

Panoptikum zaćmień

Jarosław Dyks

Centrum Astronomiczne
im. M. Kopernika PAN, Toruń



Fot. A. Pamiatnych

„Zaćmienia”: zaćmienia (wejścia w cień),
zakrycia, przejścia za tarczą (okultacje),
przejścia przed tarczą („tranzyty”),
wszelkie „zasłonięcia”,
a nawet “braki, dziury w emisji”

Tylko WYBRANE zaćmienia.

II wiek pne, Hipparch: pomiar długości geograficznej wymaga mierzenia absolutnego czasu (nielokalnego), tzn

Położenie ciał zależy od momentu obserwacji i długości geograficznej.
=> Pomiar azymutu ciał niebieskich daje długość, jeśli wiemy, która jest godzina (a która godzina? Też z azymutu?)

1567 – król hiszpański Filip II oferuje nagrodę za metodę określania długości geograficznej; Filip III podwyższa w 1598; dołączają Holendrzy, Anglicy, Francuzi...

Różne drogi do celu, np. Huygens (1659): tautochrona i modyfikacja wahadła

Wczesny typ zegara kosmicznego

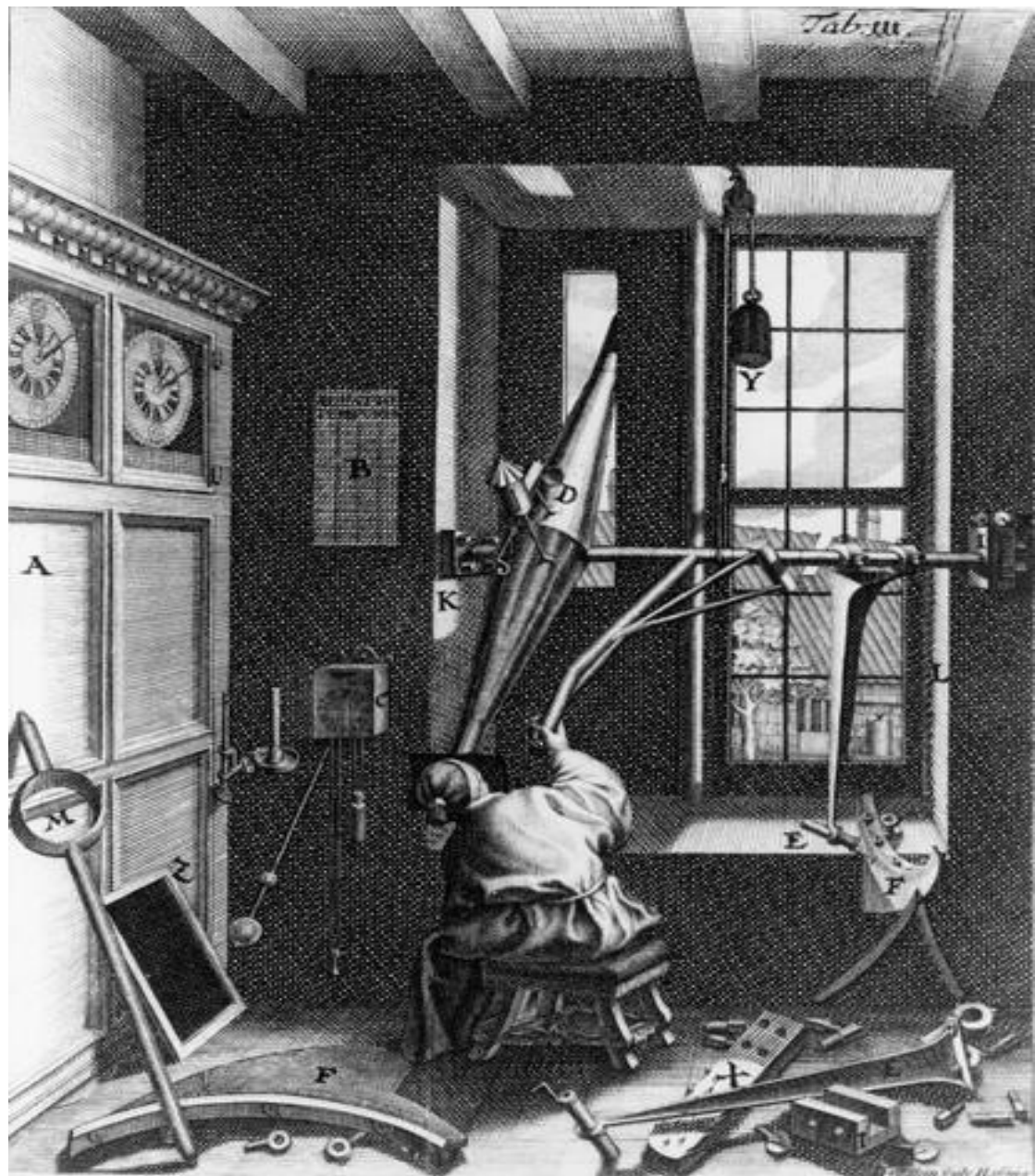


Okrętowe obserwacje niełatwe => metodę stosowano na lądzie

np.1671: Giovanni Domenico Cassini (Paryż) +

Jean Picard i **Ole Roemer** (Uraniborg, Hven)

(140 zaćmień)



1672: Roemer w Obserwatorium Królewskim w Paryżu jako asystent Cassiniego

Po ośmiu latach obserwacji wywnioskowuje, że nieregularności zaćmień wynikają ze skończonej wartości prędkości światła

22 sierpień 1676, Cassini, oświadczenie przed Francuską Akademią Nauk:
“11 minut zabiera światłu przebycie połowy średnicy ziemskiej orbity”

Prędkość światła z danych Roemera: Christiaan Huygens: $16 \frac{2}{3}$ średnic Ziemi na sekundę

Wynik nie akceptowany do roku 1727 (James Bradley, aberracja światła)

Późniejszy pomiar metodą Roemera:
1809, Jean Baptiste Joseph Delambre:
Przelot Słońce-Ziemia w 8 minut 12 sekund
(dzisiaj: 8 minut 19 sekund)

Do dzisiaj w chronometrażu pulsarów mówimy: “Roemer delay”

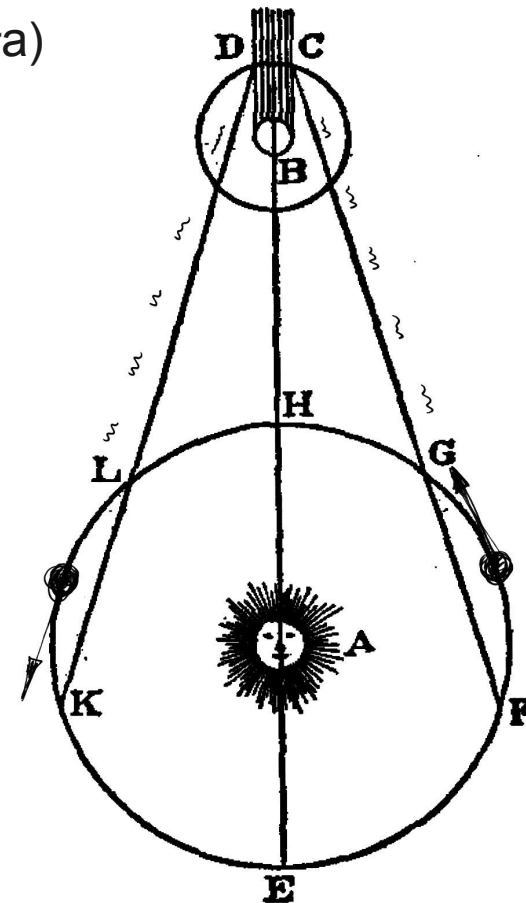


FIG. 70.

Wyspa Principe (Zach. Afryka,
Zatoka Gwinejska), 29 maj 1919

Arthur Stanley Eddington

(Również Sobral, Brazylia;
błąd: ogniskowanie w nocy
przed zaćmieniem)

Newton: 0.87" (Cavendish 1784)
(von Soldner 1801)

Einstein: 1.75" (1915)

Zaćmienie idealne:

- 6 minut (a nie dwie, jak w 1999)
- Słońce na tle Hlad!

Sobral: 1.98 +/- 0.16

Principe: 1.61 +/- 0.40

Hipparcos: Zgodność na poziomie:
1.001

Dzisiaj: AGNs and VLBI

Zgodność na poziomie 1.00001 +/-
0.000012

TRANZYT WENUS

W odstępach: 8, 121, 8 i 105 lat.

**Podobno: Avicenna (Persja), 24 maj 1032;
ale i Ibn Bajjah (Andaluzja), za którego żywota brak tranzytów...**

J. Kepler przewiduje: 1631 i 1761, blisko w 1639

Przewiduje też względne odległości planet, ale ile wynosi 1 AU?

