

# ***Astronomia CCD za 3gr***

***Grzegorz Wrochna***  
***Instytut Problemów Jądrowych***

***Delta 2/2002 i 4/2002***

***Urania-PA 1/2002 i 2/2002***

***<http://hep.fuw.edu.pl/~wrochna/astro>***



# ESO-CERN-ESA Symposium on **Astronomy, Cosmology and Fundamental Physics**

**Garching bei München, Germany**

**March 4-7, 2002**

The connections between Astronomy, Cosmology and Fundamental Physics are well known, and become closer every day. Recent exciting developments in these fields include the structures in the cosmic background radiation, evidence for an accelerating Universe, searches for dark matter candidates, evidence for neutrino oscillations, space experiments on fundamental physics, and discoveries of extrasolar planets. ESO, CERN and ESA are thus involved in scientific endeavours and technologies which overlap considerably. This joint Symposium is the first to be co-organized and co-sponsored by all three organizations.

The symposium is meant to give a broad overview of scientific areas of interest to the communities of the three organizations: current observational cosmology including the microwave background fluctuations and new constraints on the cosmological parameters, searches for dark matter, high energy astrophysics (sources and backgrounds), recent developments and prospects in particle physics, fundamental physics from ground and space, extrasolar planets, and future perspectives at ESO, CERN and ESA.

<http://www.eso.org/gen-fac/meetings/symp2002/>

# *Astronomia a fizyka cząstek*

---

Badaniem najbardziej podstawowych praw przyrody zajmują się

- astronomia (kosmologia)
- fizyka cząstek elementarnych

W ostatnich latach dziedziny te bardzo zbliżyły się do siebie.

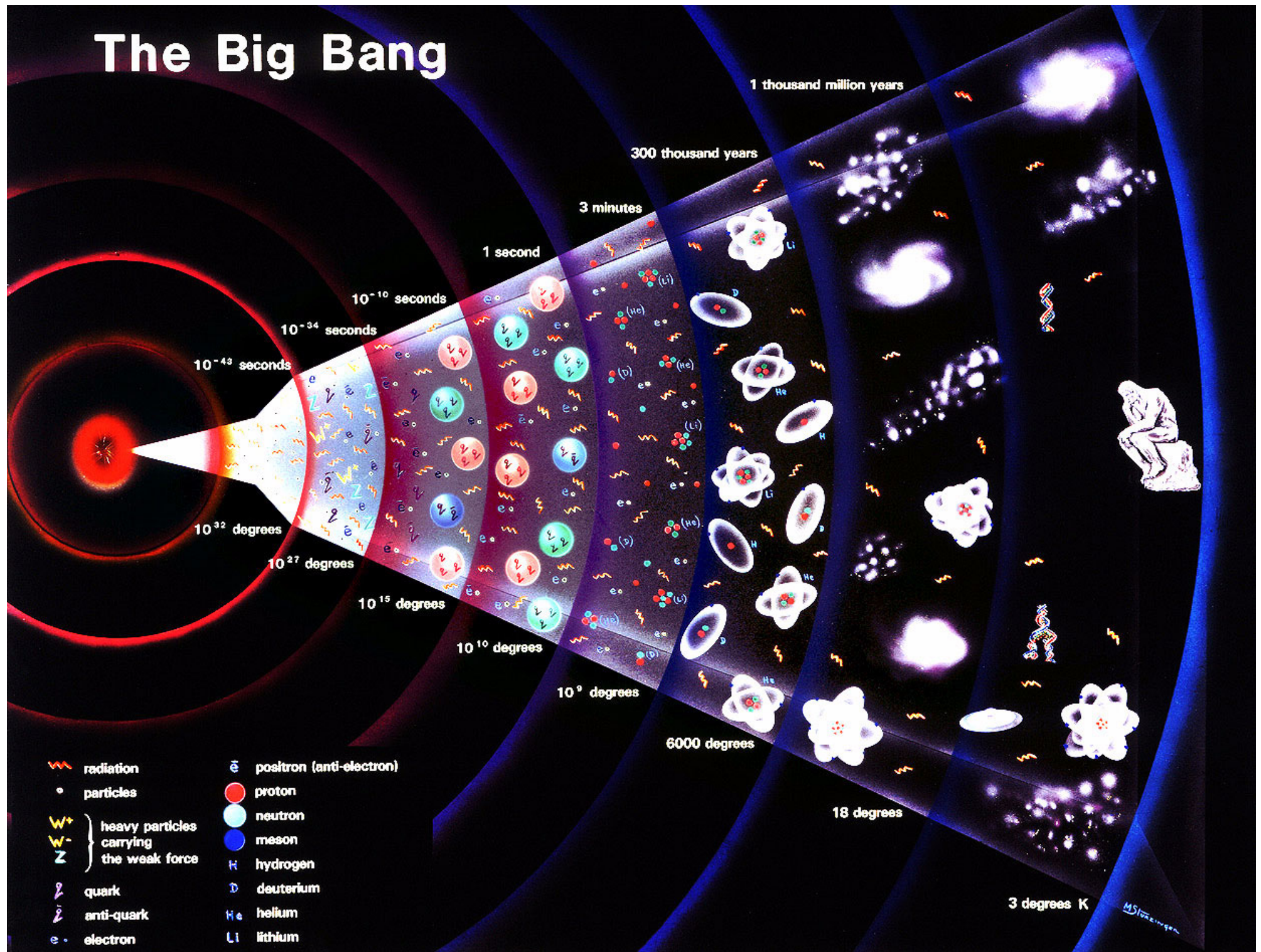
Fizyka cząstek opisuje prawa rządzące materią na fundamentalnym poziomie,  
kosmologia - jak ewoluował Wszechświat pod ich wpływem

Eksperymenty fizyki cząstek odtwarzają warunki panujące w młodym Wszechświecie  
W kosmosie nie brak źródeł cząstek o gigantycznych energiach.

Wyniki eksperymentów fizyki cząstek są podstawą modeli kosmologicznych.  
Wyniki obserwacji astronomicznych są sprawdzianem fizyki cząstek.

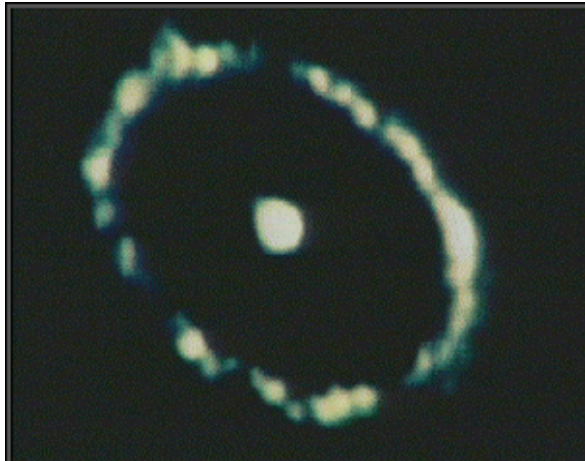
Metody eksperymentalne obu dziedzin zbliżyły się do siebie.  
Coraz więcej eksperymentów “z pogranicza”.

