

Festiwal Nauki, 27.09.2003

# Nagroda Nobla w dziedzinie fizyki 2002



*prezentuje:* Grzegorz Wrochna  
Instytut Problemów Jądrowych w Warszawie  
<http://hep.fuw.edu.pl/~wrochna/lectures/>



**Raymond Davis Jr**



**Masatoshi Koshiwa**

**Za pionierski wkład do astrofizyki,  
w szczególności za detekcję neutrin kosmicznych**



**Riccardo Giacconi**

**Za pionierski wkład  
do astrofizyki,  
który doprowadził  
do odkrycia  
kosmicznych źródeł  
promieni X**

# Dwa nowe okna na Wszechświat

Ziemia znajduje się na drodze ciągłego strumienia cząstek kosmicznych i innych rodzajów promieniowania.

Tegoroczni Laureaci [...] wykorzystali najmniejsze ze składników Wszechświata aby powiększyć nasze zrozumienie tych największych:  
Słońca, gwiazd, galaktyk i supernowych.

Ta nowa wiedza zmieniła sposób w jaki patrzymy na Wszechświat.

# Dlaczego Słońce świeci?

- Do atmosfery Ziemskiej dociera  $1340 \text{ W/m}^2$
- Słońce emituje  $L = 4 \cdot 10^{26} \text{ W} = 4\,200\,000 \text{ ton} \cdot \text{c}^2/\text{s}$   
polskie elektrownie:  $9 \cdot 10^{10} \text{ W}$

## ◆ początek XX w. – energia grawitacyjna

- $M=10^{30} \text{ kg}$ ,  $R=7 \cdot 10^8 \text{ m} \Rightarrow E_{\text{grav}} / L \sim 10^6 \text{ lat}$

## ◆ 1920 – Eddington: synteza jądrowa $\text{H} \rightarrow \text{He}$

## ◆ 1938 – Bethe:

- $^1\text{H} + ^1\text{H} \rightarrow ^2\text{D} + \text{e}^+ + \nu$
- $^2\text{D} + ^1\text{H} \rightarrow ^3\text{He} + \gamma$
- $^3\text{He} + ^3\text{He} \rightarrow ^4\text{He} + ^1\text{H} + ^1\text{H}, \dots$

Ale jak to sprawdzić?





# Neutrina słoneczne

- We Wszechświecie jest miliard razy więcej  $\nu$  niż p
- Na Ziemię pada  $10^{10} \nu/\text{cm}^2/\text{s}$
- Odziałuje jedynie 1 / 100 000 z nich

## Jak je zarejestrować?

- Pomysł Bruno Pontecorvo (1946)



- Realizacja Raymond Davis Jr

- $\square$  eksperyment przy reaktorze w Brookhaven ~1950
- $\square$  detektor neutrin słonecznych w Homestake 1967



# Neutrino z reaktora w Brookhaven

- ❑ 3900 litrów  $\text{CCl}_4$  jako tarcza
- ❑ Ar zabierany przez bąblujący He
- ❑ absorbowany przez ciekły N
- ❑ rozpad  $^{37}\text{Ar}$  wykrywany licznikiem