**Jeremiah Horrocks: korekta: 4 grudzień 1639, “gdzieś o 3-ciej po południu”,
chmury czyszcza się o 15:15, godzinę przed zachodem
słońca (i o jeden dzień wcześniej)**

Szacuje rozmiar Venus oraz $1 \text{ AU} = 95.6 \text{ mln km}$ (dzisiaj 149.6 mln km)

**2004: skład chemiczny atmosfery (spektroskopowo)
i lekcja (trening) dla poszukiwaczy egzoplanet
(3 izotopologi CO_2 , wiatry atmosferyczne?)**

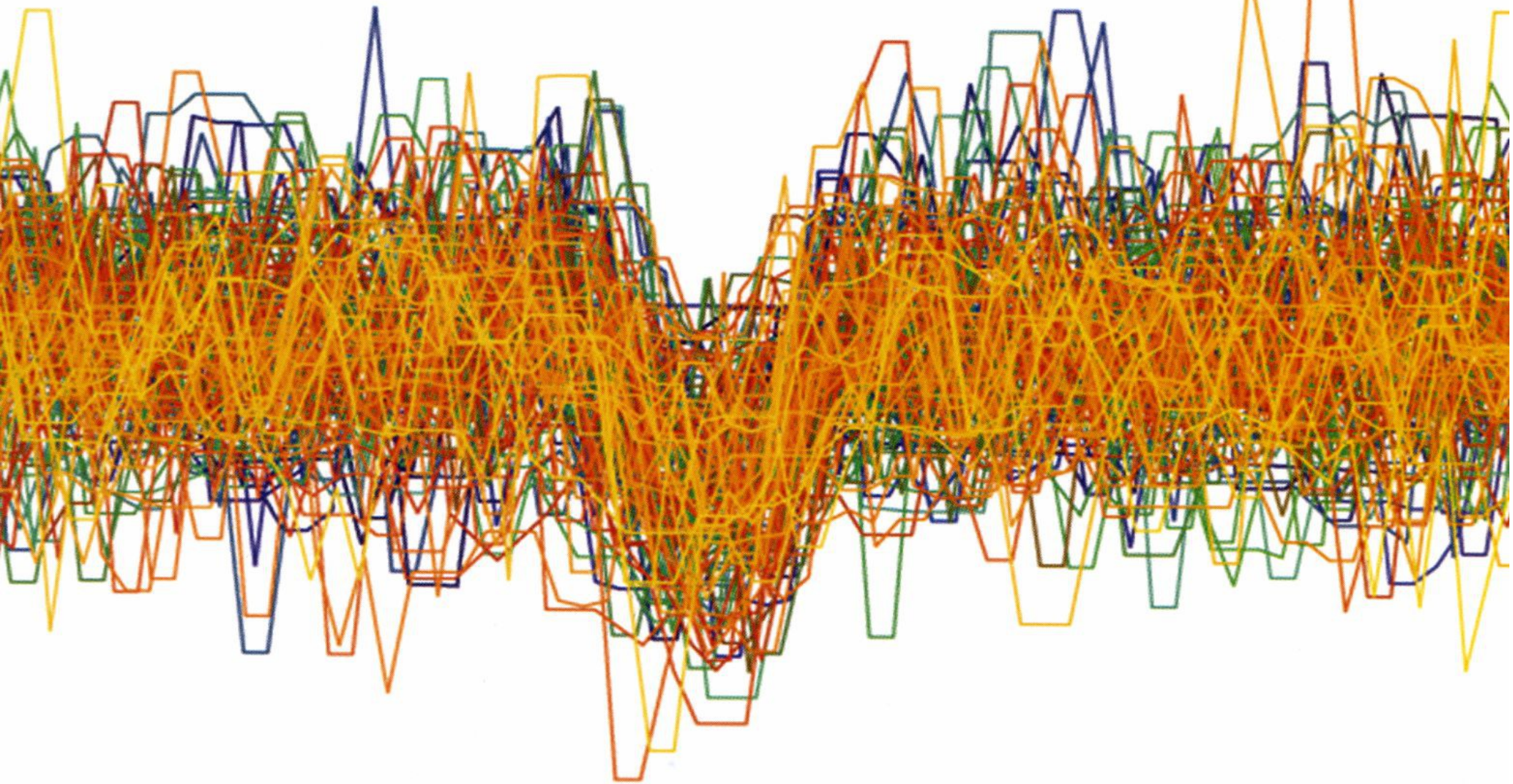
**koncepcja atmosfery: tranzyt 1761,
Michaił Łomonosow)**

**Spadek jasności
podczas tranzytu Venus: o 0.001 mag.**



Tranzyty planet pozasłonecznych

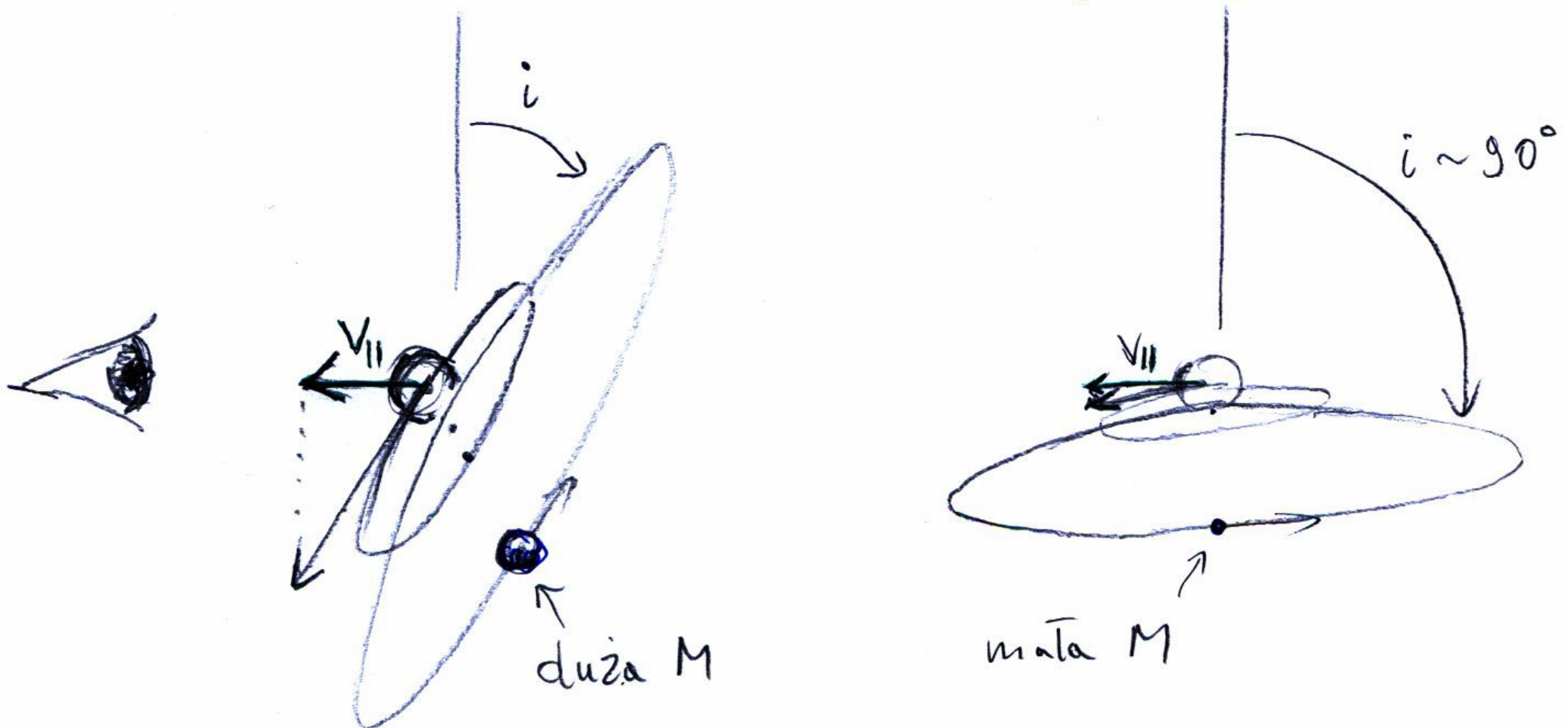
153 tranzyty planety CoRoT-7b; spadek strumienia: 0.034%



$M=3-10 M_z$, $R \sim 1.7 R_z$, $\rho = 5.6 \text{ g/cm}^3$, $a = 0.017 \text{ AU}$, $P_{\text{orb}} = 0.85 \text{ d}$, $i = 80^\circ$ st.

Masy plączą się nam z geometrią: zazwyczaj dostępne jedno równanie na M , M_2 oraz i

$$f(m) = \frac{P (v_2^{\text{amp}})^3 (1-e^2)^{3/2}}{2\pi G} = \frac{M^3 \sin^3 i}{(M+M_2)^2}$$