# The Big Bang

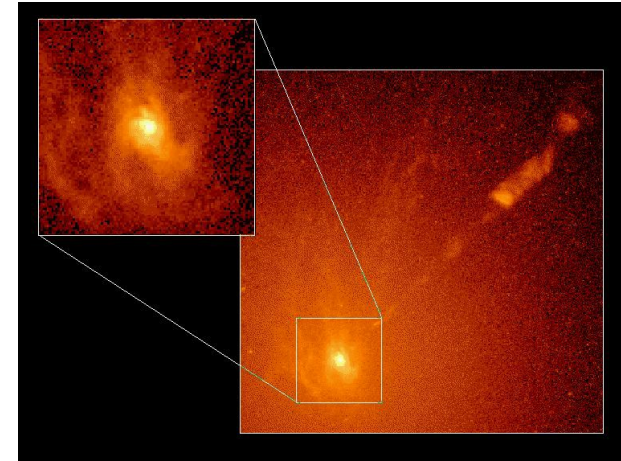
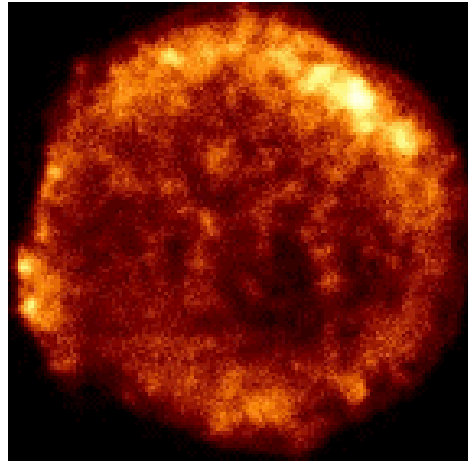


