zauważyłeś oprócz zdjęć asteroidy 1992 JB w folderze ze zdjęciami było też sporo innych zdjęć. Wykonaliśmy 9 par zdjęć różnych fragmentów nieba. Dla każdego fragmentu po dwa zdjęcia zrobione w pewnym odstępie czasu. Na niektórych znajdują się asteroidy a na niektórych asteroid nie ma. Jeśli masz chęć zostać prawdziwym odkrywcą – zapraszamy! Jeśli uda Ci się odkryć na zdjęciach jakąś asteroidę to wpisz ten fakt oraz jej współrzędne do Tab.6

<b>Para zdjęć</b>	<b>Odkrycie asteroidy TAK / NIE</b>	<b>Współrzędne asteroidy</b>
A1/A2		
B1/B2		
C1/C2		
D1/D2		
E1/E2		
F1/F2		
G1/G2		
H1/H2		
I1/I2		
J1/J2		

*Tab6. Dokonane odkrycia*

## **Zakończenie**

Przeznaczony dla uczniów i studentów program

*Astrometry of asteroids*

podobny program astrometryczny do ogólnego stosowania

*Toolkit for Astrometry*

oraz wiele innych ciekawych programów, symulacji obserwacji astronomicznych i instrukcji możesz pobrać za darmo ze strony głównej CLEA :

<http://public.gettysburg.edu/~marschal/clea/CLEAhome.html>

Uwagi co do tłumaczenia i opracowania niniejszej instrukcji proszę kierować na adres e-mail:

ogloza@ap.krakow.pl

## Bibliografia:

1. „Astrofizyka układów planetarnych”, Paweł Artymowicz, wyd. PWN, Warszawa 1995.
2. „Wstęp do astrofizyki”, A. Opolski, H. Cugier, T. Ciurla, wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław 1995.
3. „Od gwiazdowego pyłu do planet. Geologiczna podróż przez Układ Słoneczny”, Harry Y. McSween JR., wyd. Prószyński i S-ka, Warszawa 1996.
4. „Instrumenty obserwacyjne astrometrii od gnomonu do CCD i interferometru optycznego”, Hieronim Hurnik, wyd. UAM, Poznań 2000.
5. „Общая астрометрия”, В. В. Шодобеа, В. В. Нестероб, wyd. Наука, Moskwa 1975 r.

Strony internetowe:

6. Katalog zdjęć astronomicznych - <http://gallery.astronet.pl/>
7. Wikipedia - <http://pl.wikipedia.org>
8. Minor Planet Center - <http://www.cfa.harvard.edu/iau/mpc.html>
9. Mapy nieba - <http://www.heavens-above.com/>
10. Klasyfikacja planetoid - <http://www.nineplanets.org/asteroids.html>
11. Układ współrzędnych – [http://www.astro.czemierniki.pl/readarticle.php?article\\_id=140](http://www.astro.czemierniki.pl/readarticle.php?article_id=140)
12. Projekt CLEA - <http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/CLEAhome.html>
13. Prześmierowskie Obserwatorium Astronomiczne - <http://www.poa.home.pl/forum/portal.php>

## Wzór oświadczenia

---

.....  
(imię i nazwisko)

Kraków, dnia .....

### O Ś W I A D C Z E N I E

Świadomy(a) odpowiedzialności oświadczam, że przedłożona praca dyplomowa pt.:

.....

.....

została napisana przeze mnie samodzielnie.

Jednocześnie oświadczam, że w/w praca nie narusza praw autorskich w rozumieniu Ustawy z dnia 4 lutego 1994 roku o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz.U. z 2006 Nr 90 . poz. 631 z późn. zmianami) oraz dóbr osobistych chronionych prawem cywilnym.

Przedłożona praca nie zawiera danych empirycznych ani też informacji, które uzyskałem(am) w sposób niedozwolony. Stwierdzam, iż przedstawiona praca w całości ani też w części nie była wcześniej podstawą żadnej innej urzędowej procedury związanej z uzyskiwaniem dyplomu ani też nadania tytułów zawodowych.

.....

(podpis)