~1950



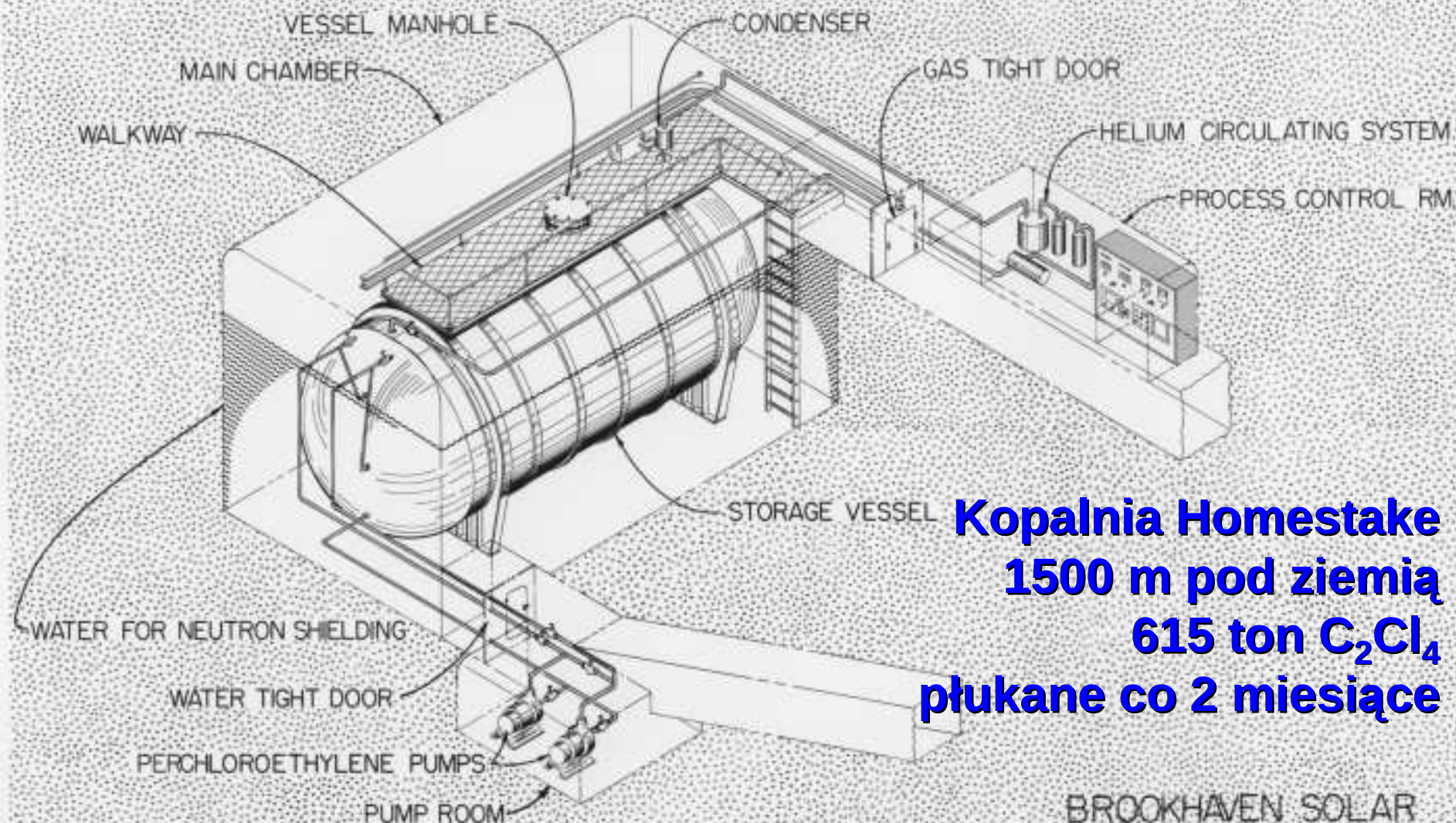




**Testy bąblarki He  
w basenie w Brookhaven**



# Detektor neutron słonecznych



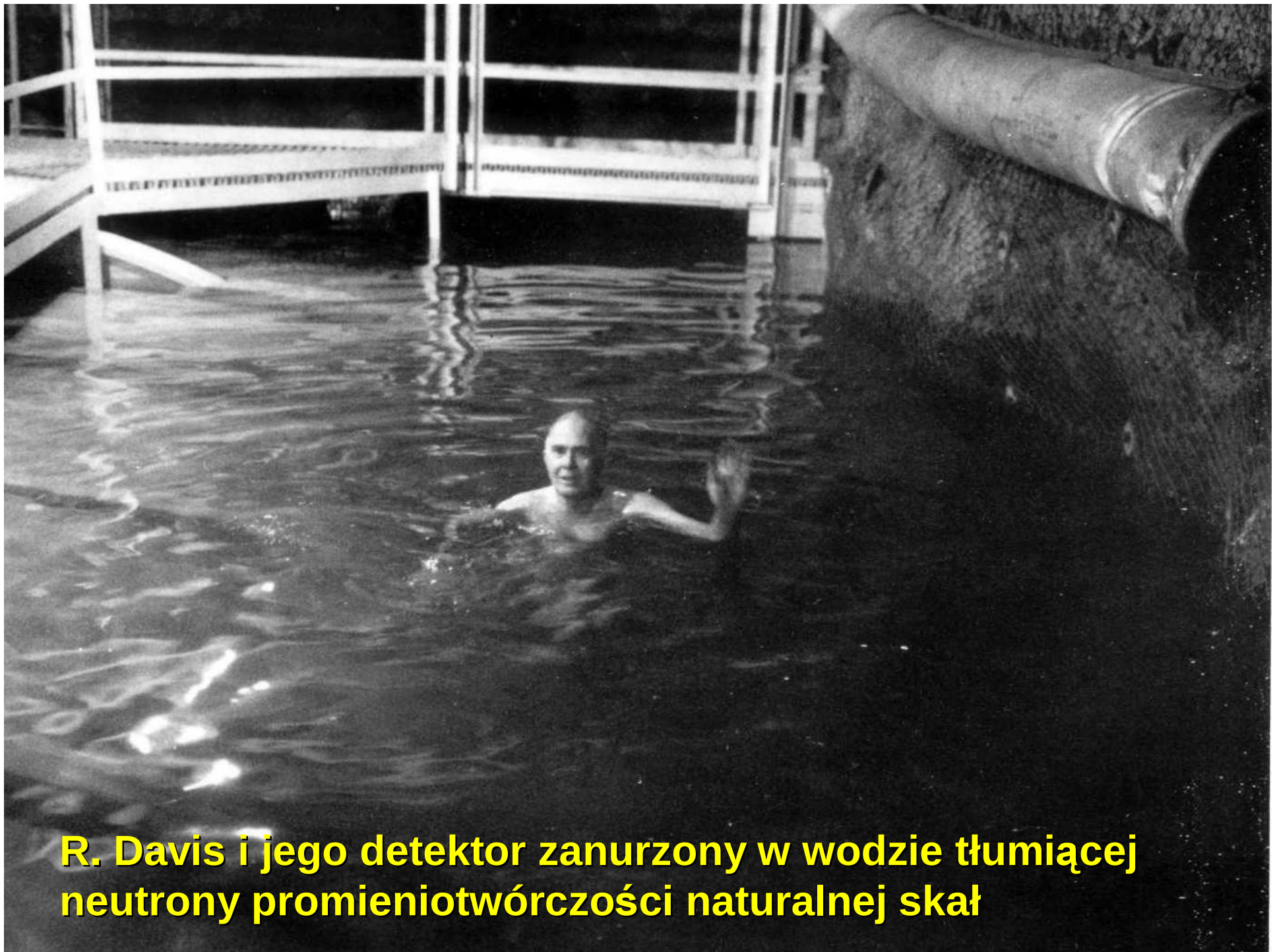
**Kopalnia Homestake**  
**1500 m pod ziemią**  
**615 ton  $C_2Cl_4$**   
**płukane co 2 miesiące**

BROOKHAVEN SOLAR  
NEUTRINO OBSERVATORY  
DRAWN BY A. C. FINOCCHIO 5-23-65



# Detektor Homestake w budowie

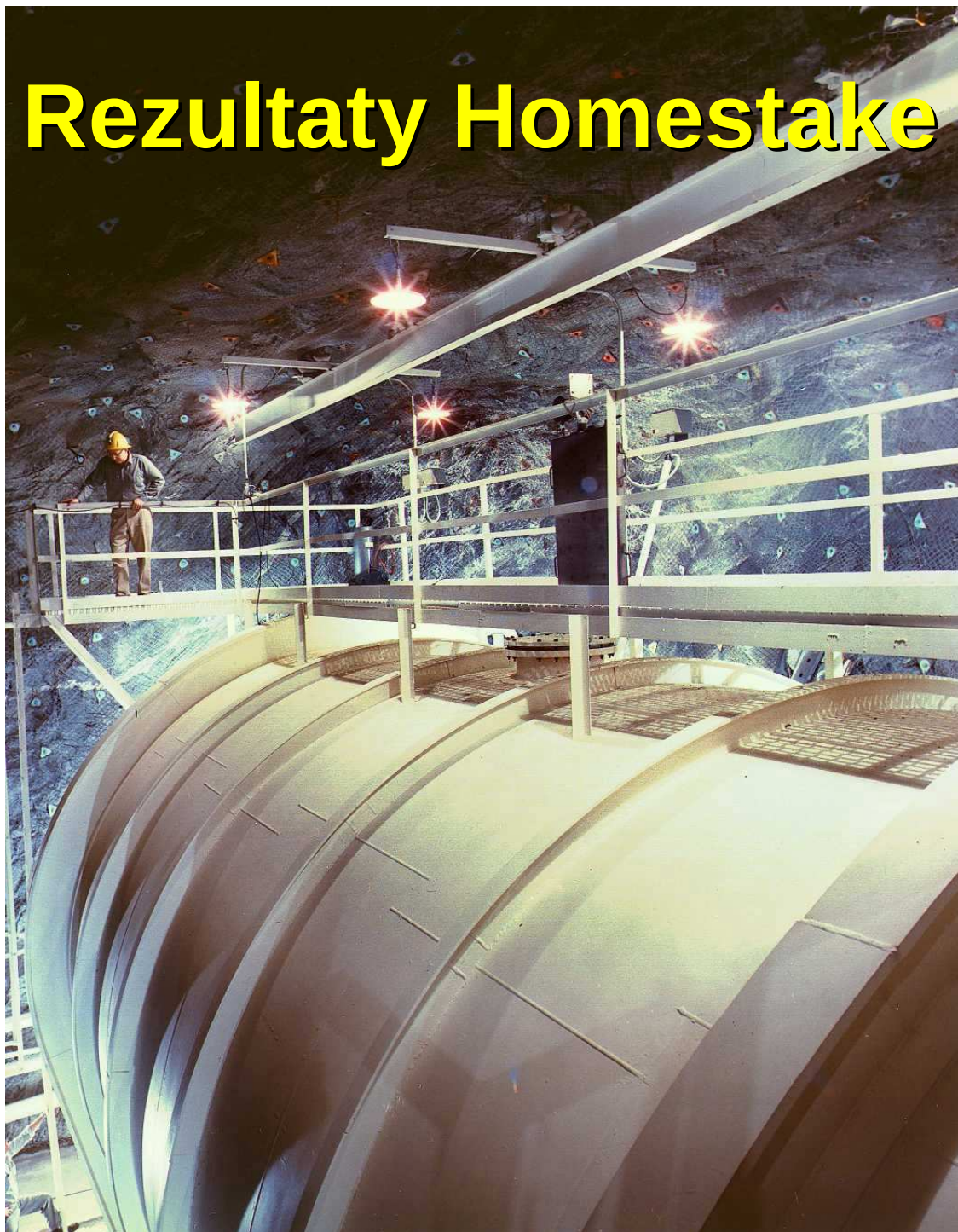




**R. Davis i jego detektor zanurzony w wodzie tłumiącej  
neutrony promieniotwórczości naturalnej skał**



# Rezultaty Homestake



Co 2 miesiące  
17 atomów Ar  
spośród  $2 \cdot 10^{30}$  Cl  
615 ton  $C_2Cl_4$

Pierwszy wynik w 1968:  
**< 3 SNU**

Teoria: 20 SNU !!!