# ***Kosmiczne akceleratorzy cząstek***

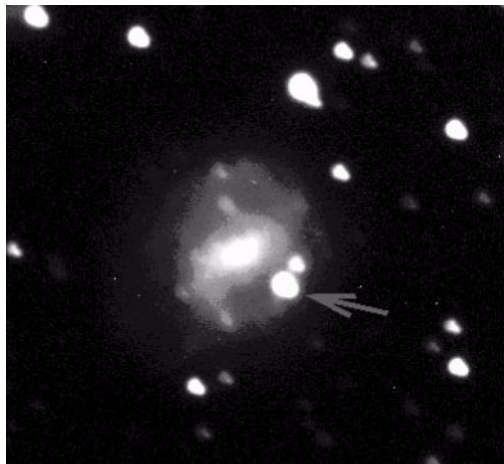
---



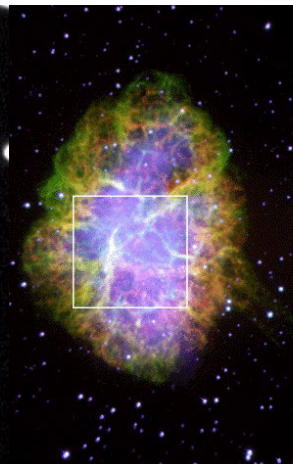
**supernowe**



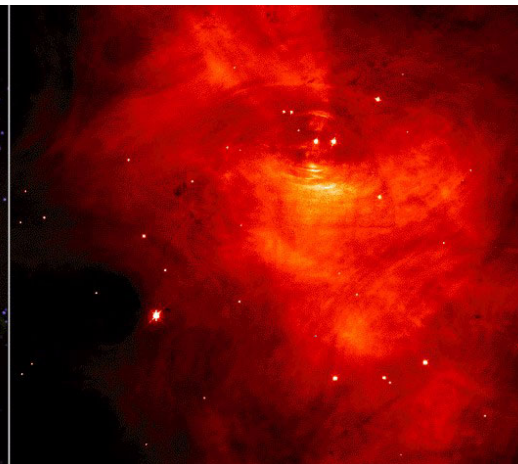
**aktywne jądra galaktyk**



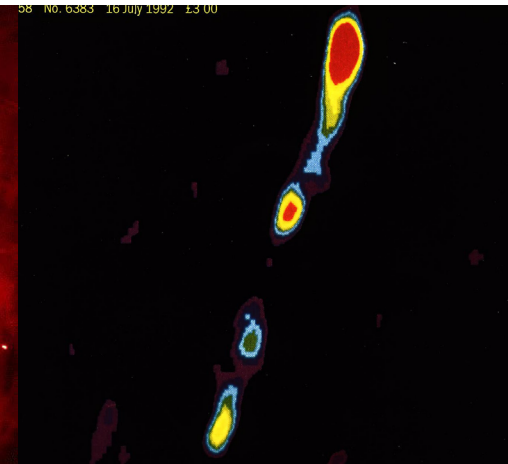
**błyski gamma**

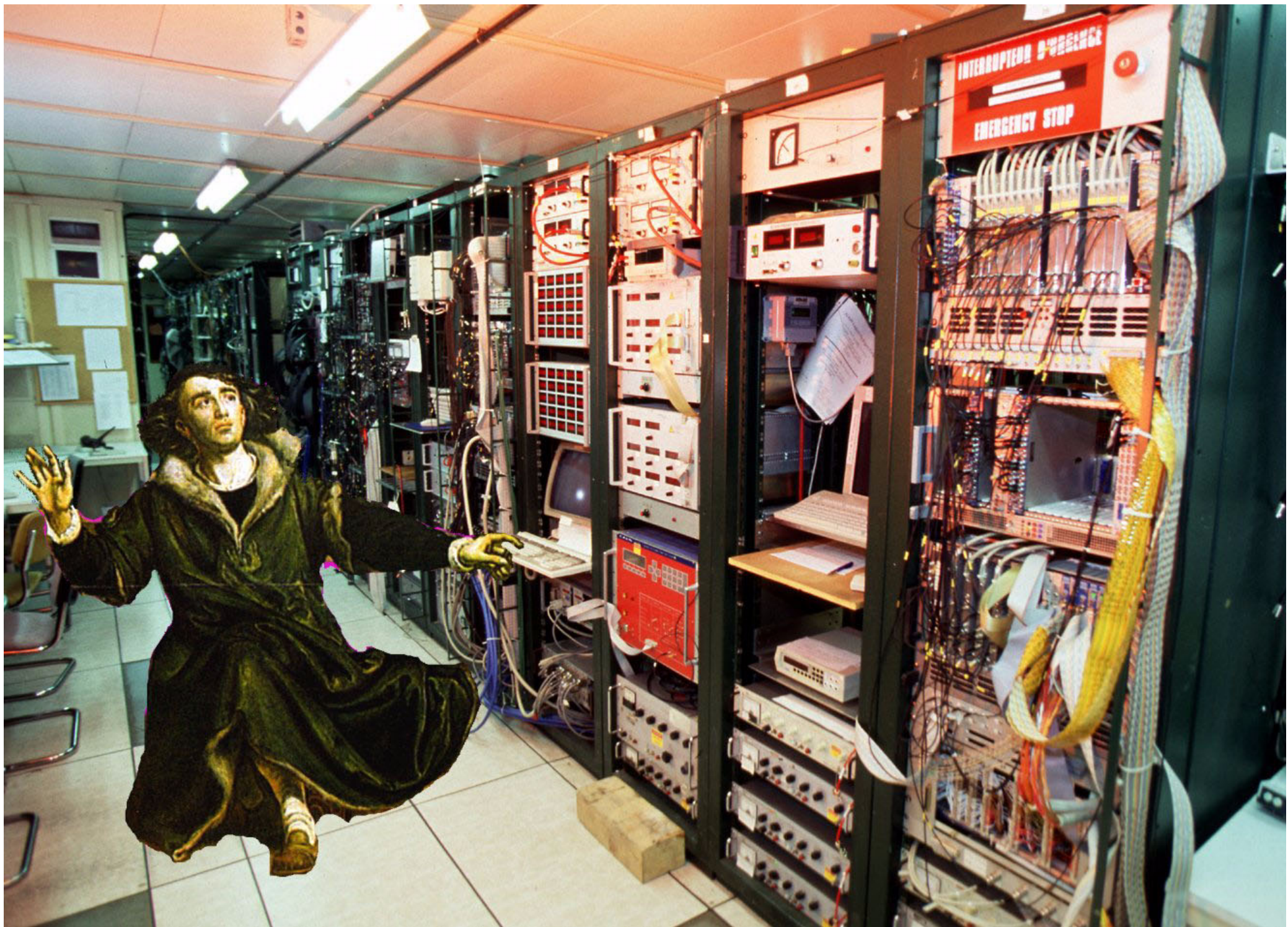


**pulsary, pleriony**



**mikrokwazary**





# *Aparatura fizyki cząstek i astronomii*

---

Dominująca rola w fizyce cząstek i astronomii należy dziś do gigantycznych przedsięwzięć

- skupiających tysiące naukowców
- zakrojonych na kilkanaście lat
- wymagających miliardowych funduszy

## Astronomia:

- kosmiczny teleskop Hubble'a
- teleskop KECK z optyką aktywną (Hawaje)
- sondy międzyplanetarne NASA i ESA

## Fizyka cząstek:

- akcelerator TeVatron (Chicago)
- akceleratory LEP i LHC (Genewa)
- detektor neutrin SuperKamiokande (Japonia)



# Compact Muon Solenoid @ LHC

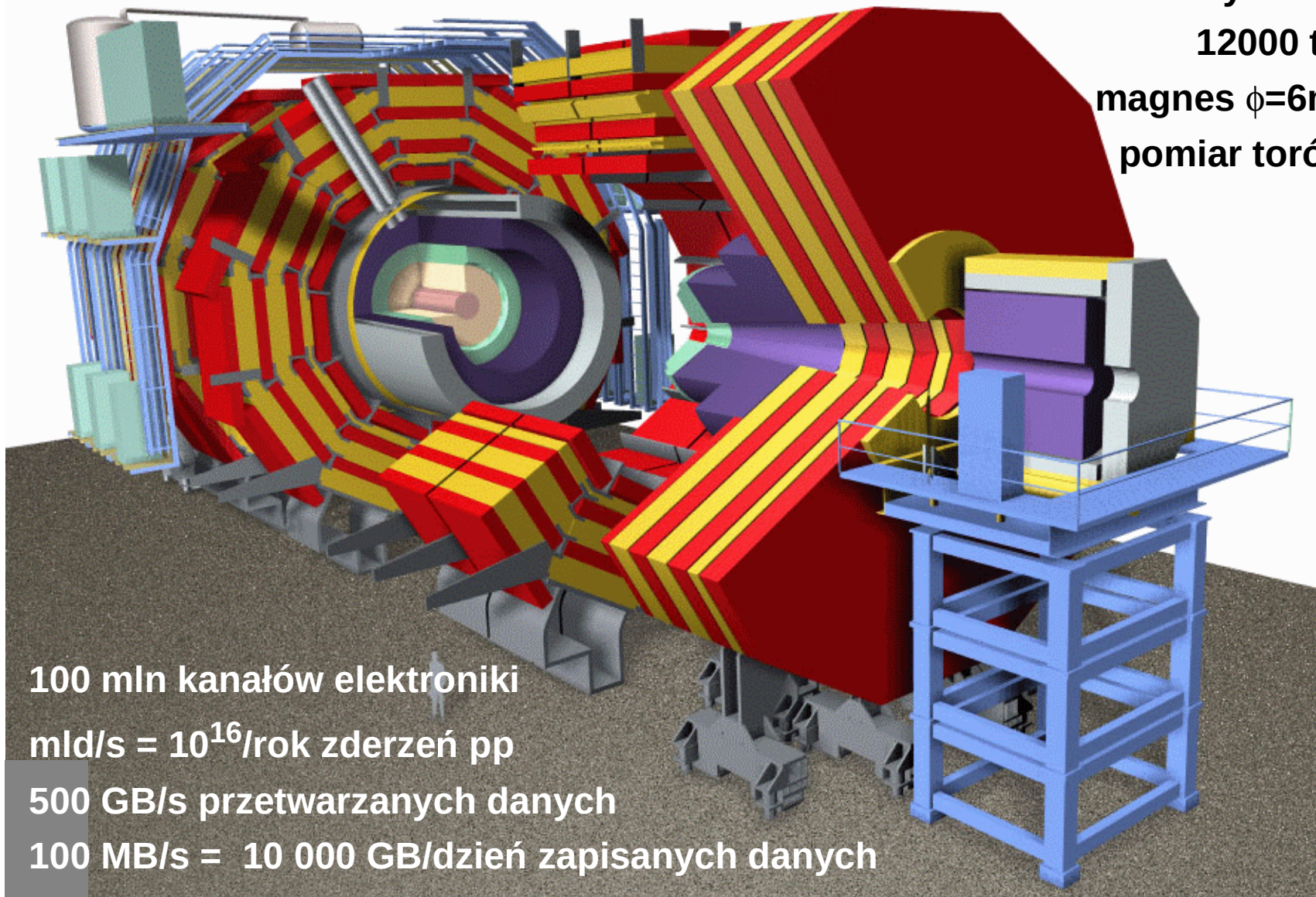
projekt i budowa 1990-2006

2000 fizyków z 30 państw

12000 ton, 22x15 m

magnes  $\phi=6\text{m}$ , 4T, 1000 A

pomiar torów 20-100 $\mu\text{m}$



100 mln kanałów elektroniki

mld/s =  $10^{16}$ /rok zderzeń pp

500 GB/s przetwarzanych danych

100 MB/s = 10 000 GB/dzień zapisanych danych

# *Co może naukowiec-amator?*

---

Dynamiczny rozwój nauki w ostatnich latach sprawił, że coraz bardziej powiększa się dystans między profesjonalistami a amatorami.

Niemożliwe staje się pokazanie na żywo, czy odtworzenie istotnych dla nauki eksperymentów i obserwacji.

Czy miłośnikom fizyki cząstek i astronomii pozostaje więc jedynie śledzenie doniesień prasowych o ważnych odkryciach i oglądanie zazdrosnym okiem zdjęć z wielkich teleskopów?