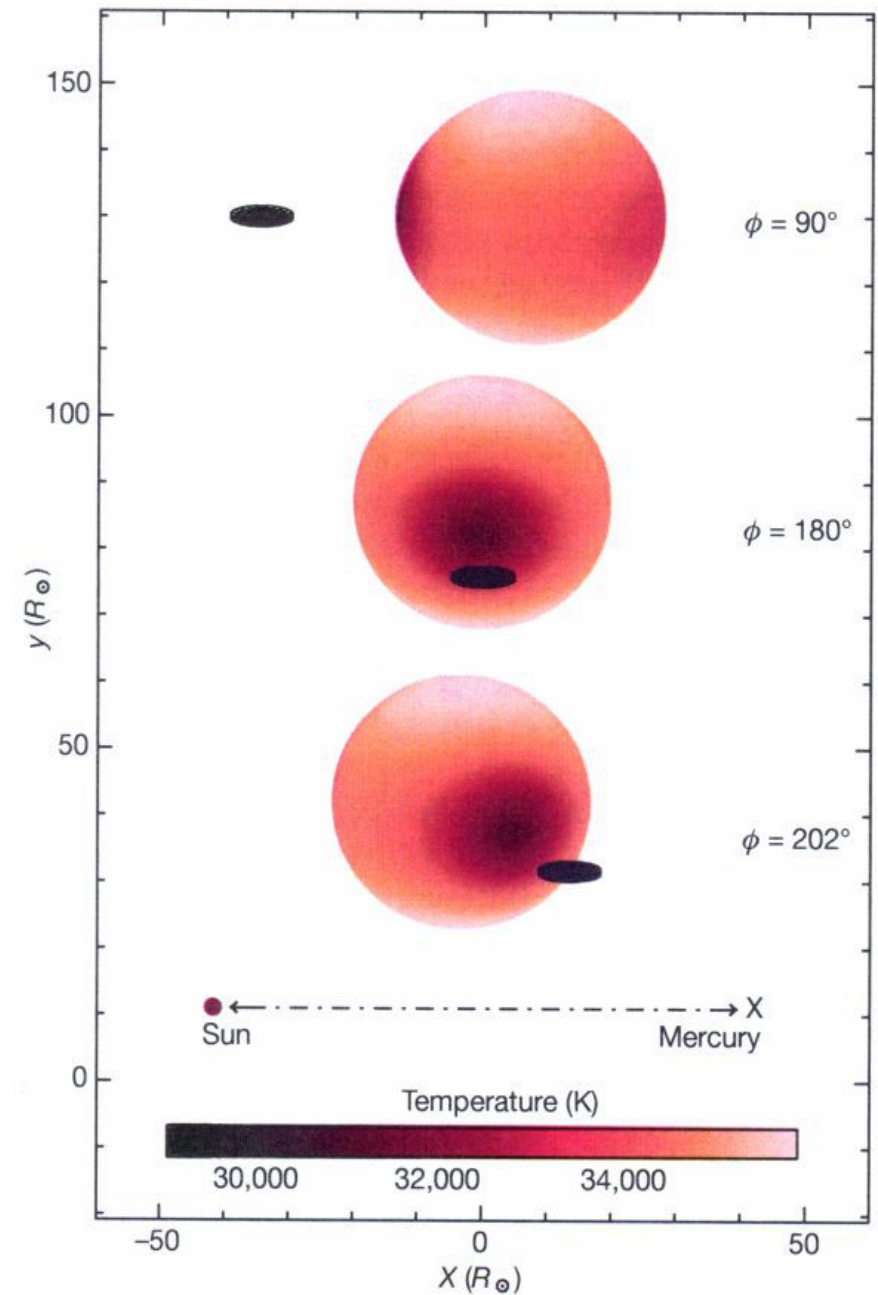
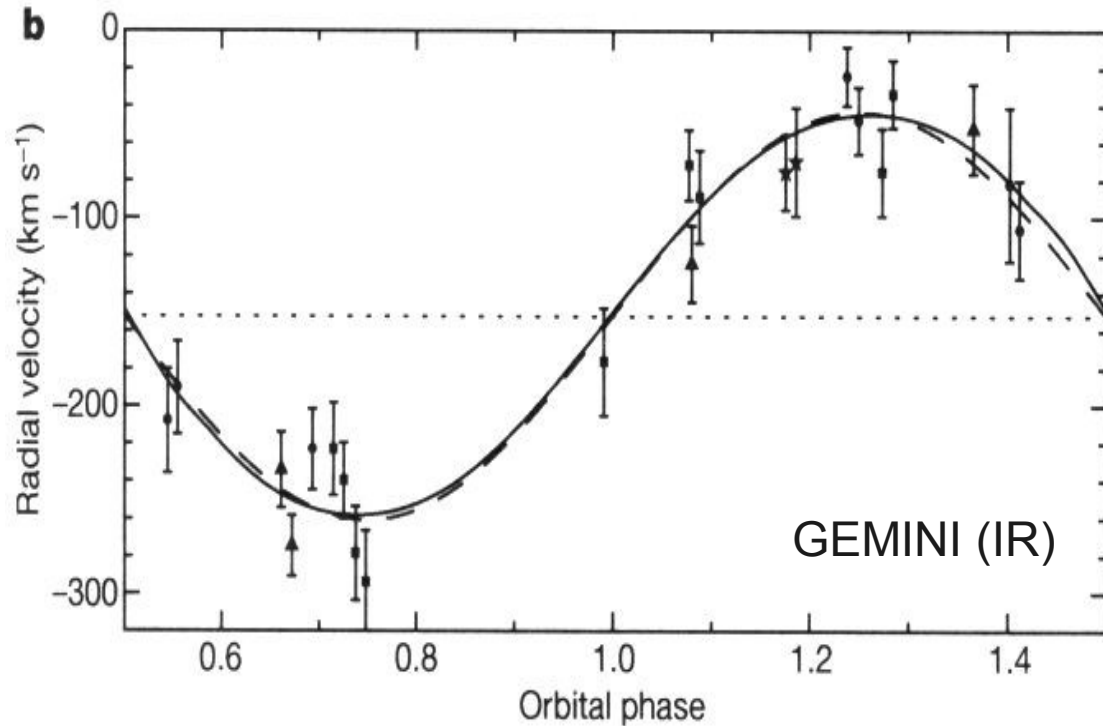
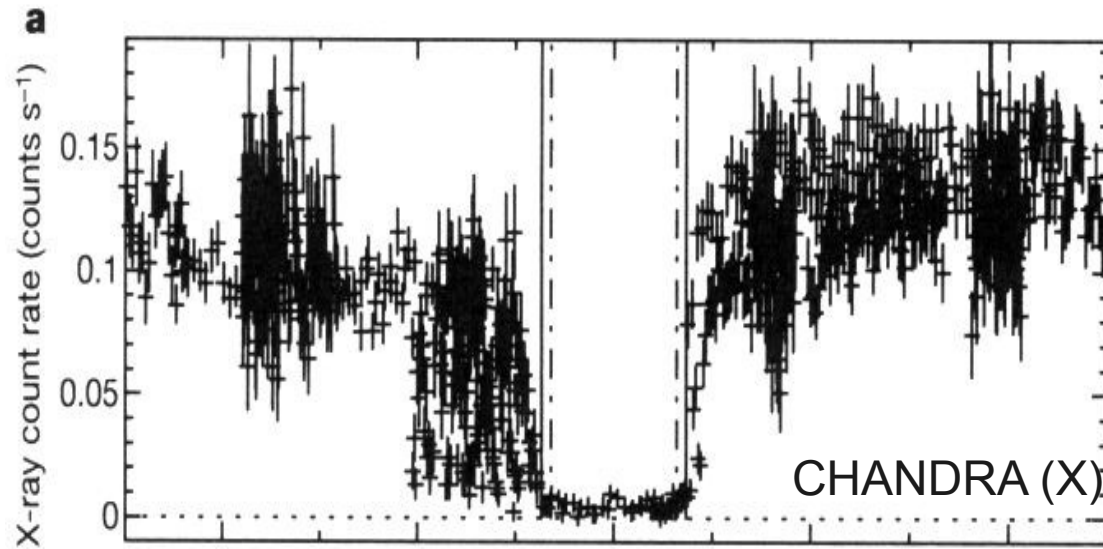
Dlatego wartościowe są układy zaćmieniowe ($i \sim 90^\circ$).

CZASAMI widać linie widmowe obydwu składników $\Rightarrow$ dwa równania na M , M_2 oraz i

Trzy sposoby na określenie inklinacji orbity:

- rejestracja niekeplerowskich **efektów relatywistycznych**, zależnych od M , M_2 oraz i (np. opóźnienie Shapiro; ruch perycentrum); dobre dla ekstremalnych, relatywistycznych układów (np. dwie gwiazdy neutronowe).
- określenie **orbity astrometrycznej** (tylko dla bliskich układów o krótkim okresie orbitalnym)
- analiza krzywych blasku **układów zaćmieniowych**

M33 X-7 – pierwsza zważona gwiazdowa czarna dziura (jedyna w ukł. zaćm.)
 $M_{cd} = 15.65 \pm 1.45 M_{\odot}$, $M_c = 70 \pm 6.9 M_{\odot}$, $R_c = 20 R_{\odot}$, separacja = $42 R_{\odot}$



Zaćmienie potrójne w układzie trzech gwiazd: HD 181068 (Trinity)

Jasność aż 7 mag.
ale odkrycie dopiero:
Kepler 2010.

Czerwony olbrzym okrążany (w 45.5 dnia)
przez dwa czerwone karły (orbitujące
wokół siebie w 0.9 dnia).

Cenny ciasny układ, ewolucja orbit wykrywalna w skali
czasowej kilku lat.