$SNU \approx 1$  wychwyt /  $10^{36}$  atomów

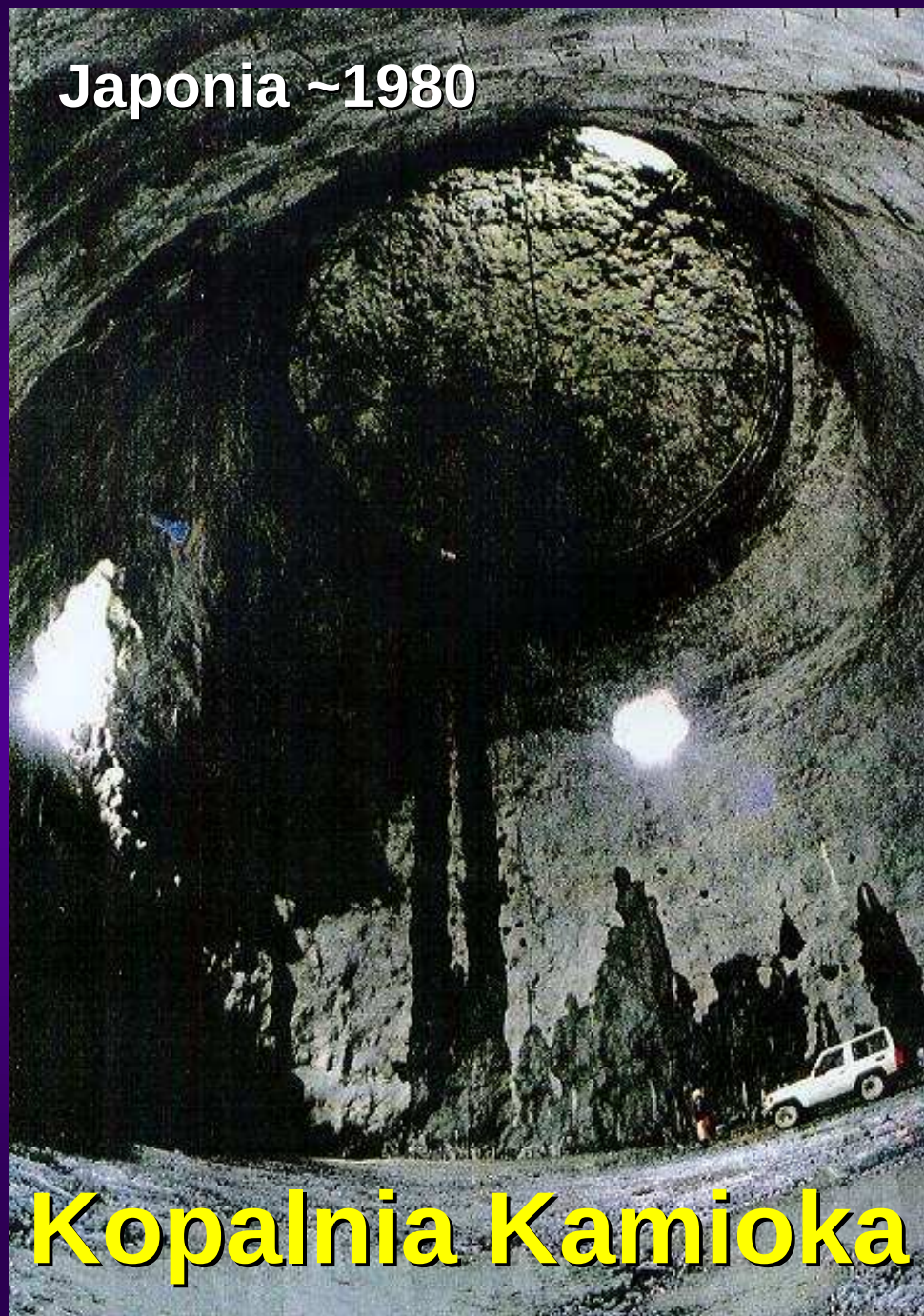
Nieprzerwana praca  
1967-1994

Znaleziono łącznie  
1997 atomów Ar

Końcowy wynik:  
 **$2.56 \pm 0.16 \pm 0.16$  SNU**  
Teoria:  $8.6 \pm 1.2$  SNU



Japonia ~1980



**Kopalnia Kamioka**



**Masatoshi Koshiba** buduje  
**KAMIOKA Nuclen Decay**  
**Experiment** poszukujący  
rozpadu protonu

- 2140 ton wody
- 1100 fotopowielaczy  
o średnicy 50cm

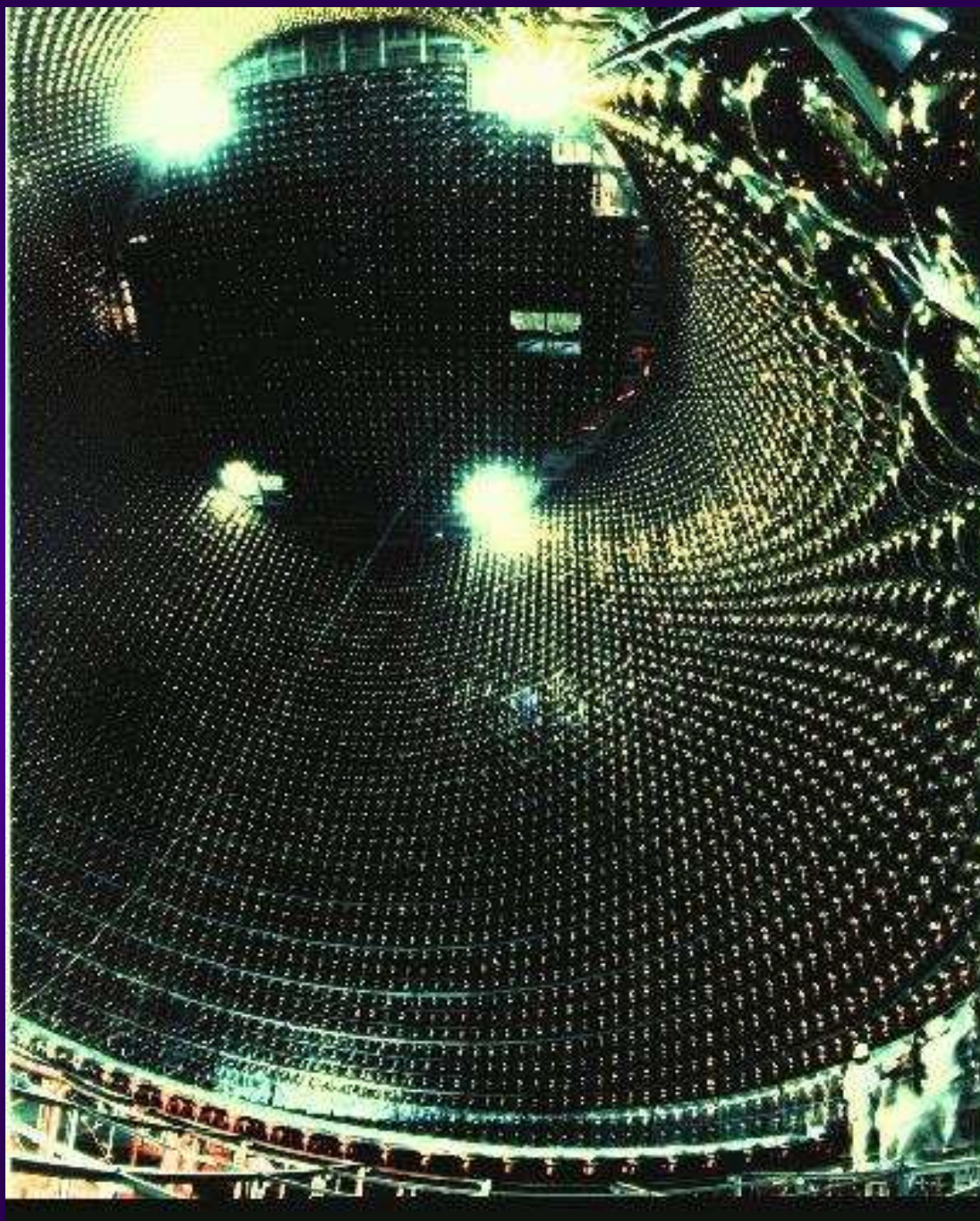
Produkty rozpadu emitują w  
wodzie promieniowanie  
Czerenkowa rejestrowane przez  
fotopowielacze