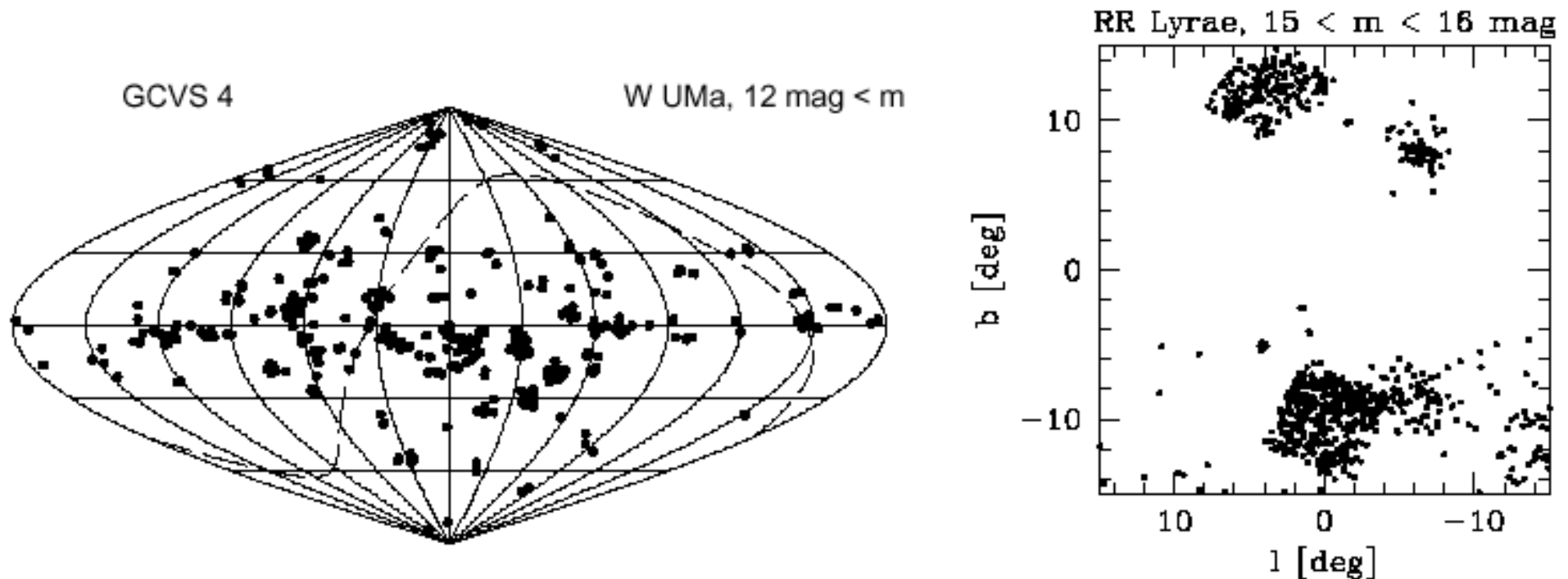
**Nie poddawajmy się tak łatwo!**

# Potrzeba małych teleskopów

Duże teleskopy pokrywają bardzo mały fragment nieba.

**Wiele ciekawych zjawisk zostaje przegapionych.**

Np. katalogi gwiazd zmiennych niejednorodnie pokrywają niebo



**Dwóch wielkich odkryć ostatnich lat dokonano teleskopami  $\phi=10$  cm**

- optyczny odpowiednik błysku gamma (ROTSE) i planeta wokół innej gwiazdy (STARE)

