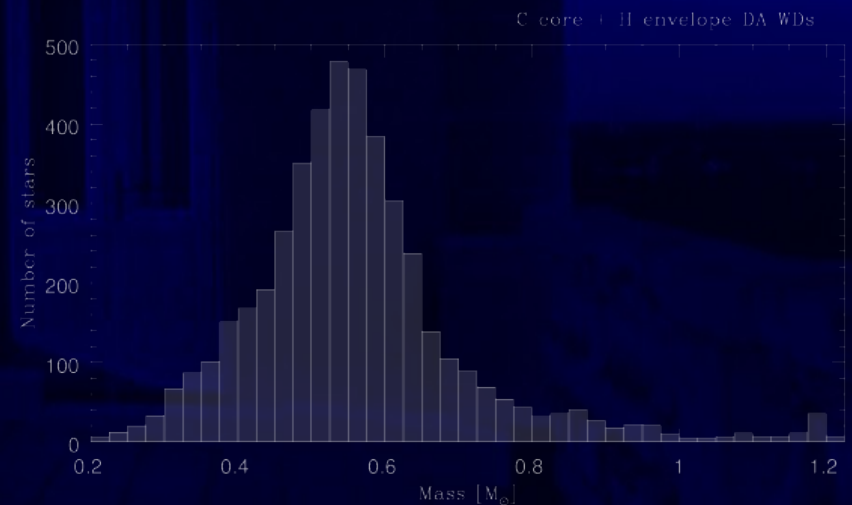
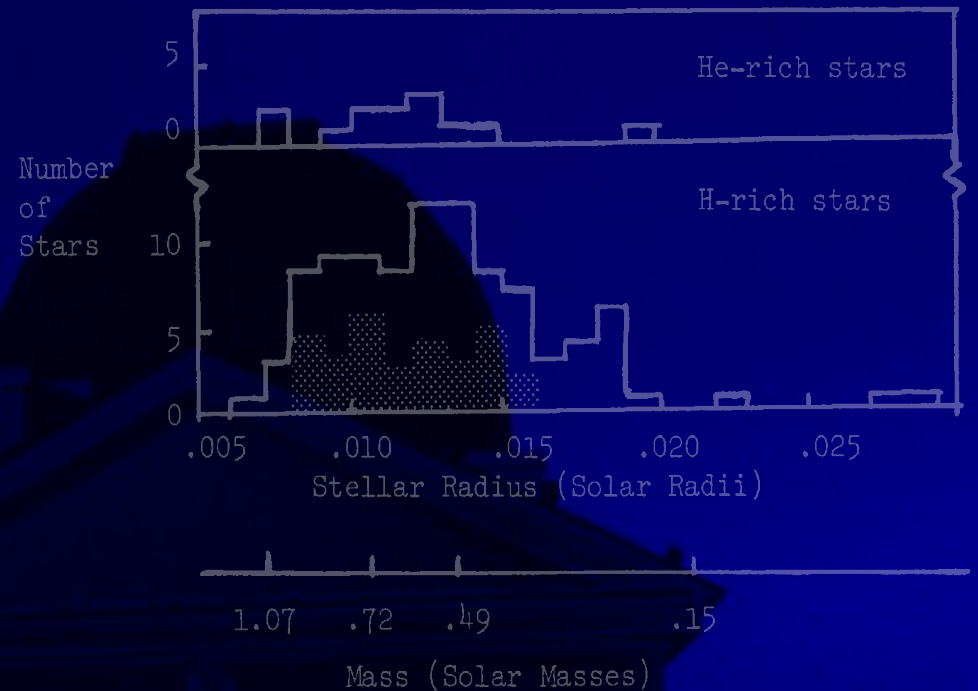


Rozkłady mas białych karłów

Mirosław Należyty
Jerzy Madej,
Agnieszka Majczyna

*Uniwersytet Pedagogiczny
Kraków, 8.06.2010*



Dlaczego tworzymy rozkłady mas białych karłów?