HD 181068

A

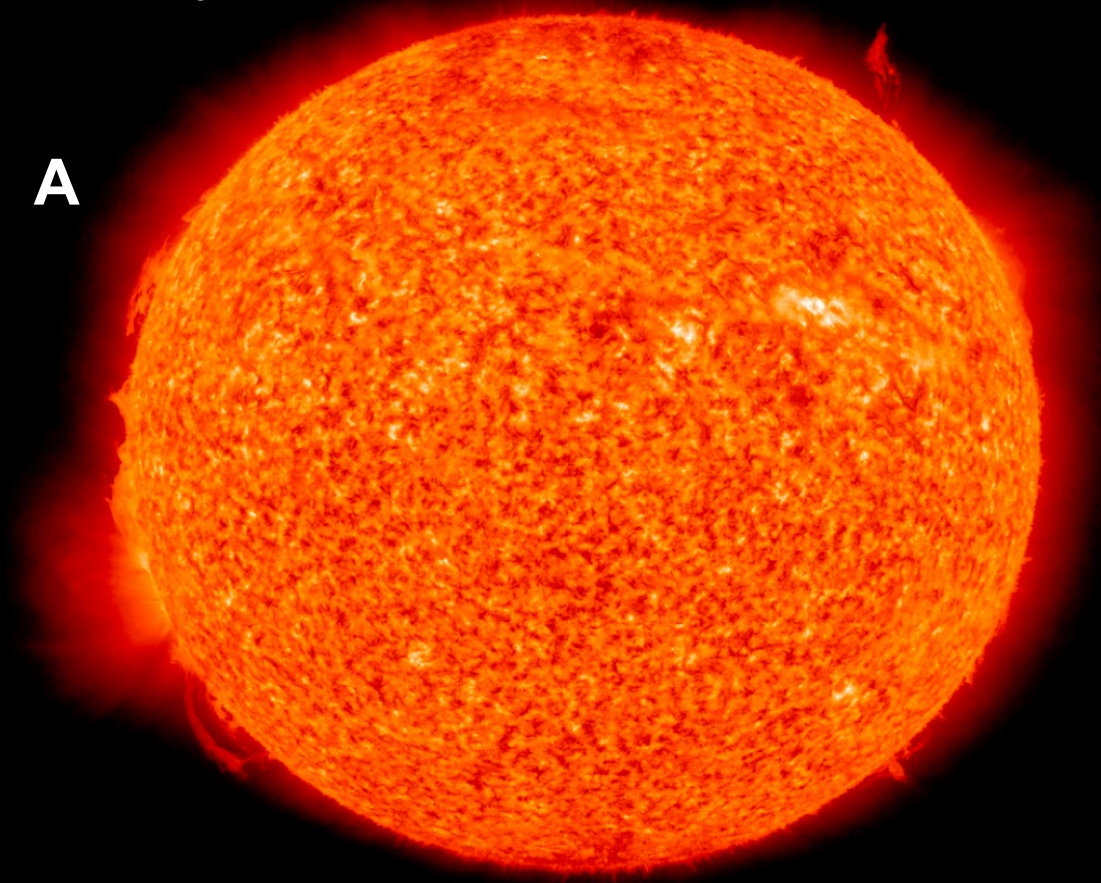
B

C

0.8 $R_{\odot}$

0.7 $R_{\odot}$

12.4 $R_{\odot}$



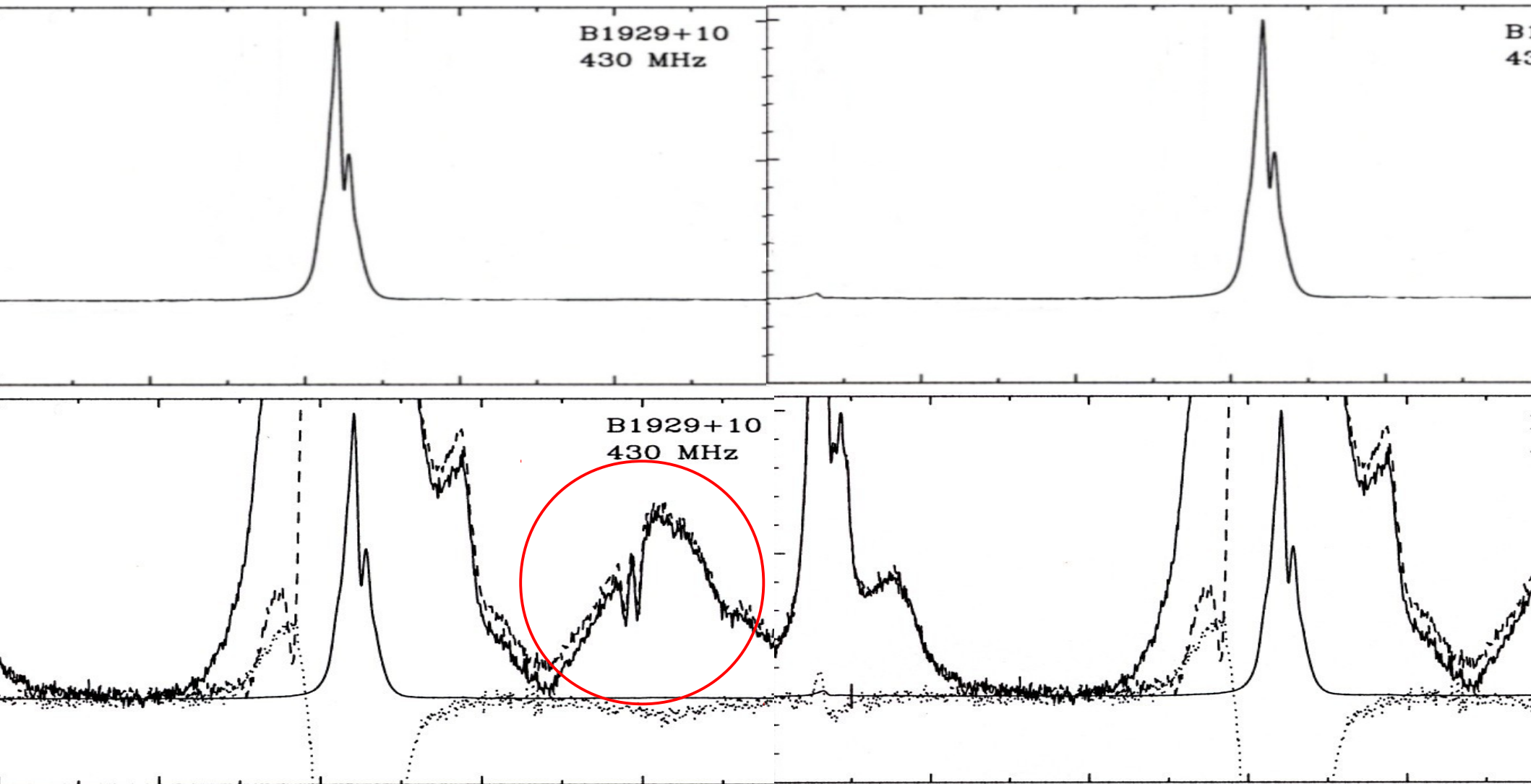
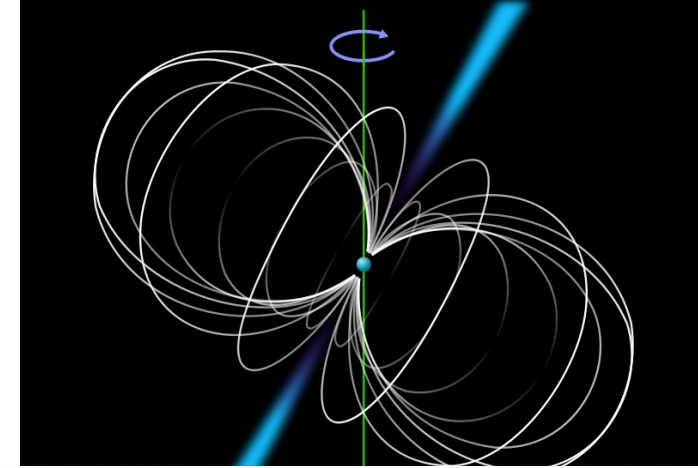


RZUCAJ KOTWICĘ,
ENTOMOLOGIO.

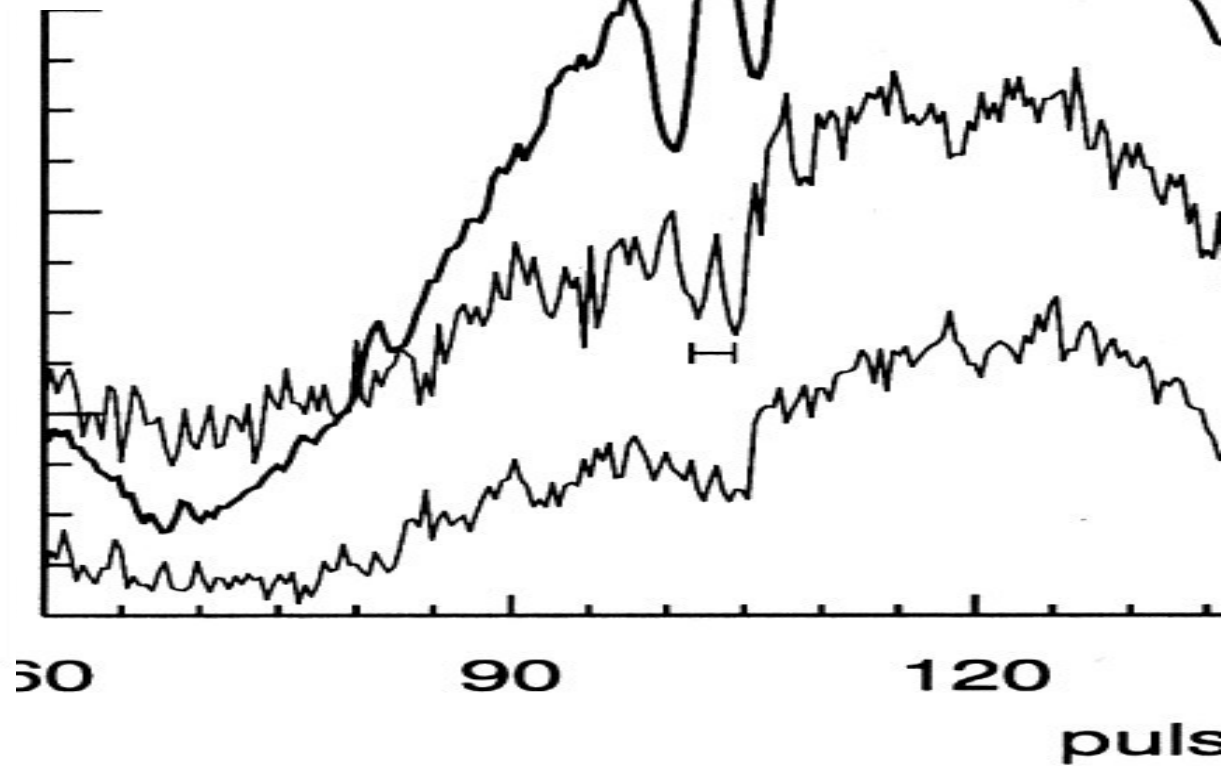
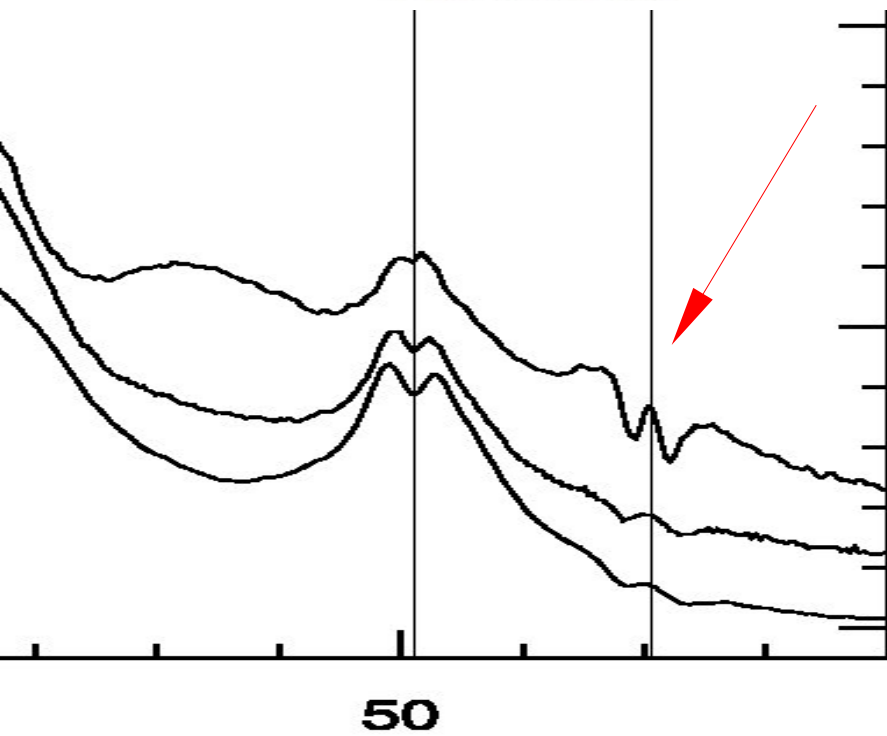
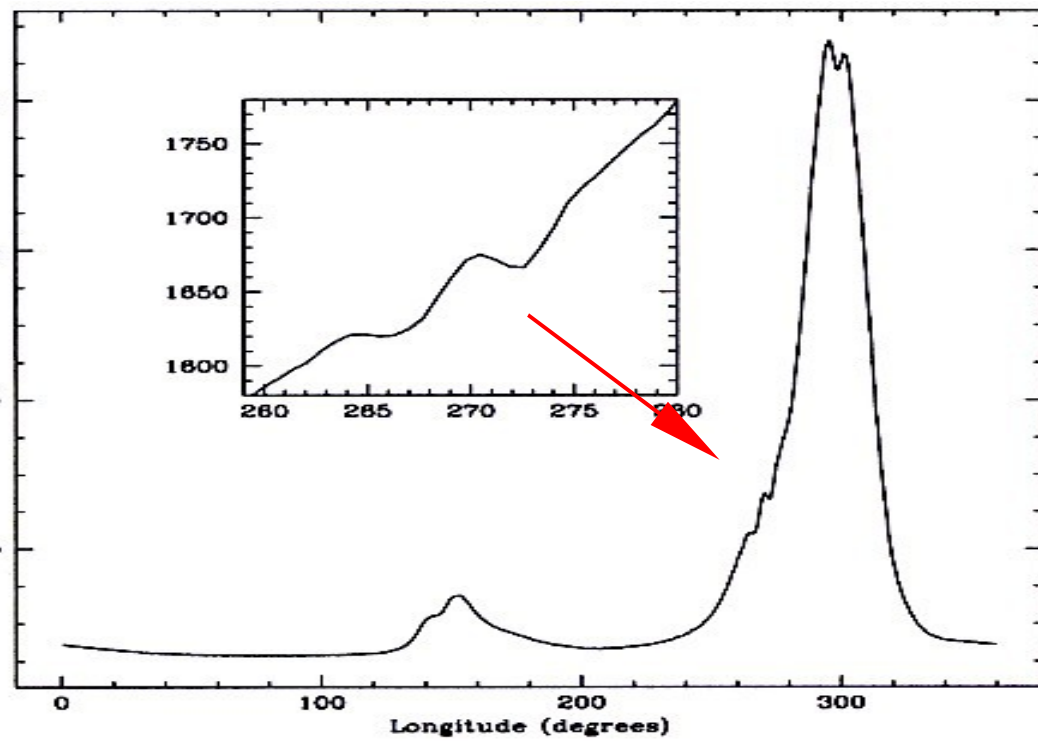
Zupełnie inne „zaćmienie” podwójne:

dwuwcięcia (Wuwcięcia?)

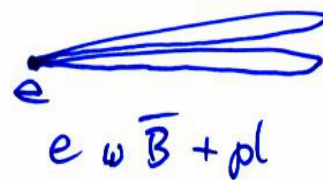
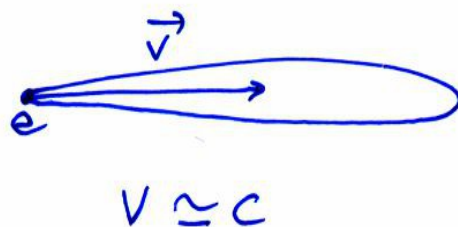
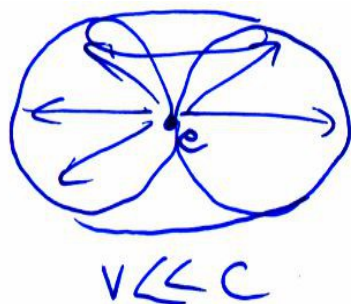
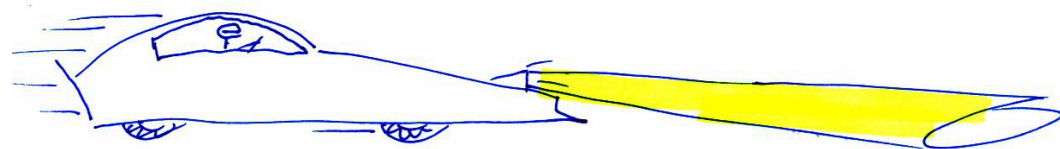
w radiowych profilach pulsarów



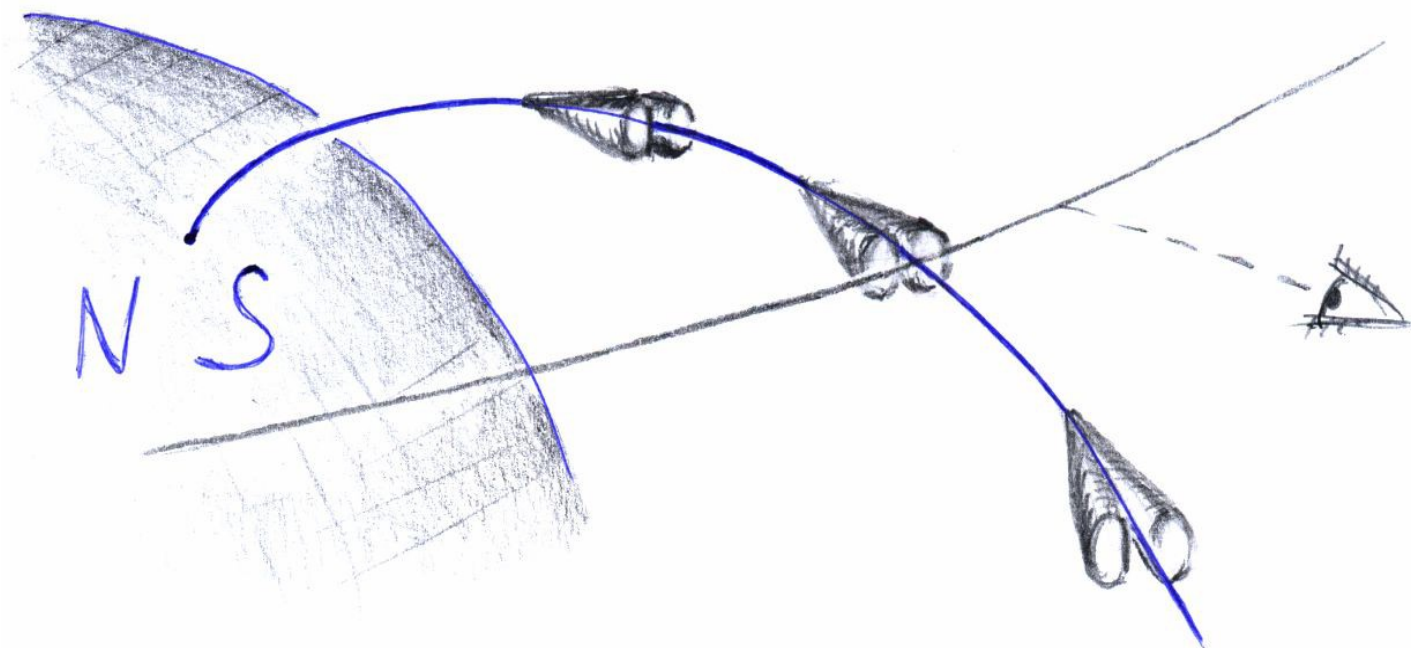
**Profile radiowe (“krzywe blasku”)
pulsarów J0437-4715, 0950+08,
oraz B1929+10**