# Fotopowielacz Kamiokande



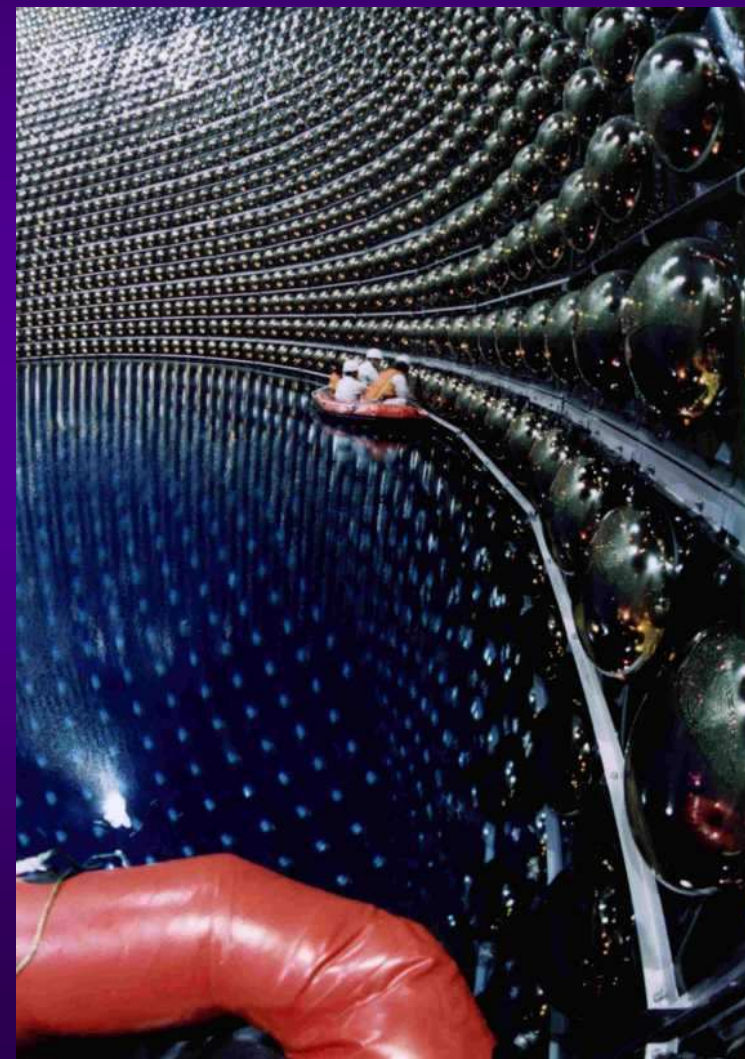




W 1996 rusza

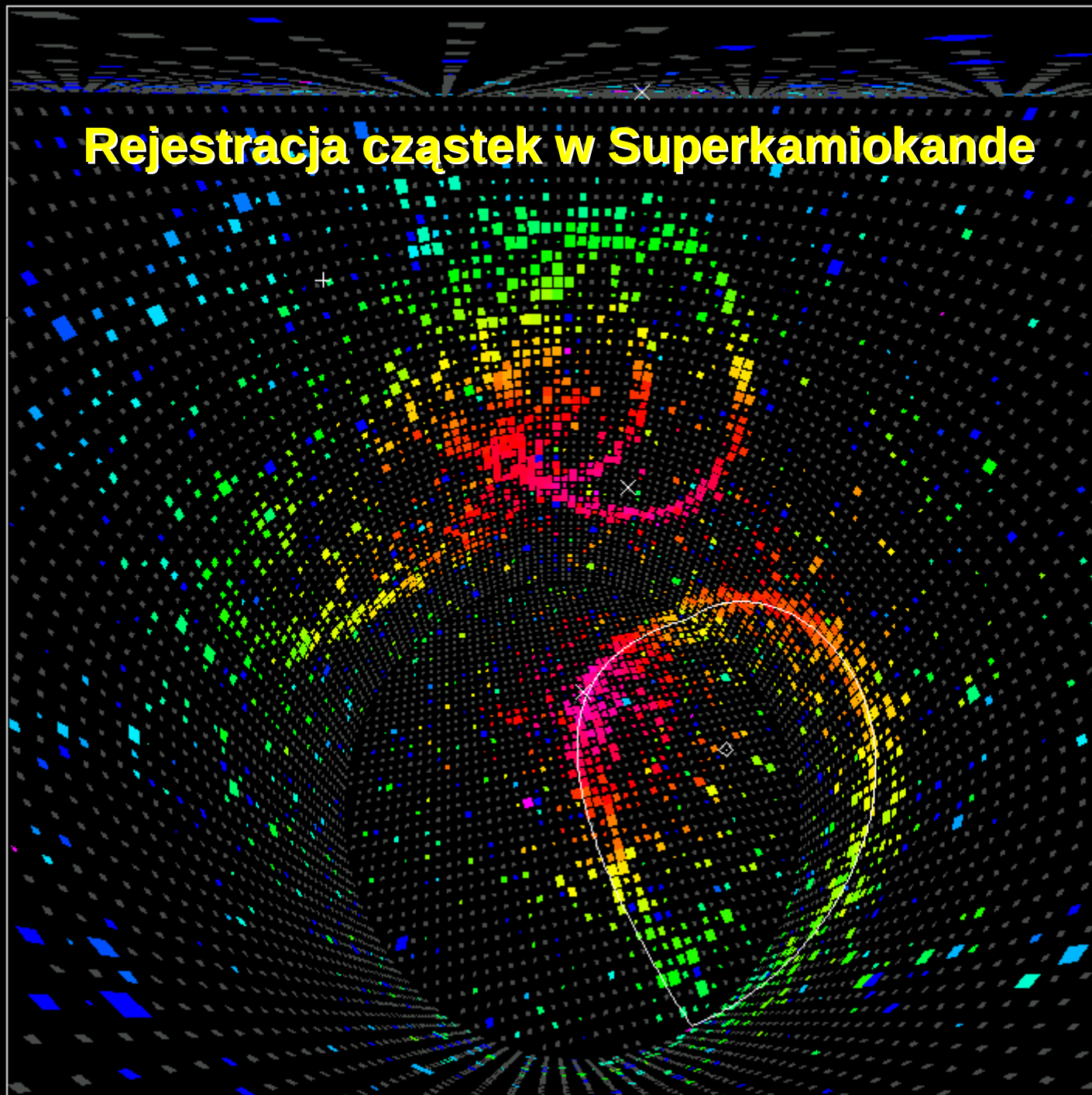
## **Superkamiokande**

- 50 000 ton wody
- 11 000 fotopowielaczy





# Rejestracja cząstek w Superkamiokande



# Rozpad protonu - wyniki

W Superkamiokande nie udało się zaobserwować rozpadu protonu

Uzyskano limity na czas życia

- ◆  $p \rightarrow \pi^0 e^+$  :  $> 7.3 \cdot 10^{33}$  lat
- ◆  $p \rightarrow \pi^0 \mu^+$  :  $> 6.1 \cdot 10^{33}$  lat
- ◆ ...

Wyeliminowano najprostsze teorie Wielkiej Unifikacji (SU5) przewidujące m.in..