❄ Bo możemy ☺

Należy to rozumieć w ten sposób, że masa to jeden z parametrów fizycznych białych karłów. A skoro tak, chcemy znać jego wartość, zakres i wiedzieć jaki jest jego rozkład.

Number

❄ Bo mamy nadzieję, że badanie rozkładów mas białych karłów powiększy naszą wiedzę o wczesnych i późnych stadiach ewolucji gwiazd, a także pozwoli lepiej poznać różne etapy formowania się gwiazd w dysku naszej Galaktyki.

❄ Bo na podstawie rozkładu mas możemy zobaczyć, czy białe karły tworzą jednorodną grupę obiektów, czy też ich populacja dzieli się na podgrupy, np. w których białe karły powstały w różny sposób.

1.07

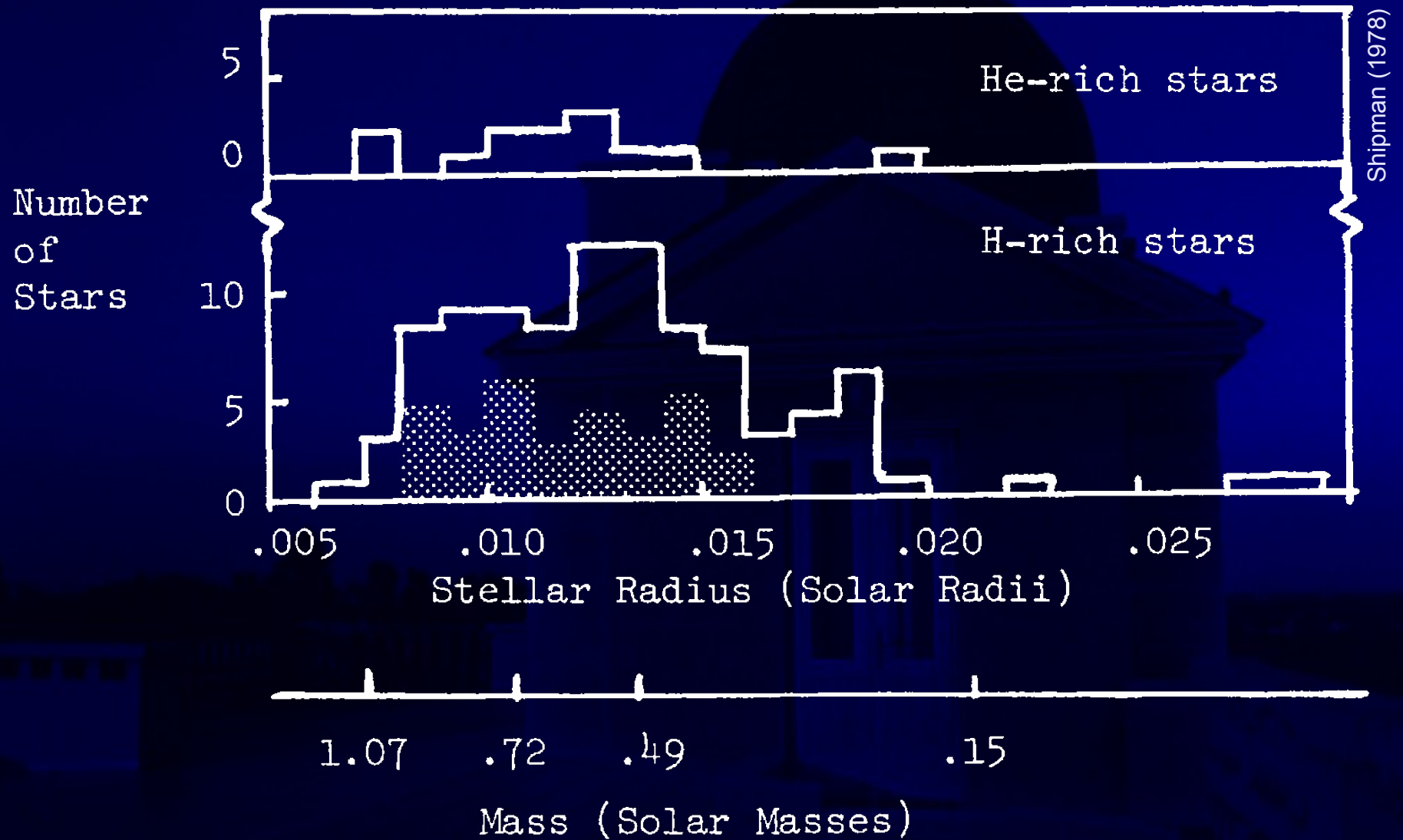
.72

.49

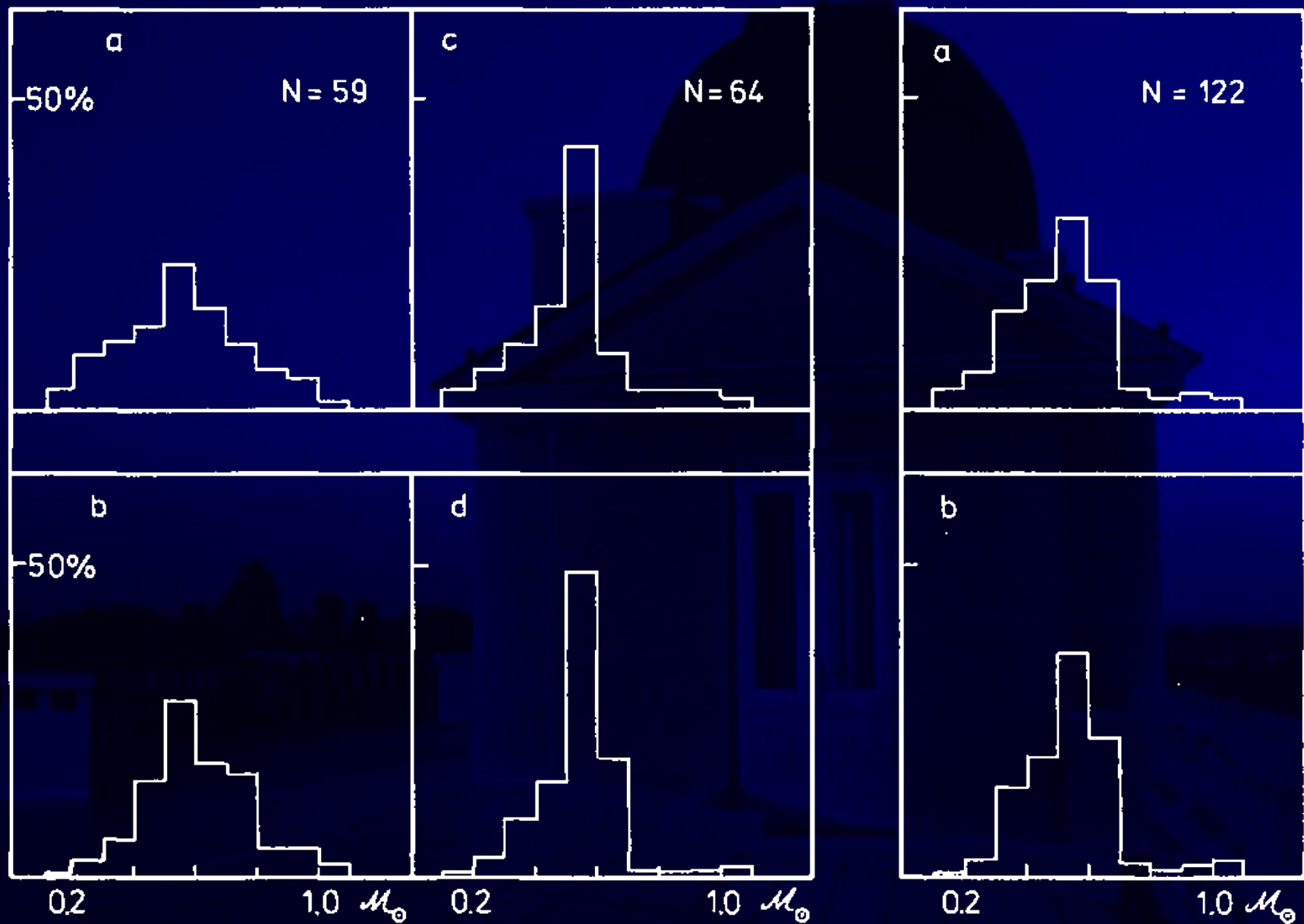
.15

Mass (Solar Masses)