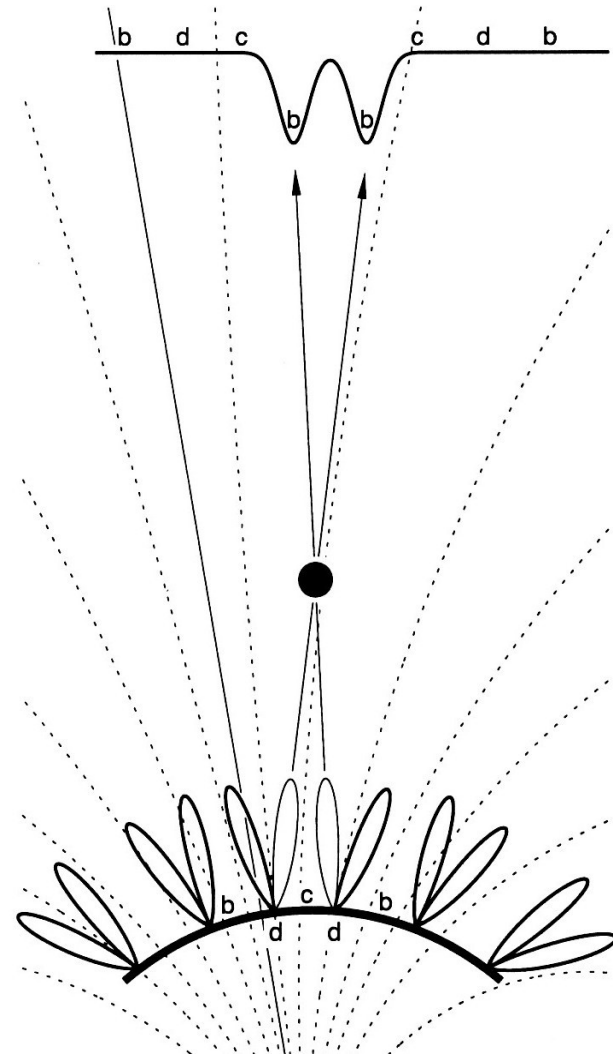
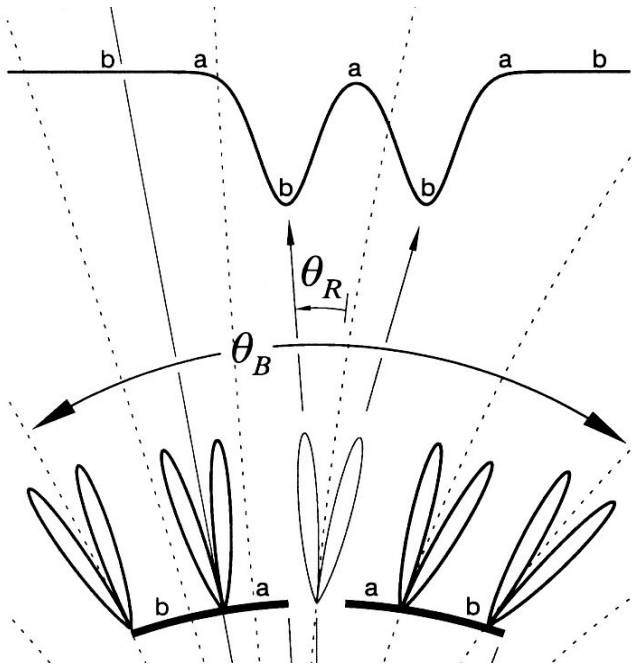
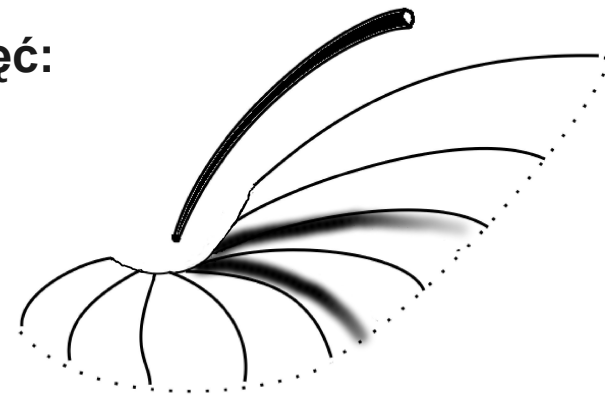
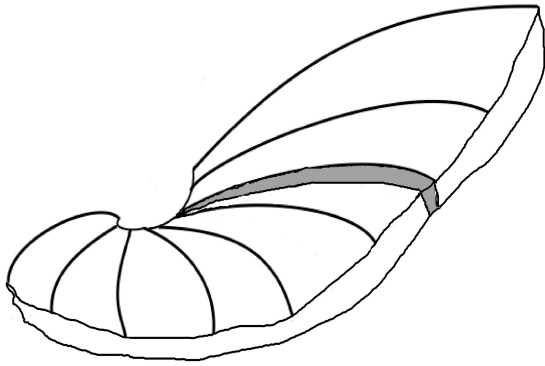
Różne procesy oraz parametry fizyczne dają różny kształt emitowanej wiązki, np.:



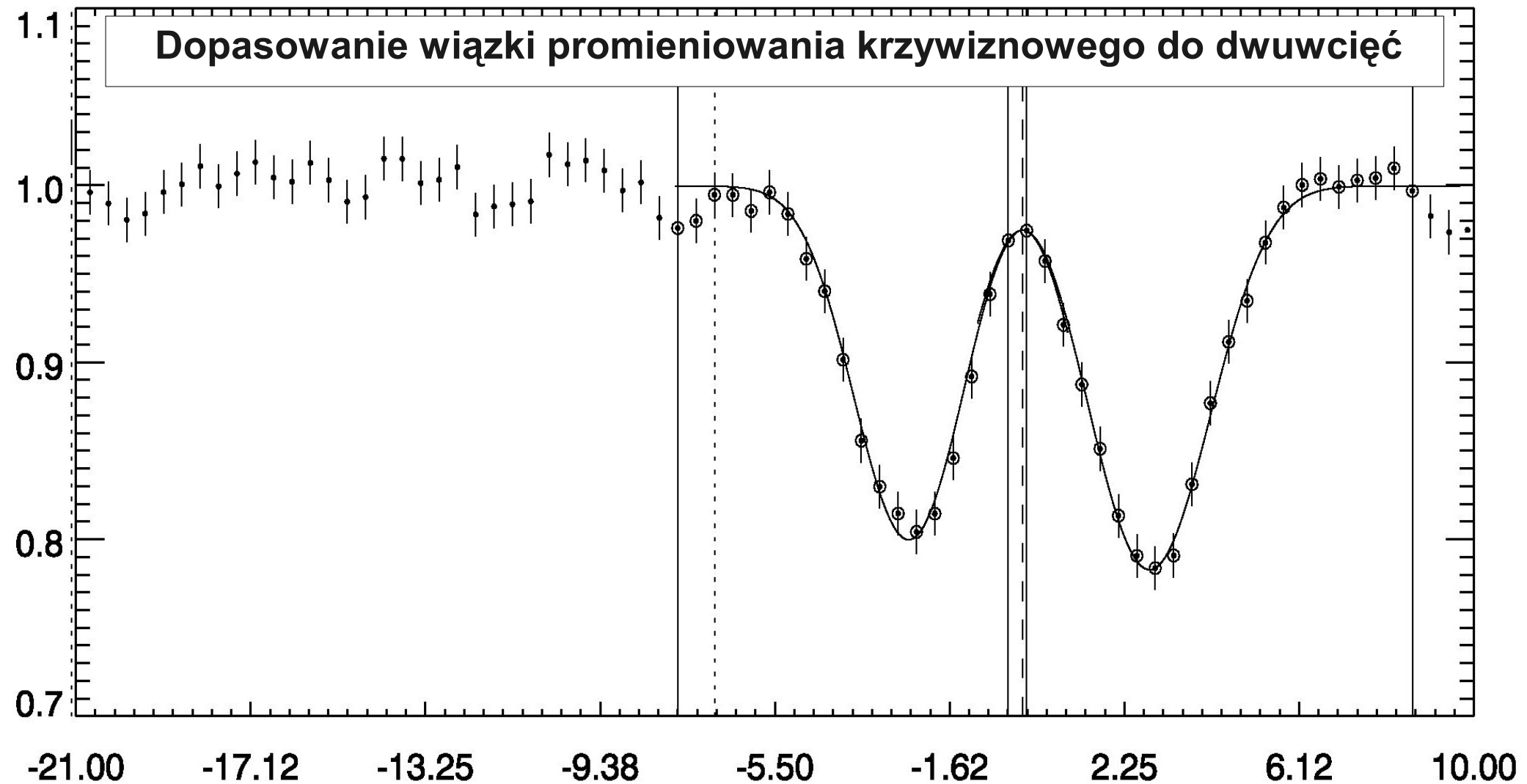
Wiązka, która działa:



Dwa sposoby na uzyskanie dwuwcięć:



Dopasowanie wiązki promieniowania krzywiznowego do dwuwcięć



Dwuwcuciowe „zaćmienie” pozwala:

- identyfikować mechanizm emisji radiowej,
- wyznaczać parametry fizyczne procesu emisji, np. energię elektronów, lub promień krzywizny trajektorii ich ruchu

Wracając do wyznaczania parametrów układów podwójnych:

dla podwójnych gwiazd neutronowych widać ruch tylko jednego składnika, który jest radiopulsarem;

dopiero pomiar efektów relatywistycznych pozwala na wyznaczenie wszystkich parametrów

Ale jest (a właściwie był, ale i będzie) jeden wyjątek.

An artistic rendering of the double pulsar system PSR J0737-3039A/B. Two neutron stars are shown in the center, one emitting a blue beam of light and the other a red beam. The beams are depicted as translucent, cone-like structures that expand as they travel away from the stars. The background is a dark, star-filled space.

Pulsar podwójny PSR J0737-3039A/B
Nadzwyczajne laboratorium fizyki plazmy i grawitacji

Burgay et al. 2003; Lyne et al. 2004

Pulsar A: $P = 22 \text{ ms}$, $M = 1.3381 \pm 0.0007 M_s$,
pulsar stary, ale jary, (silny wiatr)

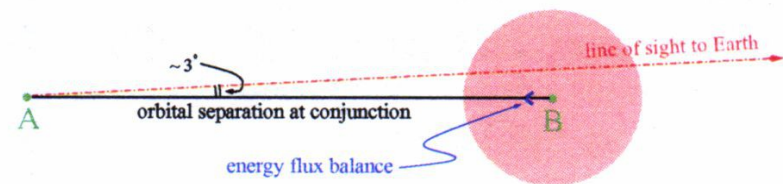
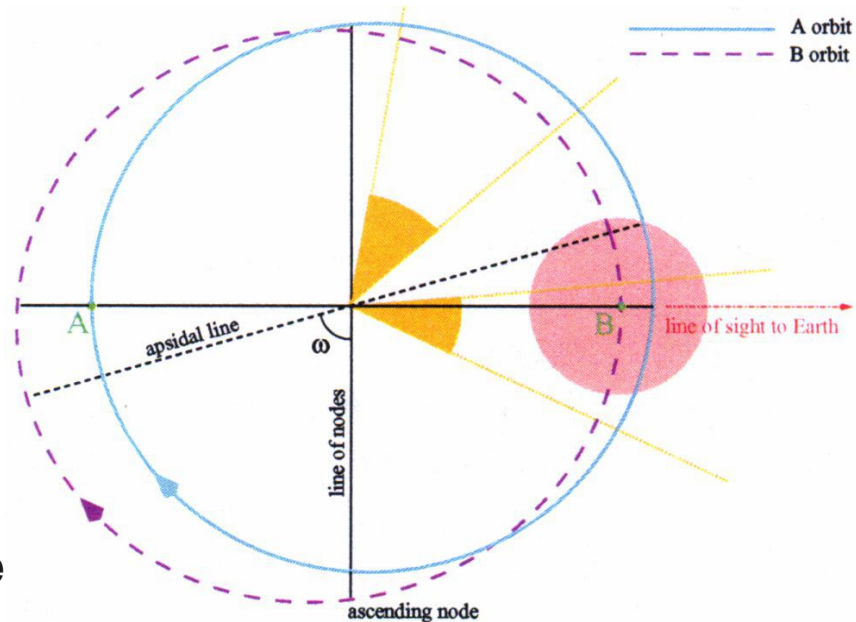
Pulsar B: $P = 2.77 \text{ s}$, $M = 1.2489 \pm 0.0007 M_s$,
duża magnetosfera