- ◆  $p \rightarrow \pi^0 e^+$  :  $\sim 10^{32}$  lat



# Neutrinowy portret Słońca



**Superkamiokande rejestruje neutrina  
i mierzy ich kierunek**

# Zagadka neutrin słonecznych

1968 – Homestake stwierdza deficyt  $\nu$  słonecznych

1980 – Kamiokande potwierdza ~50% deficyt

1990 – Kamiokande obserwuje niedobór  $\nu_\mu$   
produkowanych w atmosferze

⇒ podejrzenie oscylacji

1998 – Superkamiokande stwierdza oscylacje

- atmosferyczne:  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$

- słoneczne:  $\nu_e \rightarrow \nu_\mu, \nu_\tau$

zależności energetyczne, kątowe, dobowe, sezonowe

2001 – Sudbury Neutrino Observatory

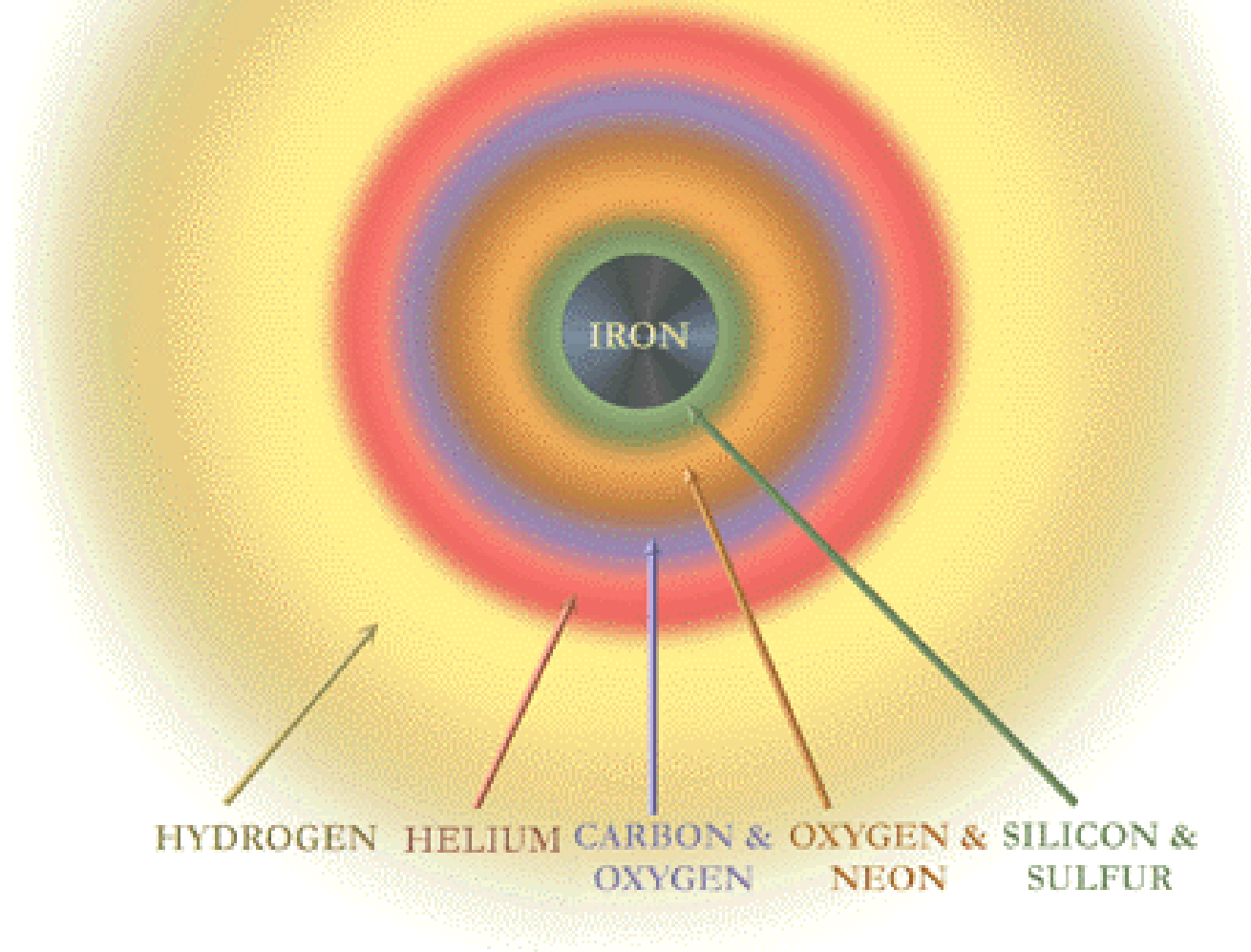
obserwuje  $\nu_\mu, \nu_\tau$  ze Słońca

*Zagadka  $\nu$  słonecznych definitywnie rozwiązana!*



# Historia pewnej gwiazdy

- ◆ 170 000 lat temu w Wielkim Obłoku Magellana pewna gwiazda o masie  $\sim 10 M_{\text{Słońca}}$  dopala resztki paliwa jądrowego



# Historia pewnej gwiazdy

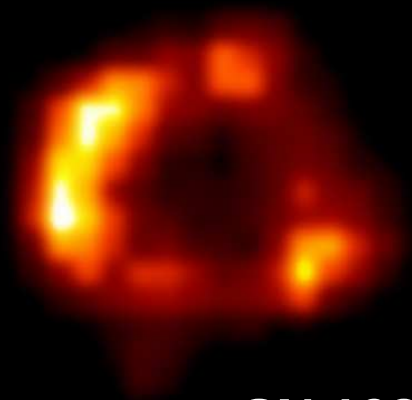
- ◆ Nagle żelazne jądro o masie  $\sim M_{\text{Słońca}}$  i promieniu  $\sim R_{\text{Ziemi}}$  w ciągu ułamka sekundy kurczy się do  $R \sim 10$  km tworząc gwiazdę neutronową ...
- ◆ Zewnętrzne warstwy zapadają się i z prędkością  $\sim c/3$  odbijają się od jądra
- ◆ Przeciwbieżne strumienie materii zderzają się
- ◆ Wytworzona fala uderzeniowa brnie przez materię wytwarzając pierwiastki cięższe od Fe
- ◆ Wreszcie odrzuca najbardziej zewnętrzne części gwiazdy



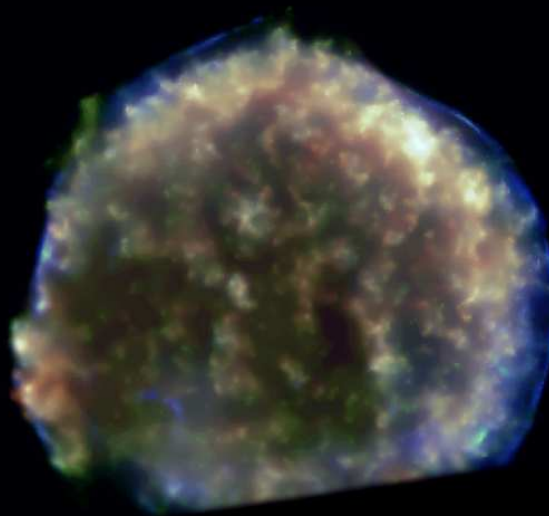
# Historia pewnej gwiazdy

- ◆ Wyzwolona energia  $\sim 3 \cdot 10^{46}$  J jest w 95-99% unoszona przez  $\nu$
- ◆ 24.02.1987  $\gamma$  i  $\nu$  docierają do Ziemi
- ◆ Ziemianie mogą gołym okiem obserwować wybuch supernowej po raz pierwszy od roku 1604
- ◆ Spośród  $10^{20}$   $\nu$ , które przeszły przez Ziemię, Kamiokande rejestruje 12, a IMB – 8.

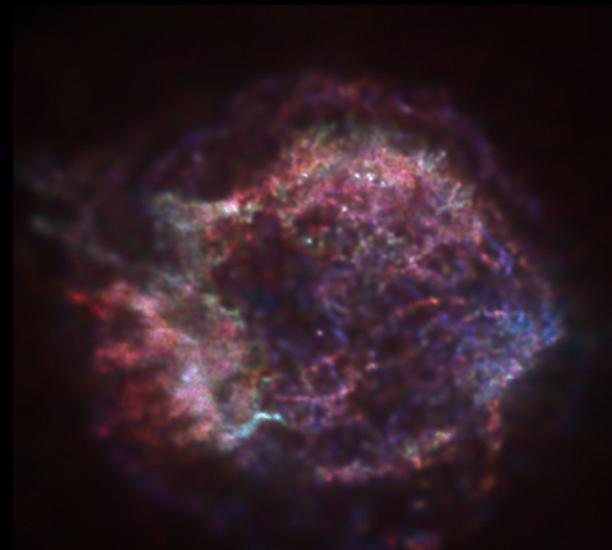
## Galeria supernowych (X)