# *Optyczny odpowiednik błysku gamma*

---



**ROTSE - teleobiektywy  $\phi=10$  cm**

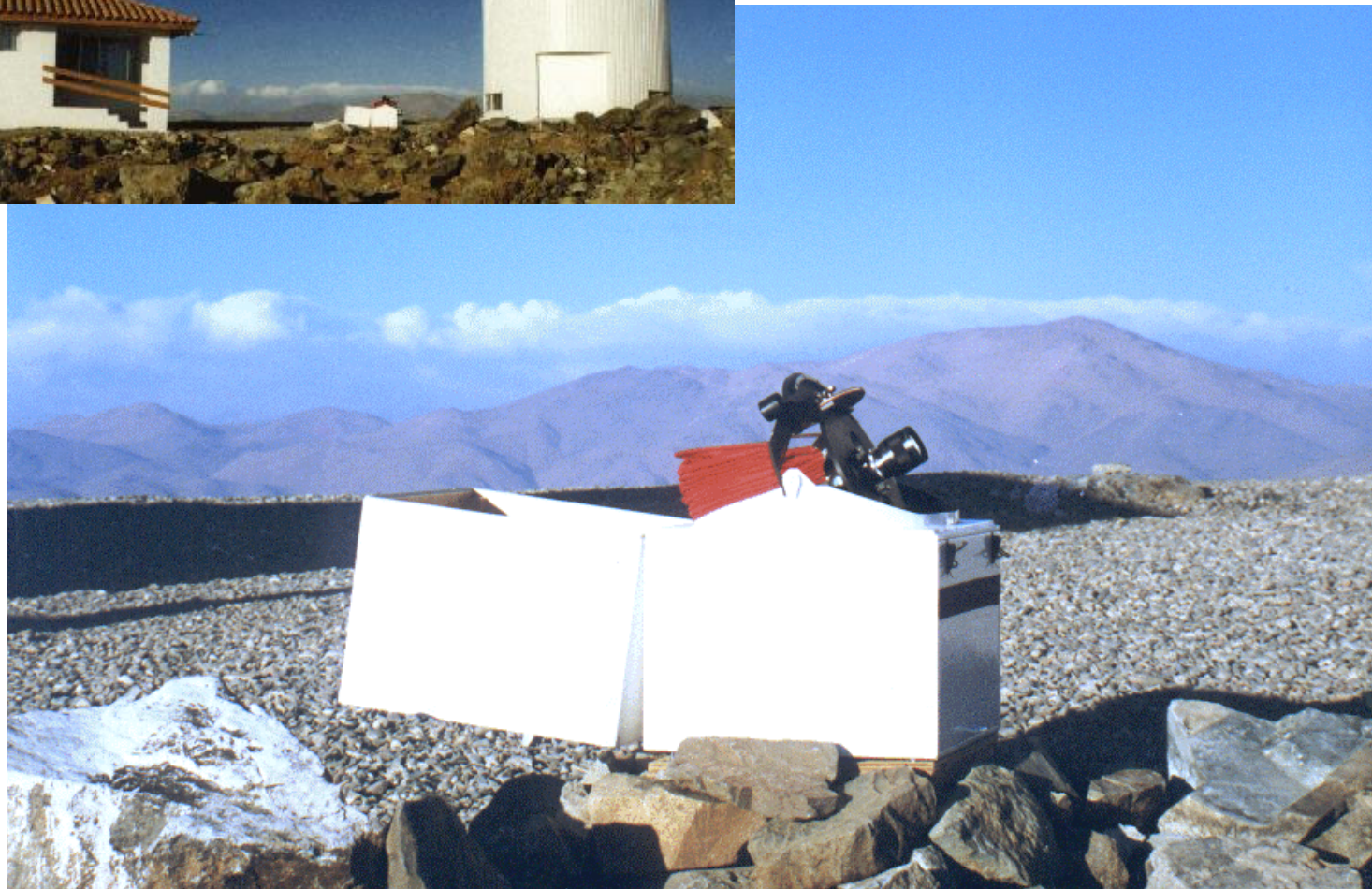
# ***Polski eksperyment ASAS***

---

**All Sky Automated Survey - Fotometryczny przegląd całego nieba**



**Aparatura w Chile,  
sterowana przez internet  
z Warszawy**



**dr Grzegorz  
Pojmański,  
Obserwatorium  
Astronomiczne  
Uniwersytetu  
Warszawskiego**

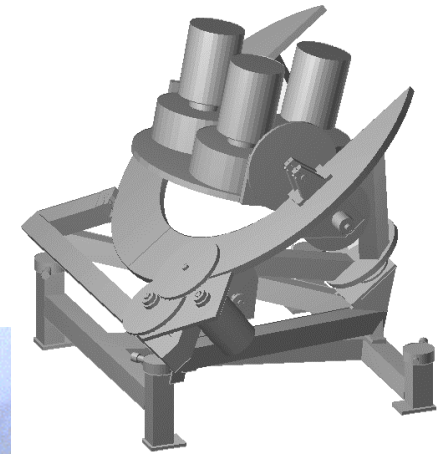
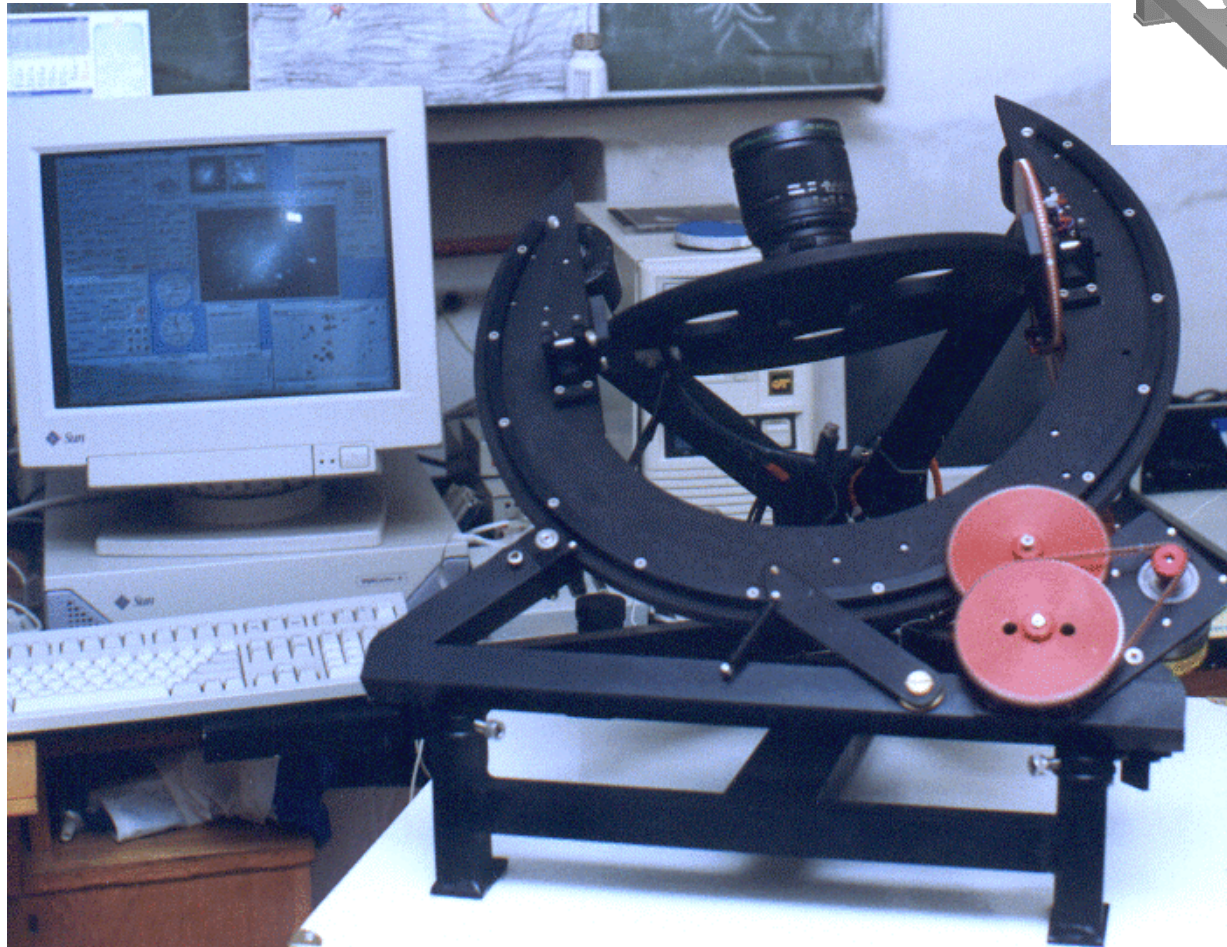
# ASAS - *badanie zmienności nieba*

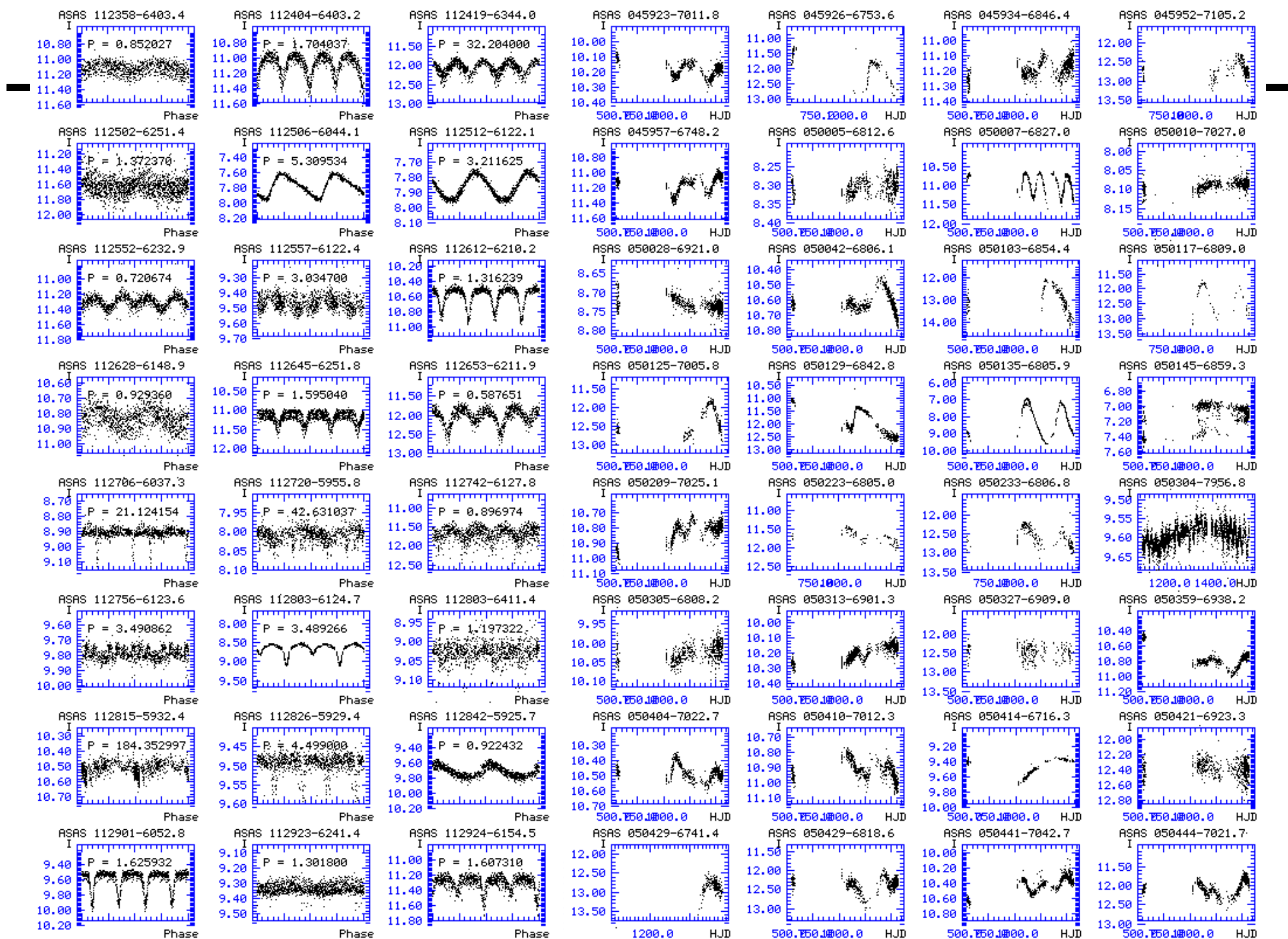
**Automatyczny teleskop  $\phi=7\text{cm}$  przez 2 lata badał  $300^\circ^2$  nieba**