JEDNOCZEŚNIE:

- BARDZO RELATYWISTYCZNY
- ZAĆMIENIOWY
- prędkości radialne obydwu bywają obserwowalne

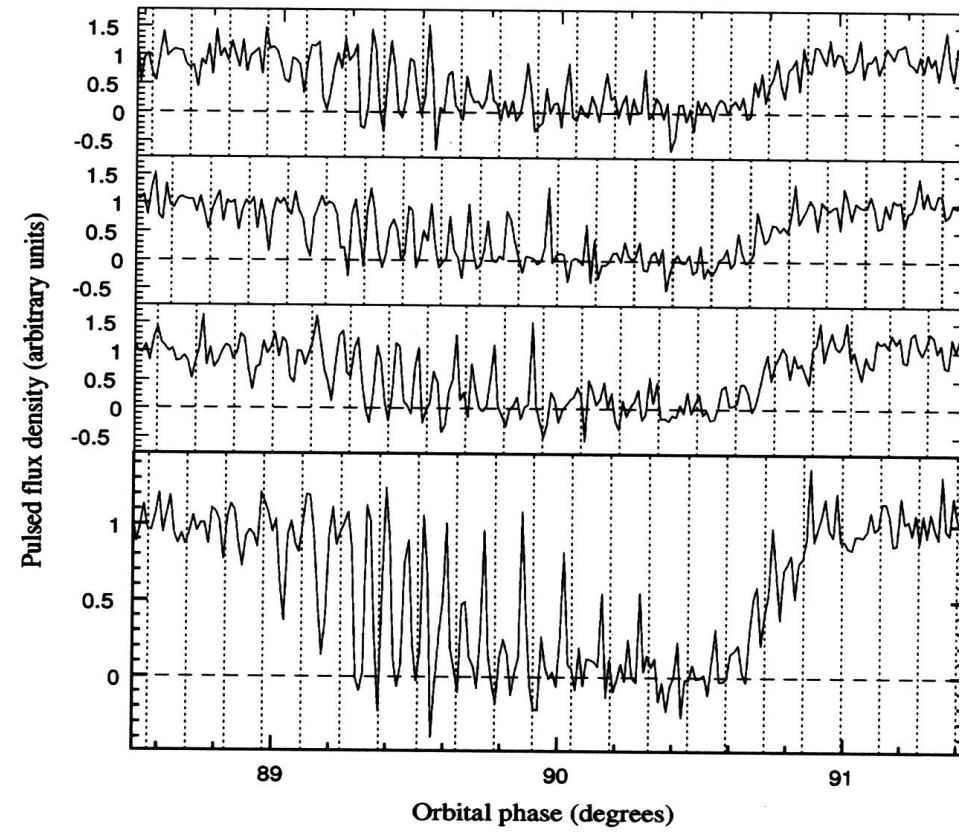
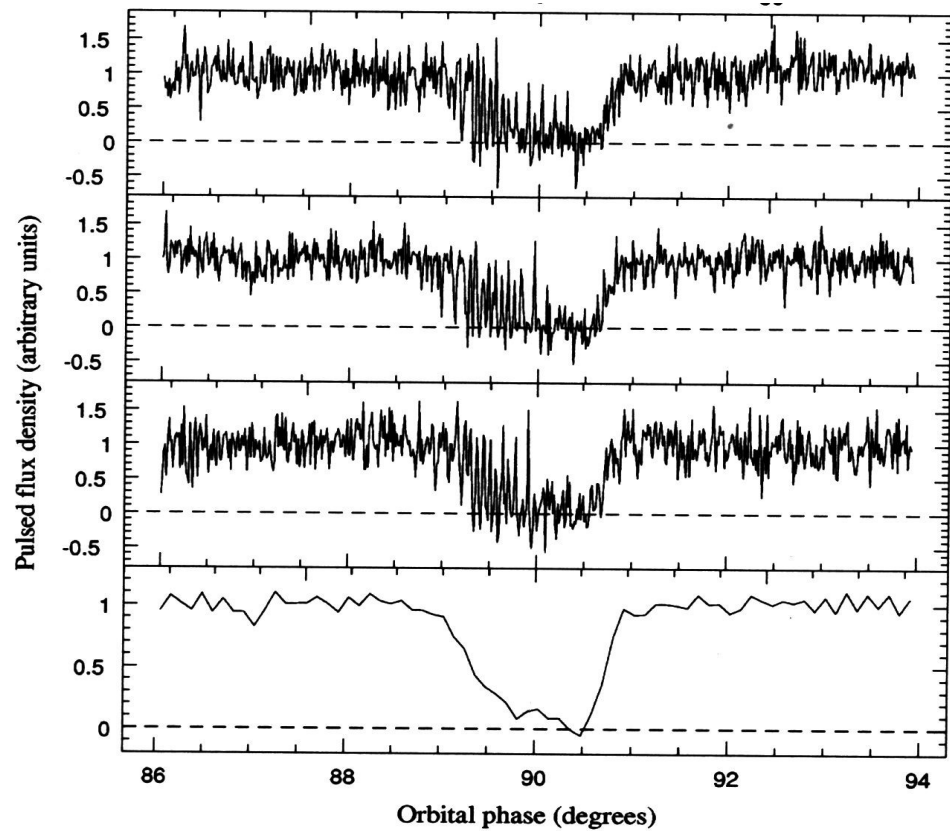
Multum zjawisk w skali czasowej 3 lat! (i krótszej)

- relatywistyczna ewolucja orbit,
np. ruch peryastronu: 16.9 st./rok!!!
- relatywistyczna precesja osi rotacji pulsara B (71 lat),
75 lat dla A, 5 st./rok!!!
- modulacje strumienia i profilu pulsu
w funkcji fazy orbitalnej (B)
- modulacje emisji pulsara B przez (periodyczny) wiatr z pulsara A
- $i = 88.7 \text{ st.} \Rightarrow$ zaćmienia pulsara A przez pulsar B
- modulacje emisji pulsara A przez rotującą magnetosferę pulsara B (podczas zaćmień)



Orbita:
 $P = 147 \text{ min.}$
 $a = 1.25 R_s$
 $e = 0.09$
 $i = 88.7 \text{ st.}$