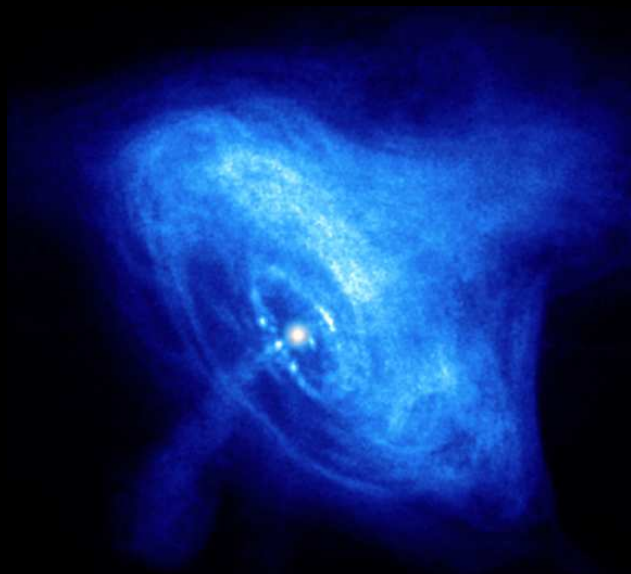
SN 1987



SN 1572



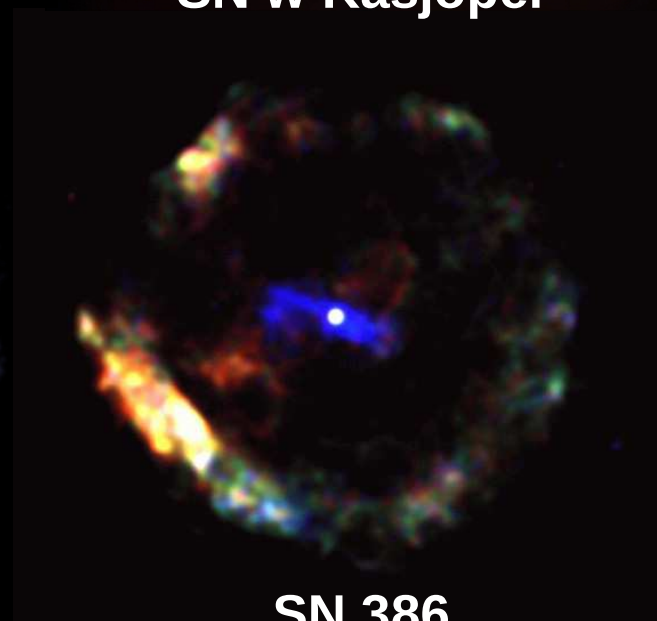
SN w Kasjopei



Krab



SN 386



# Astronomia roentgenowska

1895 – Wilhelm Röntgen odkrywa promienie X

- pierwsza nagroda Nobla – 1901
- następne: 1912, 1914, 1917, 1924, 2002

Zastosowania:

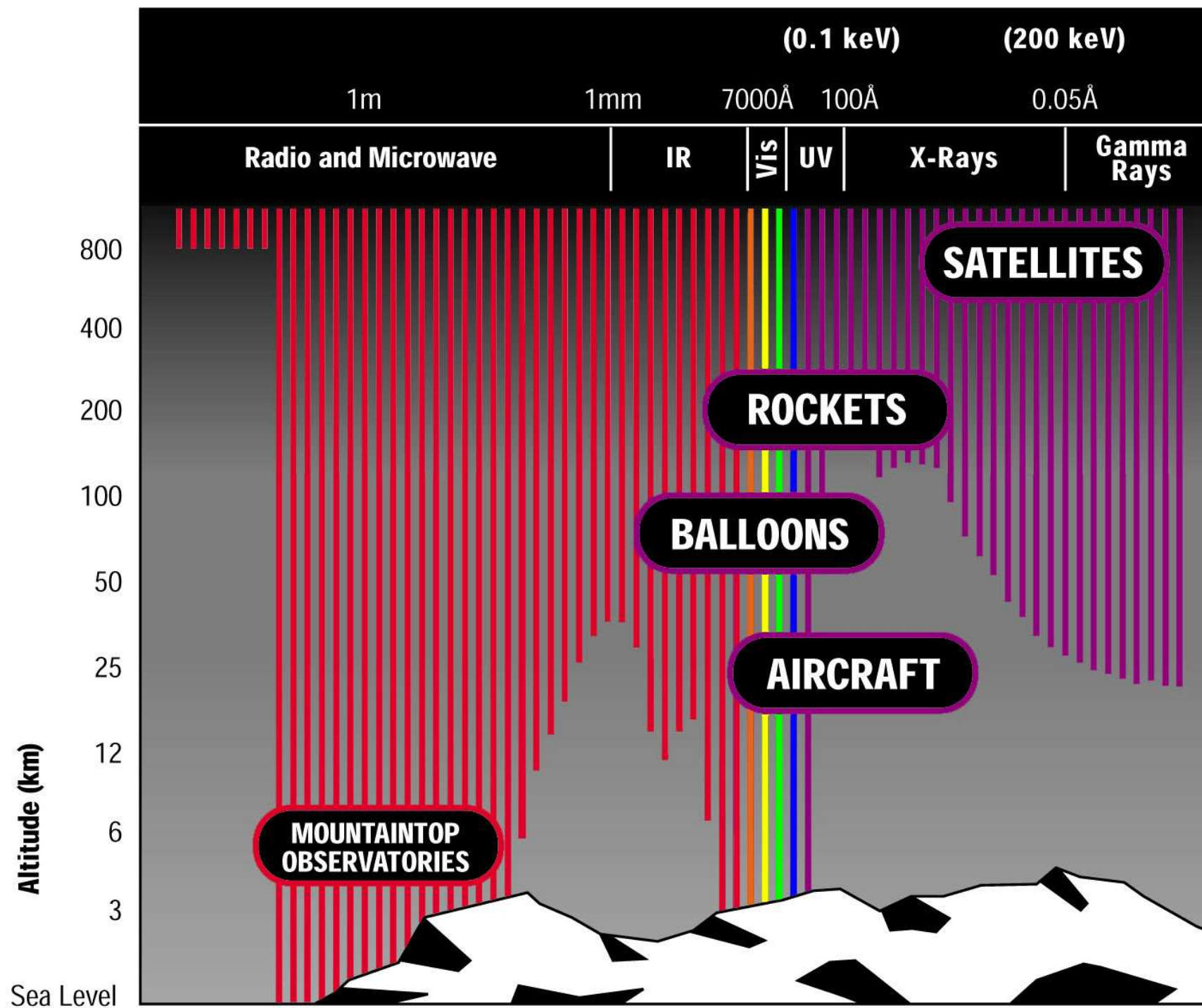
- medycyna
- technika

Kosmiczne promienie X  
trudne do detekcji

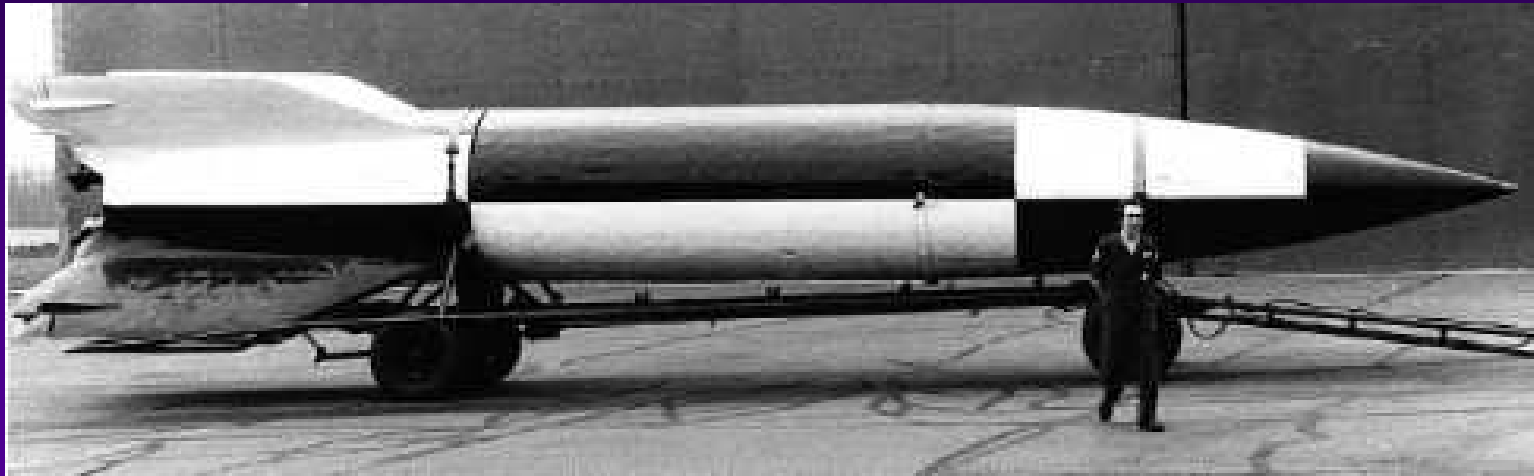
- tłumione przez atmosferę
- pochłaniane przez zwierciadła