- 150 000 gwiazd  $m<13$
- >50 000 000 pomiarów
- 4000 gwiazd zmiennych (90% wcześniej nieznanych)
- rekord:  $m=2.5$

## **Budowa ASAS-3**

- więcej obiektywów
- szersze pokrycie





# Kamery CCD

---

Eksperymenty takie jak ASAS, ROTSE czy STARE kosztują już nie miliardy, ale ciągle tysiące dolarów. Mimo, że używają małych teleskopów, konieczne jest zastosowanie kosztownych kamer CCD.

Amatorskie astronomiczne kamery CCD kosztują >1000\$.  
To wciąż za dużo jak na przeciętnego miłośnika w Polsce.

Pomysłowość ludzka nie zna jednak granic.

Coraz więcej, coraz tańszych urządzeń powszechnego użytku zawiera sensory CCD: kamery wideo, systemy bezpieczeństwa, domofony, kamery internetowe itp.

Okazuje się, że tego typu urządzenia coraz powszechniej wykorzystywane są przez miłośników astronomii.

Ich arsenał przywodzi na myśl słynne „zawody w pływaniu na byle czym”.

Zamiast więc marzyć o kamerach za tysiące \$\$, fotografujmy niebo byle czym!

Przepis jest prosty:

- zdobądź byle jaką kamerę internetową (webcam),
- dołącz do niej byle jaki obiektyw,
- umocuj na byle czym
- i podłącz do byle jakiego komputera.

Rezultaty mogą być nie byle jakie.