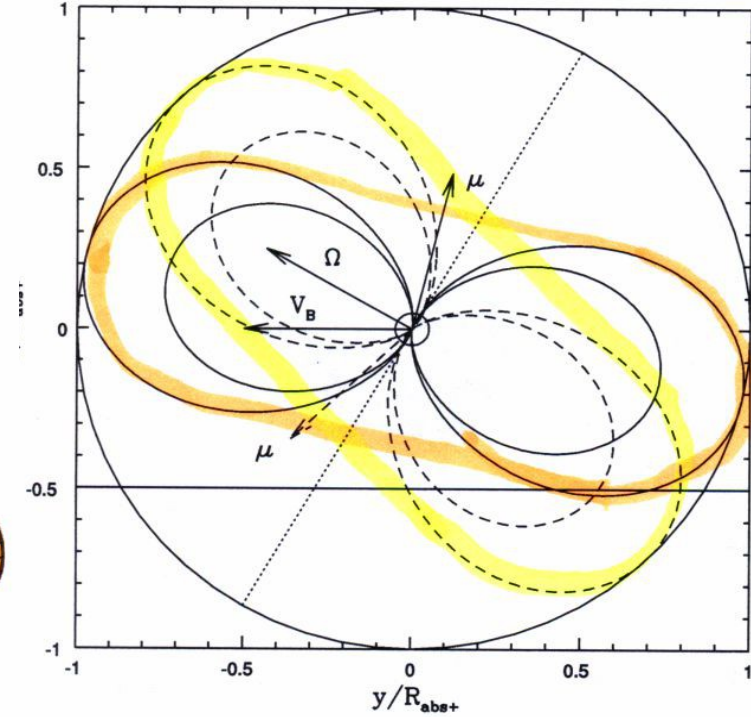
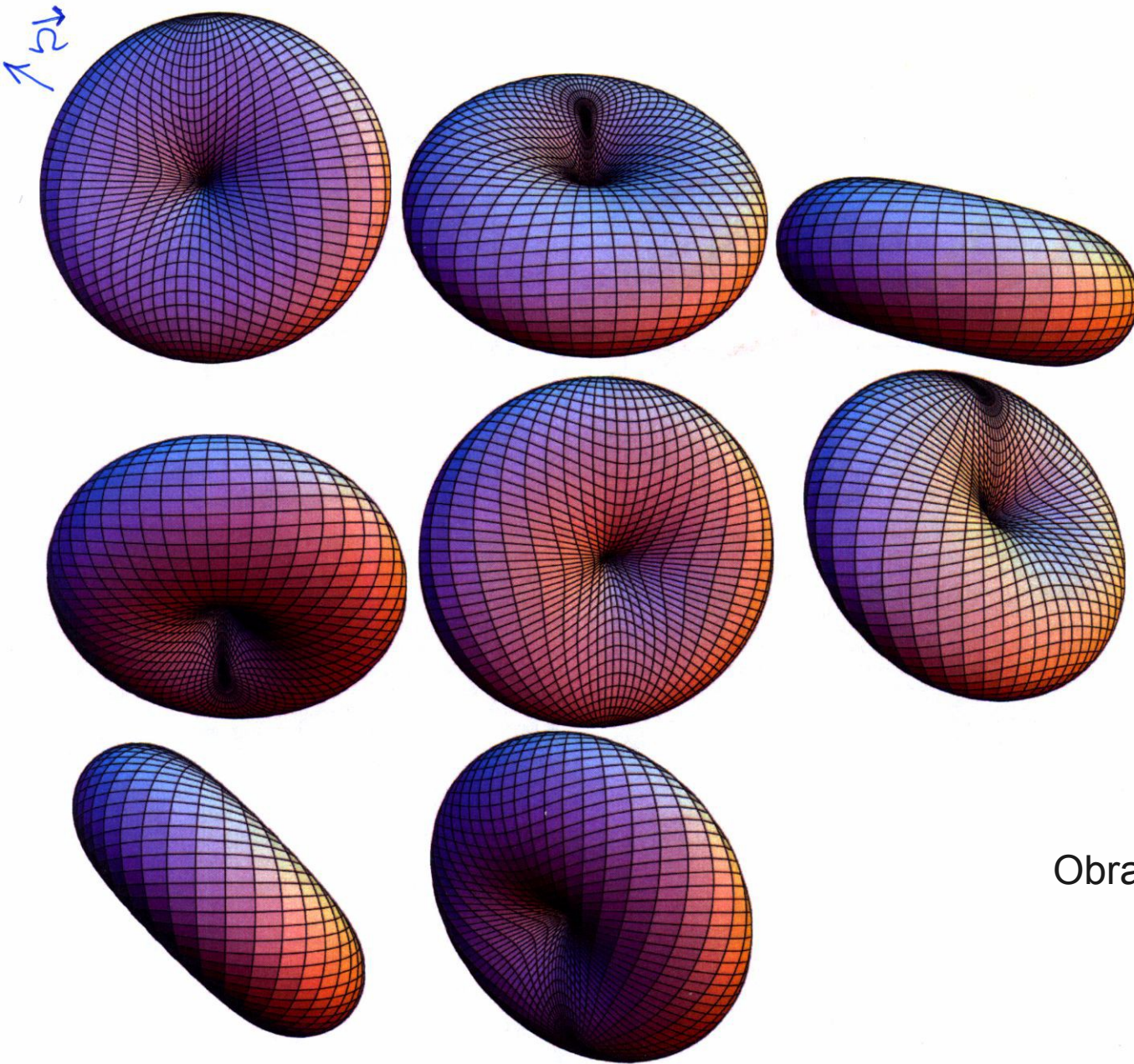
Zaćmienie ~20-krotne:



(McLaughlin et al. 2004)

I jego interpretacja:

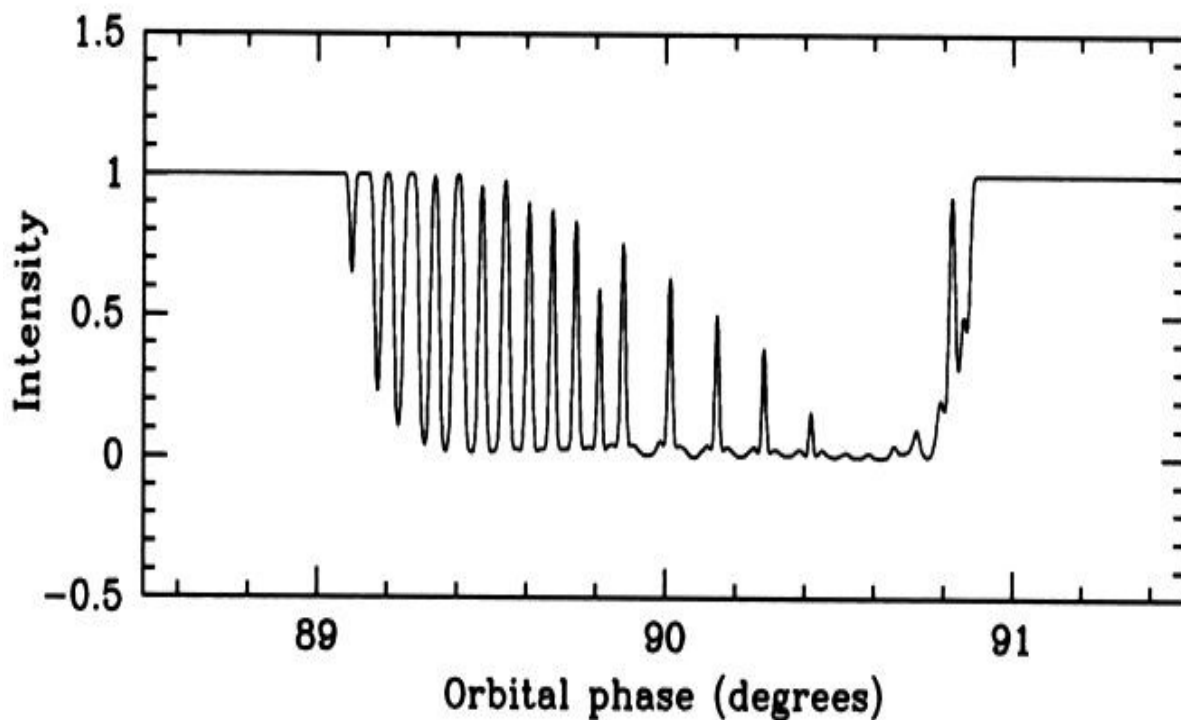
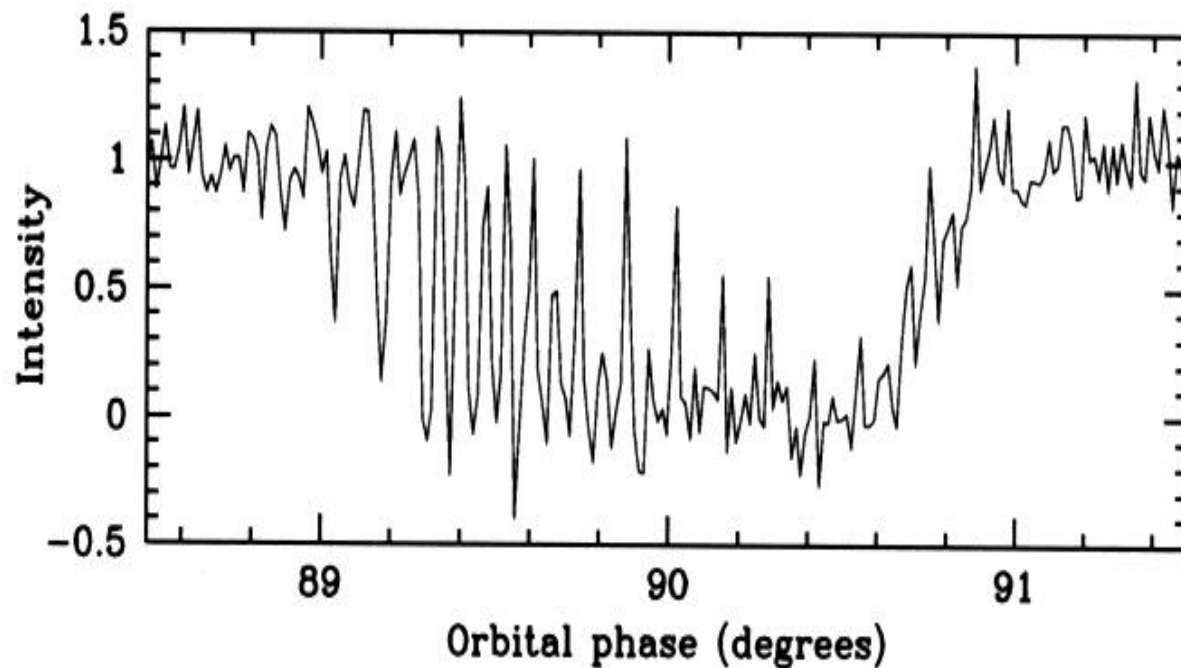
(Lyutikov 2005)



Obrazki co 45 stopni obrotu pulsara B

I porównanie modelu z obserwacjami:

Model daje rozmiar obwarzanka
(magnetosfery) pulsara B,
gęstość plazmy w mag. B,
oraz inklinację osi rotacji,
osi dipola i lini widzenia



**Wskutek precesji osi obrotu pulsara B,
kształt zaćmienia będzie się zmieniał,
co pozwala wyznaczyć tempo precesji.**

**Wskutek tejże samej precesji obiekt jest
„tymczasowo pojedynczy” (już /jeszcze nie widać B)**

+ inne rewelacje, np.:

- pomiar momentu bezwładności, a stąd R (z chronometrażu, dzięki relatywistycznemu sprzężeniu spin-orbita), => niezwykle silne ograniczenie na równanie stanu supergęstej materii
- bezpośrednio wykrywalny przez planowany detektor fal grawitacyjnych LISA

Podsumowanie: zaćmienia to niezwykła okazja
otwierająca niezwykle możliwości:

- pomiar długości geograficznej (czasu „kosmicznego”);
 - prędkości światła;
 - testowanie OTW w słabym (Słońce) i silnym polu (podwójny pulsar);
 - pomiar rozmiarów Układu Słonecznego;
 - rozmiarów i mas planet oraz gwiazd;
 - oraz czarnych dziur!
 - wgląd w mikrofizykę procesów promienistych w magnetosferach pulsarów;
 - określanie rozmiarów i geometrii tychże magnetosfer.
-
- i inne: pominąłem wiele ciekawych zaćmień/zakryć, takich jak:
 - księżycowe okultacje planet, gwiazd i radioźródeł,
 - różne typy zmiennych zaćmieniowych,
 - jakie inne?