# Słoneczne promienie X



**1949** - Herbert Friedman (MIT) wykrywa słoneczne X licznikiem Geigera zamontowanym w rakiecie V2

Natężenie tak słabe, że potrzeba 100x czulszego detektora by wykryć promienie X od najbliższej gwiazdy

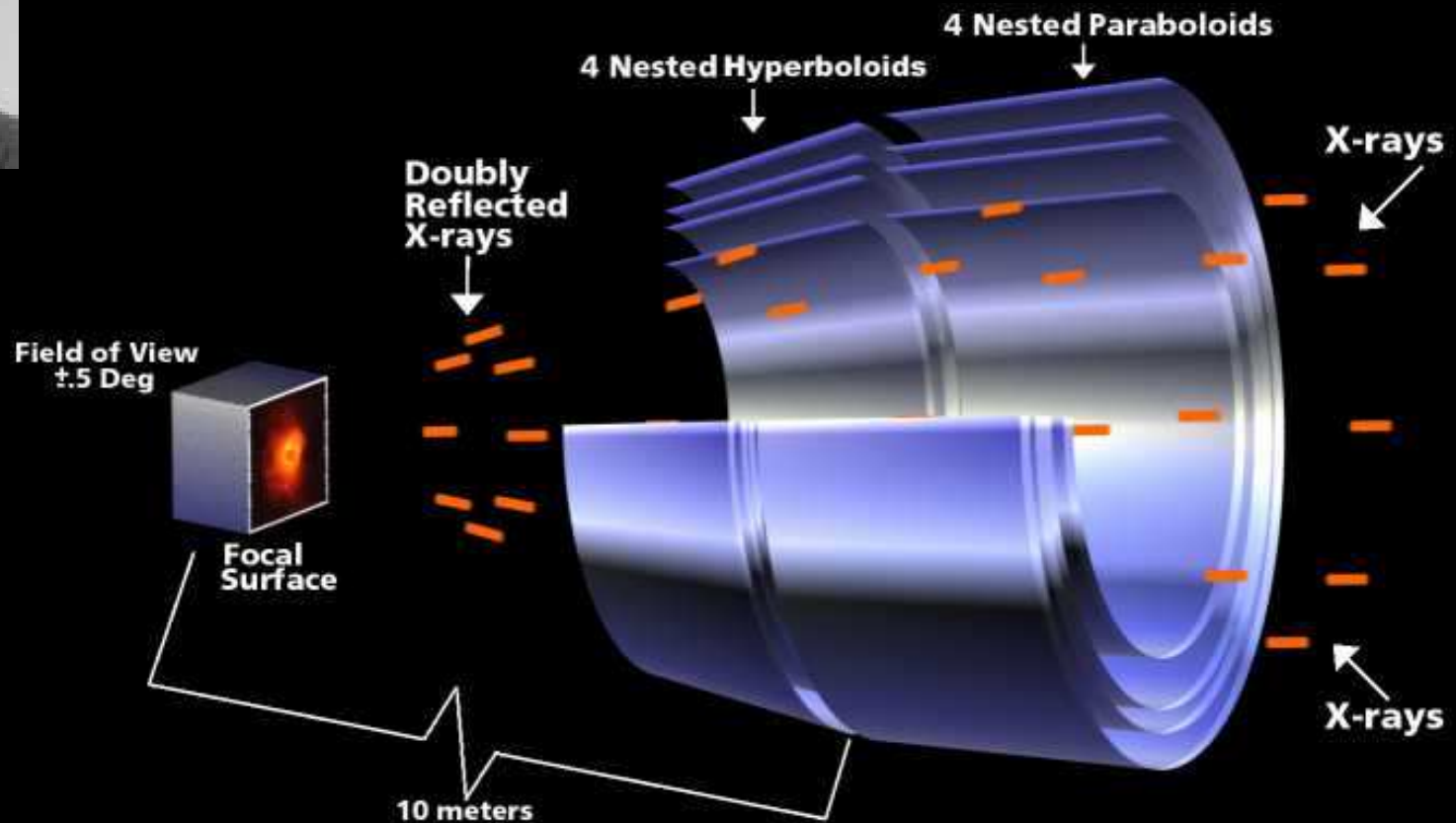
**1958** – wykorzystuje zaćmienie Słońca i stwierdza, że promienie X pochodzą z plam i z korony

**1960** – T.A.Chubb fotografuje Słońce *camera obscura* - obraz rozmyty przez obrót rakiety

# Roentgenowski teleskop



W 1960 **Riccardo Giacconi** proponuje użyć „pociętego” zwierciadła parabolicznego odbijającego promienie X pod małym kątem



Mirror elements are 0.8 m long and from 0.6 m to 1.2 m diameter



# Roentgenowski teleskop

- ◆ Giacconi zdobywa fundusze na prototyp „dla medycyny”
- ◆ Pierwsza konstrukcja z płyt Pb waży kilka ton
- ◆ Kolejny prototyp proponuje wystrzelić w rakiecie
- ◆ Pretekstem jest przebadanie Księżyca przez wyprawą Apollo
- ◆ Teleskop ciągle zbyt ciężki, więc lecą 3 liczniki Geigera
- ◆ 1962 – start rakiety Aerobee



# Kosmiczne źródła X

**18.06.1962** liczniki Aerobee rejestrują  
**100 fotonów X/s:**

- ◆ kosmiczne źródło X: **Scorpius X-1**
- ◆ emituje 1000x więcej energii X niż widzialnej!

**Dwa kolejne źródła:**

- ◆ **Cygnus X-2**
- ◆ **Mgławica Krab**
  - zidentyfikowana dzięki zakryciu przez Księżyc
  - emituje  $10^{10}$  x więcej energii X niż Słońce

# Kosmiczne źródła X

## Nowe techniki

- ◆ liczniki proporcjonalne
- ◆ kolimatory: rozdzielczość ~ sekunda łuku
- ◆ stabilizacja rakiet