# Kamera internetowa + teleskop

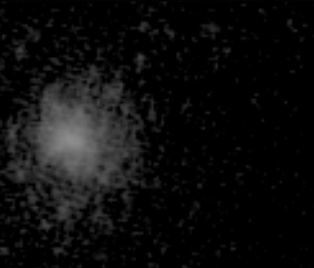


*Jowisz*



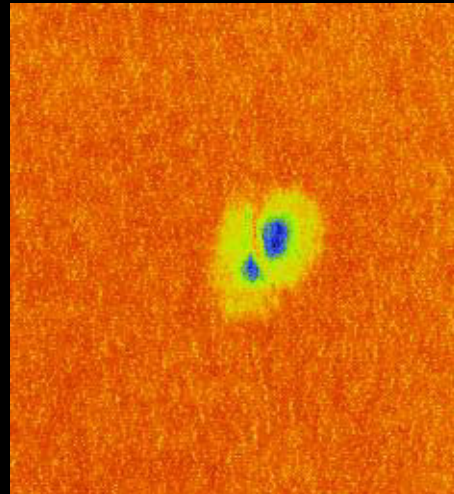
*Saturn*

*M15*

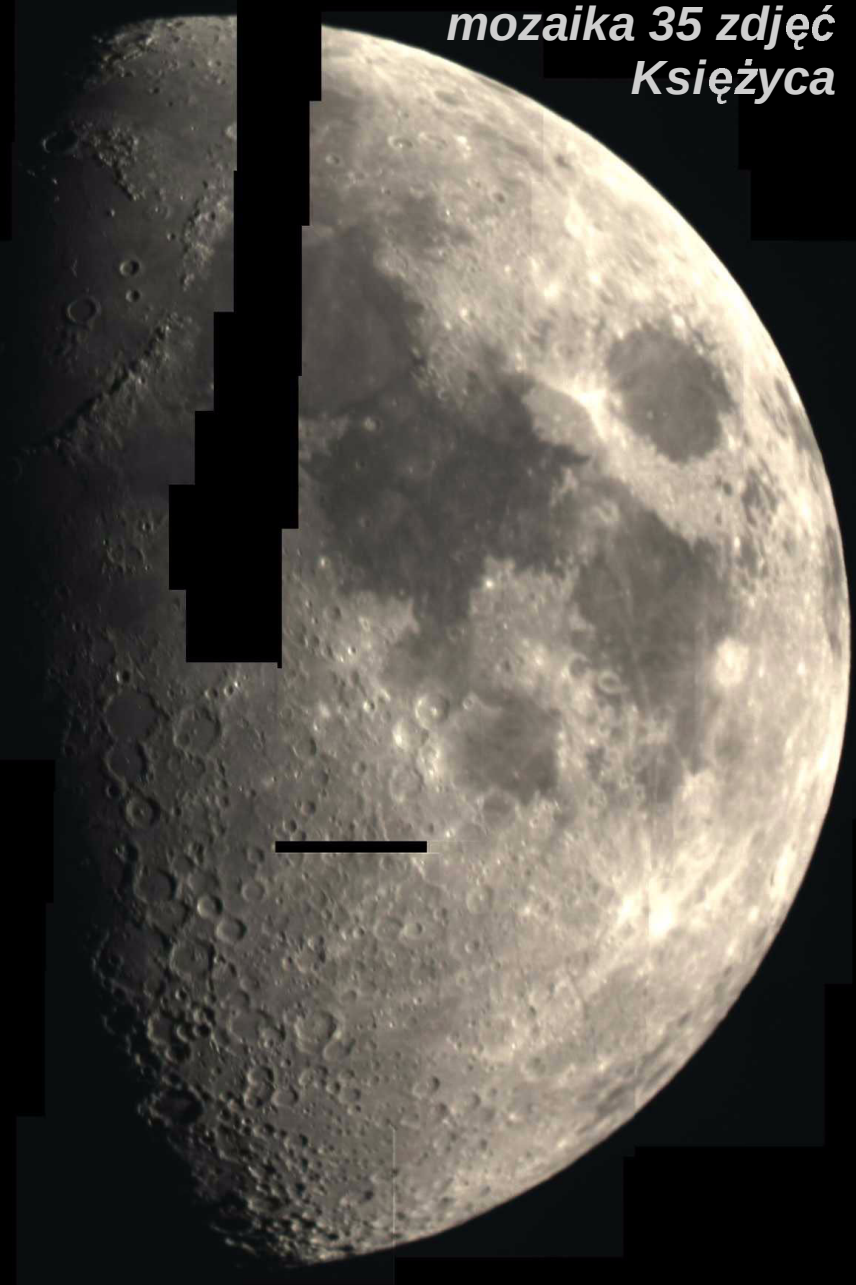


*Plamy na Słońcu*

*Sztuczne barwy lepiej oddają różnice temperatur*



*mozaika 35 zdjęć  
Księżyc*



Kamera internetowa  
obiektyw f=50mm, f/2  
3° x 4°

*Plejady*

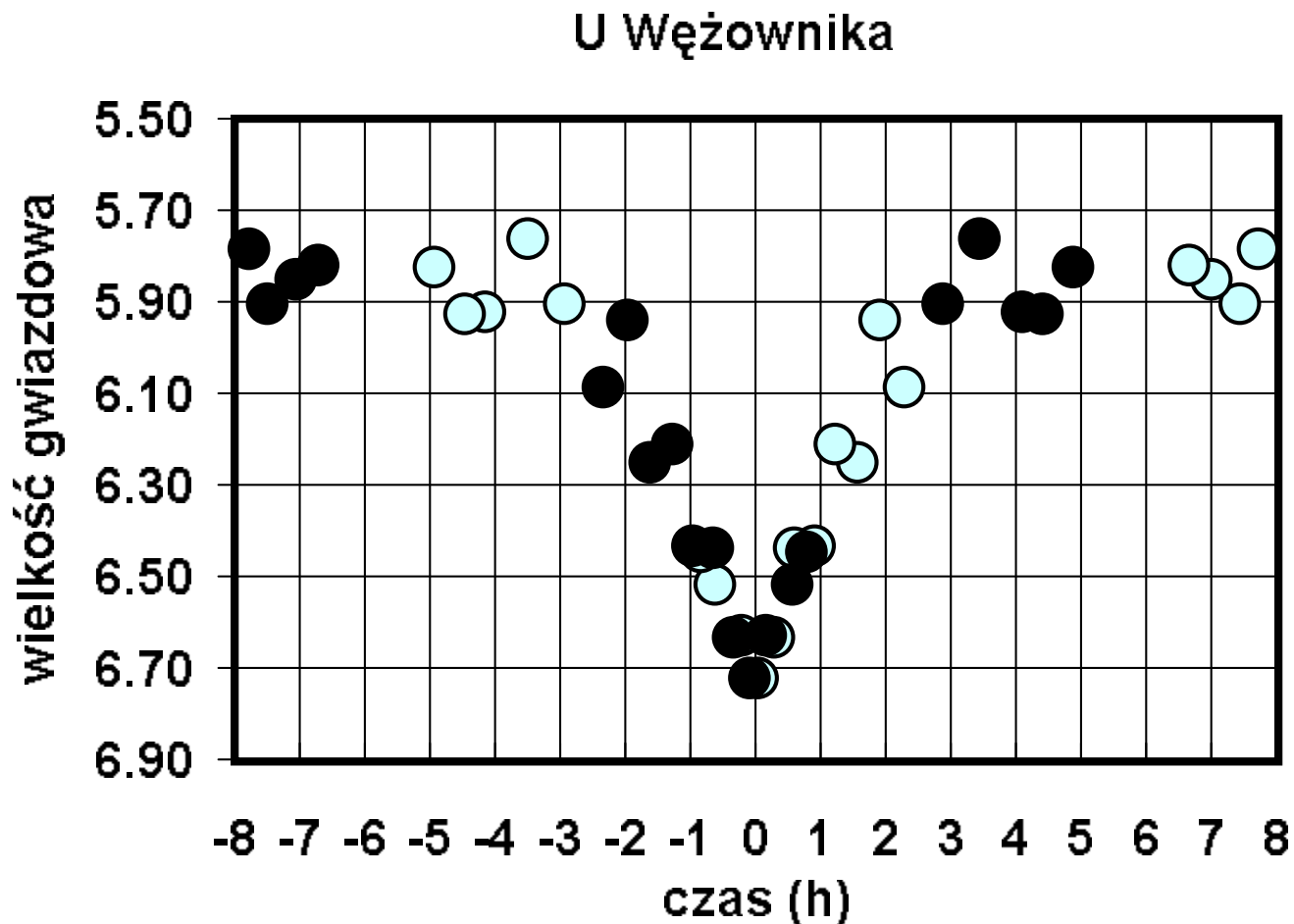
42  
44  
45 Uran

Neptun

*Vesta*

# Pomiar jasności gwiazd

## Krzywa blasku układu U Oph



Dwie gwiazdy o podobnej wielkości i jasności okrążają się po ciasnej orbicie.

Z Ziemi widać je jako jeden obiekt, którego blask spada o połowę w regularnych odstępach czasu.

# *Kamera internetowa (webcam)*

---

**Dowolna kamera internetowa z sensorem CCD**

**Sensory CMOS mają mniejszą czułość**

## Wady:

- krótkie czasy naświetlania (zwykle  $<1s$ )
- duże szумы

## Zalety:

- niska cena (200-400zł)
- łatwość współpracy z komputerem

## Przykład:

- Philips Vesta PCVC675K
- sensor o przekątnej 1/4"
- 640 x 480 piksli, każdy  $5,6 \mu m \times 5,6 \mu m$
- czasy: 1/1000 - 1/5 s
- odczyt: 8 bitów \* 3 kolory / piksel



# *Kamera internetowa + teleskop*

---

## Wady:

- cena teleskopu
- małe pole widzenia
- do słabszych obiektów konieczny mechanizm prowadzący

## Zalety:

- duże powiększenia
- idealny układ do fotografowania Słońca (z filtrem), Księżyca i planet

## Przykład:

- Celestron 8,  $\phi=20\text{cm}$ ,  $f=2\text{m}$
- pole widzenia  $6' \times 4,5'$  (Słońce i Księżyc  $\sim 30'$ , Jowisz i Saturn  $\sim 1'$ )
- konieczność prowadzenia dla  $t > 1/50 \text{ s}$

## Wskazówki:

- do Księżyca przydatna soczewka  $f=2\text{-}5\text{cm}$  redukująca ogniskową
- do planet przydatna soczewka Barlowa wydłużająca ogniskową (powiększająca) 2x
- złączka ASTROKRAK do kamer Philipsa i teleskopu 1,25" - 35zł + VAT

<http://www.astronomica.com/astrokrak/>



# ***Kamera internetowa + obiektyw foto***

---

- Bardzo niska cena
- Zbędny mechanizm prowadzenia
- Można umocować na statywie fotograficznym
- Stosunkowo duże pole widzenia

## Znakomity układ do

- obserwacji zakryć
- rejestrowania pozycji asteroid i planet
- pomiarów blasku gwiazd

## Przykład:

- obiektyw Zenith  $f=50\text{mm}$ ,  $f/2$ , gwint M42
- cena w komisie 30zł !
- pole widzenia  $4^\circ \times 3^\circ$
- zasięg do  $10^m$
- pomiar blasku gwiazd do  $7^m$  z precyzją  $0,1^m$

## Wskazówki:

- obiektywy bagnetowe trudniejsze do zamocowania
- złączka ASTROKRAK do kamer Philipsa i obiektywów M42 - 35zł + VAT



# Hardware + software

---

## Hardware

- dowolny PC ze złączem USB
- starsze kamery wykorzystywały port LPT

## Software (Windows 95/98/Me/NT/2000/XP, Linux)

- **rejestracja obrazu**
  - dowolny program rejestrujący pliki BMP lub AVI
- **obróbka wstępna**
  - redukcja szumu, dodawanie klatek itp.
- **analiza danych**
  - rozpoznawanie gwiazd
  - astrometria - pomiar położenia
  - fotometria - pomiar jasności
- **prezentacja graficzna**
  - dowolny program do obróbki zdjęć
- **programy pomocnicze**
  - interakcyjne mapy nieba (planetaria)
  - planowanie obserwacji itp.