## Nowe odkrycia

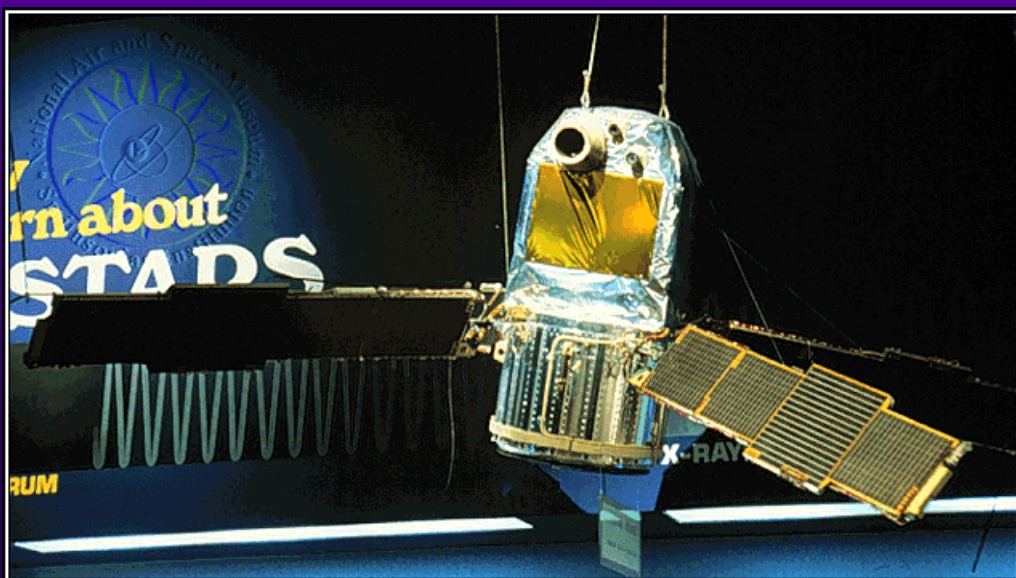
- ◆ 1965 – pierwsze pozagalaktyczne źródło X galaktyka M67 w Pannie (Friedman)
- ◆ 1966 – identyfikacja Scorpius X-1 z gwiazdą 13<sup>m</sup>
- ◆ 1967 – identyfikacja Cygnus X-2
- ◆ 196? – pulsacje X w Krabie w fazie z optycznymi (30s)
- ◆ 1965-1969 – 50 nowych źródeł X



# Satelita UHURU

1970 – start pierwszego satelity  
z teleskopem Roentgena  
projektu Giacconiego

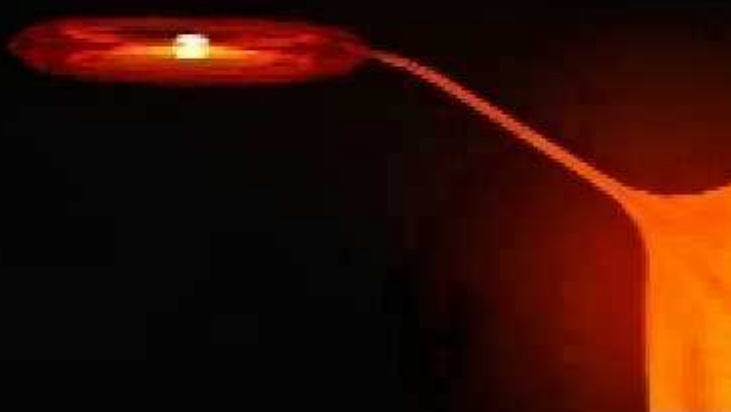
- ◆ 339 nowych źródeł
- ◆ rozwiązanie zagadki Centaurus X-1 i Scorpius X-1



# Zagadka Centaurus X-1 i Scorpius X-1

Ciasne układy podwójne typu  
gwiazda neutronowa - olbrzym

- ◆ GN wysysa materię z olbrzymą
- ◆ materia rozpędza się wokół GN tworząc dysk
- ◆ uderzając w powierzchnię GN emituje roentgenowskie promieniowanie hamowania



# Nowe satelity – nowe odkrycia

- ◆ **Cygnus X1 – układ podwójny z czarną dziurą**
- ◆ **Kwazary – czarne dziury w centrach galaktyk**
  - materia wirując spada na czarną dziurę
  - X emitowane wskutek zgniatania pola magnetycznego (nie może wpaść do dziury)
- ◆ **Gromady galaktyk**
  - skupiony przez grawitację gaz o  $T=10^{4-5}$  K
- ◆ **Reakcje termojądrowe na powierzchni gwiazd neutronowych**



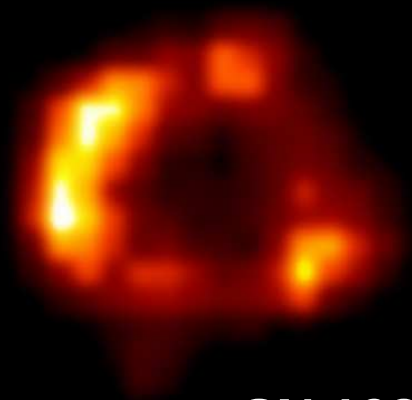
# Chandra

Satelita roentgenowski wystrzelony w 1999

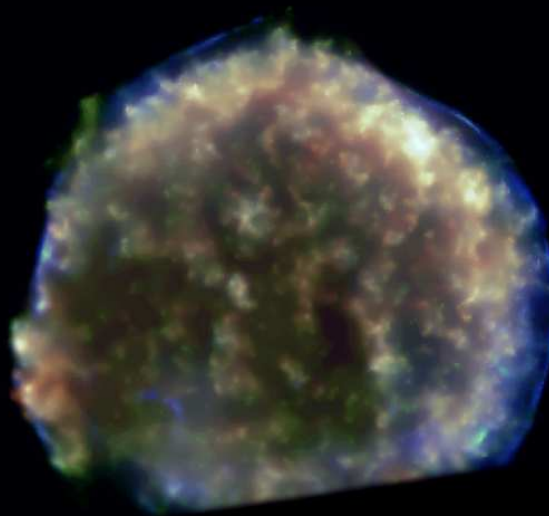
- ◆ Kamery CCD - rozdzielczość kątowna  $\sim 0.5''$
- ◆ Spektrometry X



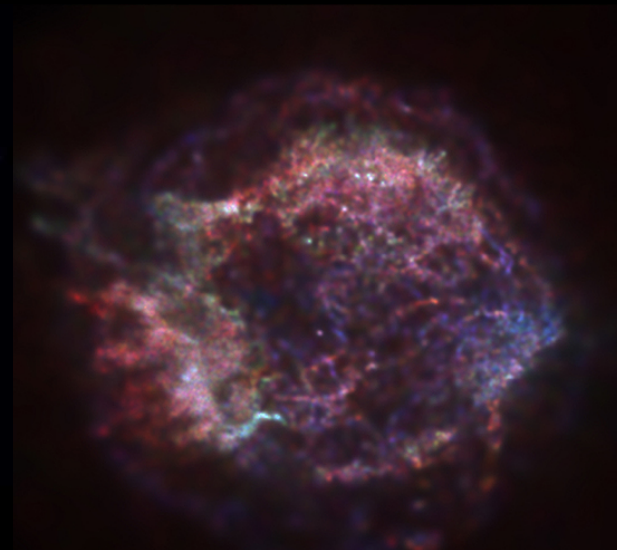
## Galeria supernowych (X)



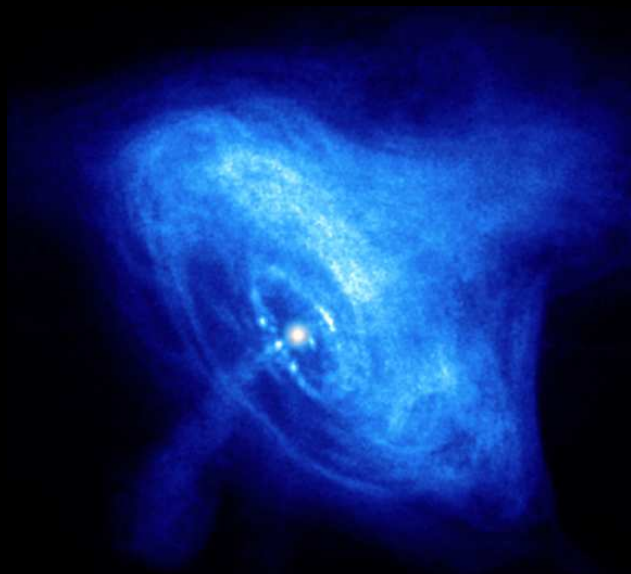
SN 1987



SN 1572



SN w Kasjopei



Krab



SN 386



# Wielcy wizjonerzy



Raymond Davis Jr

- ◆ **neutrino ze Słońca**
- ◆ **17 atomów Ar w 615 tonach  $C_2Cl_4$**



Masatoshi Koshihara

- ◆ **12 neutrin z supernowej na  $10^{17}$ , które trafiły w detektor**



Riccardo Giacconi

- ◆ **obrazy X z rozdzielczością 0.5"**
- ◆ **0.00003 fotonu X /  $cm^2$  / s z odległego kwazara**