<http://hep.fuw.edu.pl/~wrochna/astro>

# Kuchnia CCD

---

Sensor CCD w każdym pikslu zmienia liczbę zarejestrowanych fotonów w ładunek. Przy odczycie jego wartość przetwarzana jest do postaci cyfrowej.

W tańszych CCD mamy zwykle do dyspozycji 8 bitów, czyli wartości od 0 do 255.

Rejestrowany obraz może być zaburzony na różne sposoby.

- **Poszczególne elementy obrazu mogą być prześwietlone. !!!**  
Jeżeli naświetlenie piksli odpowiada liczbom większym od 255 to i tak wszystkim zostanie przypisana wartość 255.
- **Elementy obrazu mogą też być niedoświetlone - !!!**  
cała gama jasności będzie wyrażona jedynie przez kilka wartości, np. 0-5.
- **Różne piksele mogą mieć różne wzmocnienia -**  
takim samym jasnościom będą odpowiadały różne odczytane wartości.
- **Zerowemu naświetleniu może odpowiadać różna od zera wartość odczytana.**  
Jest to tzw tło instrumentalne (ang. *offset* lub *bias*). Może mieć ono dwie składowe
  - stałą - wynikającą z charakterystyki wzmacniacza, !!!
  - proporcjonalną do czasu naświetlania - wynikającą z prądu upływu.
- **Odczytana wartość może być zwiększona lub zmniejszona przez szum,**  
który także ma dwie składowe
  - o stałej dyspersji - będącą skutkiem odczytu,
  - statystyczną - proporcjonalną do pierwiastka czasu naświetlania. !!!

Ponadto obraz może być zaburzony przez drgania atmosfery (ang. *seeing*) !!!

Czynniki istotne dla kamer internetowych zaznaczono !!!

# Kuchnia CCD - “ciemna klatka”

Prąd upływu i offset wzmacniacza mogą wyprodukować jasne tło i sztuczne gwiazdy. Pozbywamy się ich odejmując *ciemną klatkę* (ang. *dark frame*) wykonaną przy zasłoniętym obiektywie.

Zdjęcie wykonane o północy,  $t=10s$ .

Zmodyfikowana kamera Vesta z oryginalnym obiektywem  $f=6mm$ .



# Fotografowanie Księżyca i planet

---

Zwykle nie brakuje nam światła i szum nie jest bardzo istotny.

Największym problemem jest *seeing*.

- Ustawiamy średnie wzmocnienie
- Dobieramy czas naświetlania tak, aby najjaśniejsze piksele miały wartość zbliżoną do 255.
- Rejestrujemy wiele (~100) klatek
- Wybieramy najostrzejsze (kiedy *seeing* był najlepszy)
- Nakładamy je na siebie (suma, średnia lub mediana) uwzględniając ew. przesunięcie
- Poprawiamy ostrość (*unsharp mask*)
- Dobieramy kontrast, jasność i kolory



pojedyncza klatka



efekt końcowy

# *Fotografowanie i pomiary gwiazd*

---

na przykładzie kamery Philips Vesta z obiektywem  $f=50\text{mm}$

## Fotografowanie

- ustawiamy **5 klatek/s**, wzmocnienie i czas na **AUTO**
- zapisujemy ~100 klatek obrazu - **niebo.avi**
- zapisujemy ~100 klatek z zasłoniętym obiektywem - **ciemno.avi**

## Obróbka wstępna

- przygotowujemy ciemną klatkę **ciemno.bmp** nakładając klatki z **ciemno.avi** dla każdego piksla licząc średnią arytmetyczną lub - lepiej - medianę z wszystkich klatek
- od każdej klatki obrazu **niebo.avi** odejmujemy ciemną klatkę **ciemno.bmp**
- nakładamy na siebie (licząc średnią) wszystkie “odjęte” klatki, uwzględniając przesunięcie spowodowane obrotem Ziemi

## Prezentacja graficzna

- dobieramy jasność i kontrast

## Analiza fotometryczna

- liczymy jasność aparaturową danej gwiazdy sumując piksele tworzące jej obraz
- przeliczamy na standardowe jednostki porównując ze znanymi gwiazdami

**1. pojedyncza  
klatka**



**2'.nałożenie**



**1'. rozjaśnienie  
nie pomaga**



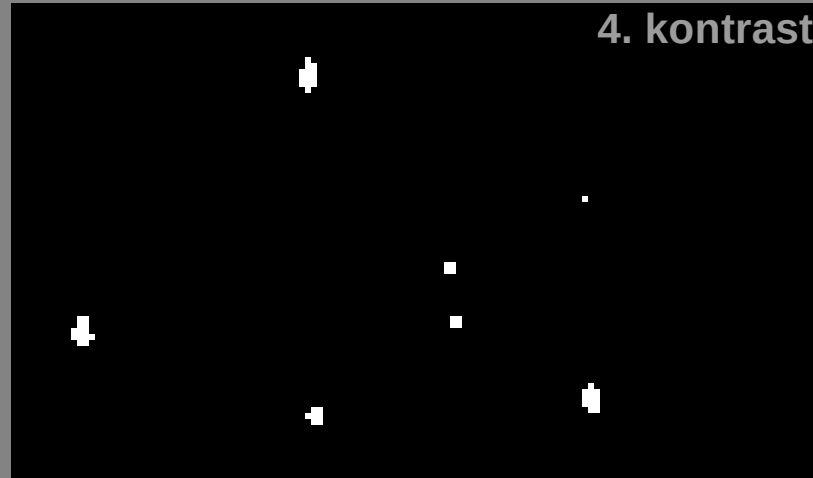
**3. nałożenie  
+przesunięcie**



**2. odjęcie  
ciemnej klatki**



**4. kontrast**



# *Jak obserwować zmienność gwiazd*

---

## Pomiary krótkookresowe

- wybieramy kilka krótkookresowych gwiazd
- wykonujemy kilka pomiarów na noc śledząc ruch gwiazd
- w ciągu kilku(nastu) dni - pełne krzywe blasku kilku gwiazd

## Pomiary długookresowe

- mierzymy wiele gwiazd każdej nocy
- wykonujemy po jednym pomiarze danej gwiazdy na noc
- po kilku miesiącach - pełne krzywe blasku wielu gwiazd

## Długookresowe pomiary automatyczne (“balkonowy ASAS”)

- pozostawiamy kamerę nieruchomą
- z obrotem Ziemi “przemiatamy” pas o szerokości  $\sim 4^\circ$
- inteligentne oprogramowanie może wykonywać automatycznie pomiary bardzo wielu gwiazd

# Odkrywamy gwiazdy nowe

---

- W roku 2001 zaobserwowano 8 wybuchów gwiazd nowych
- 5 z nich jaśniejszych niż  $8^m$ , a więc w zasięgu naszego sprzętu
- 2 odkrył amator posługujący się tylko lornetką (+1 w 2000)
- dokonał tego, gdyż zapamiętał kilkaset konfiguracji gwiazd
- znakomite zadanie dla komputera
- pole do popisu dla pasjonatów programowania
- zamiast tracić czas na głupie gry komputerowe wyruszmy na prawdziwe Gwiazdne Łowy
- co 1,5 miesiąca nowa gwiazda nowa czeka na odkrywcę
- być może znajduje się on właśnie na tej sali