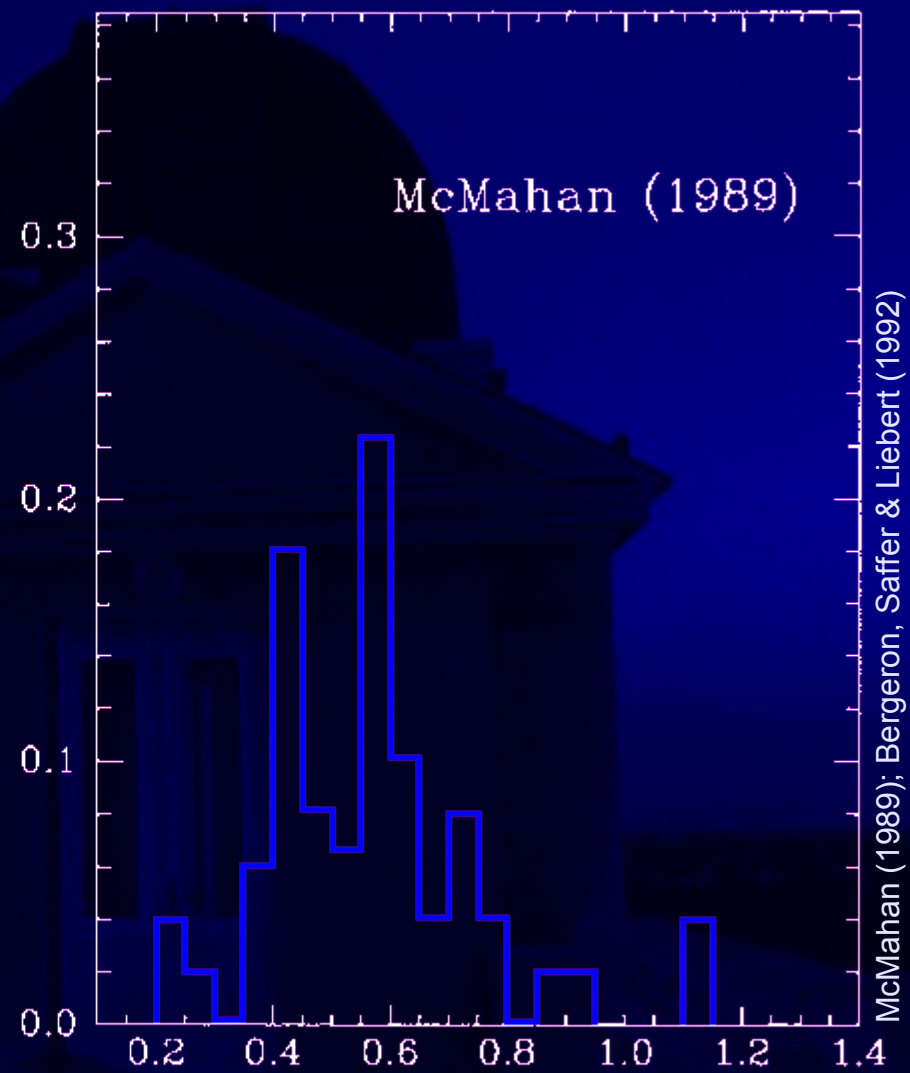
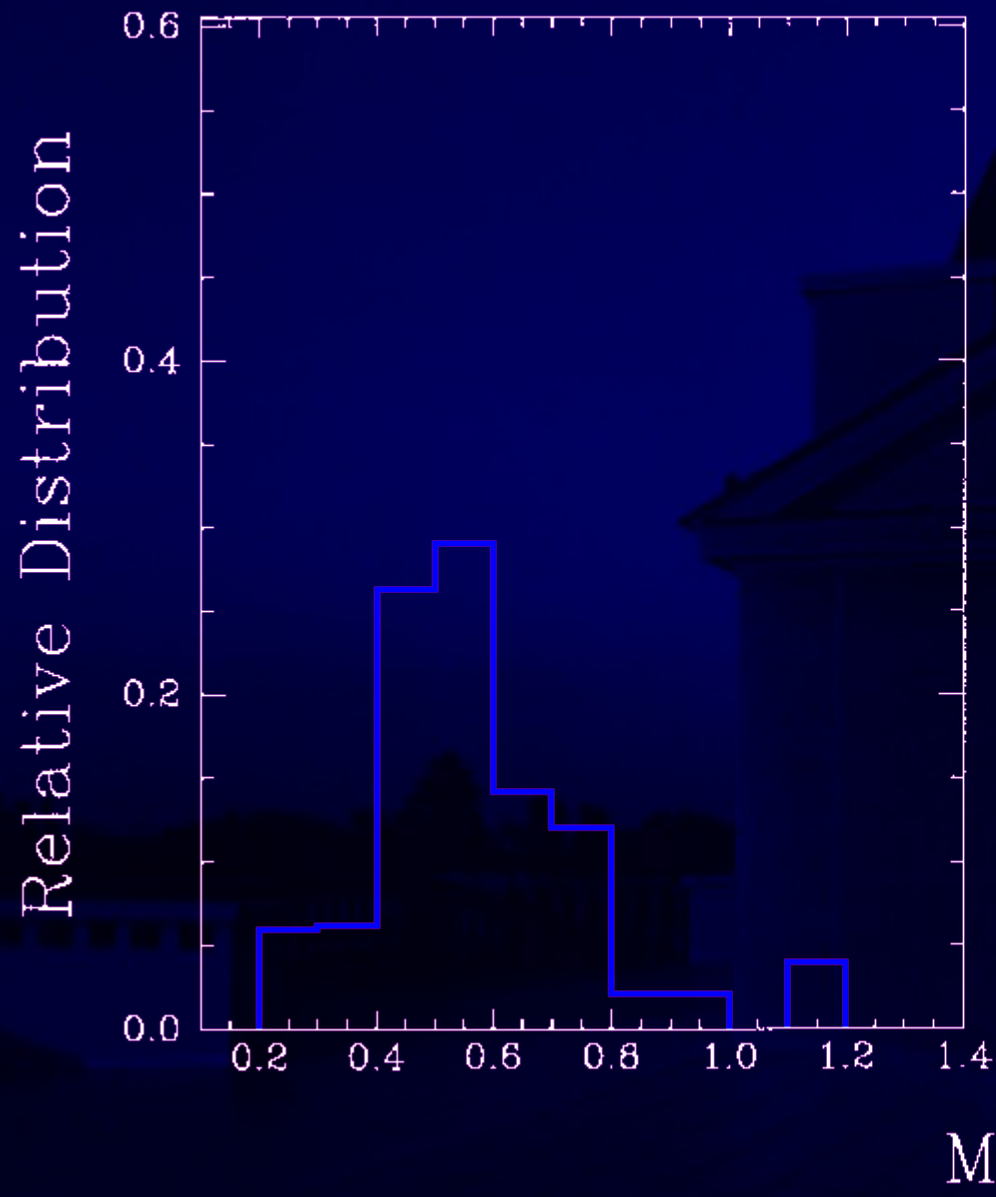
Pierwsze rozkłady mas białych karłów...



Pierwsze rozkłady mas białych karłów...

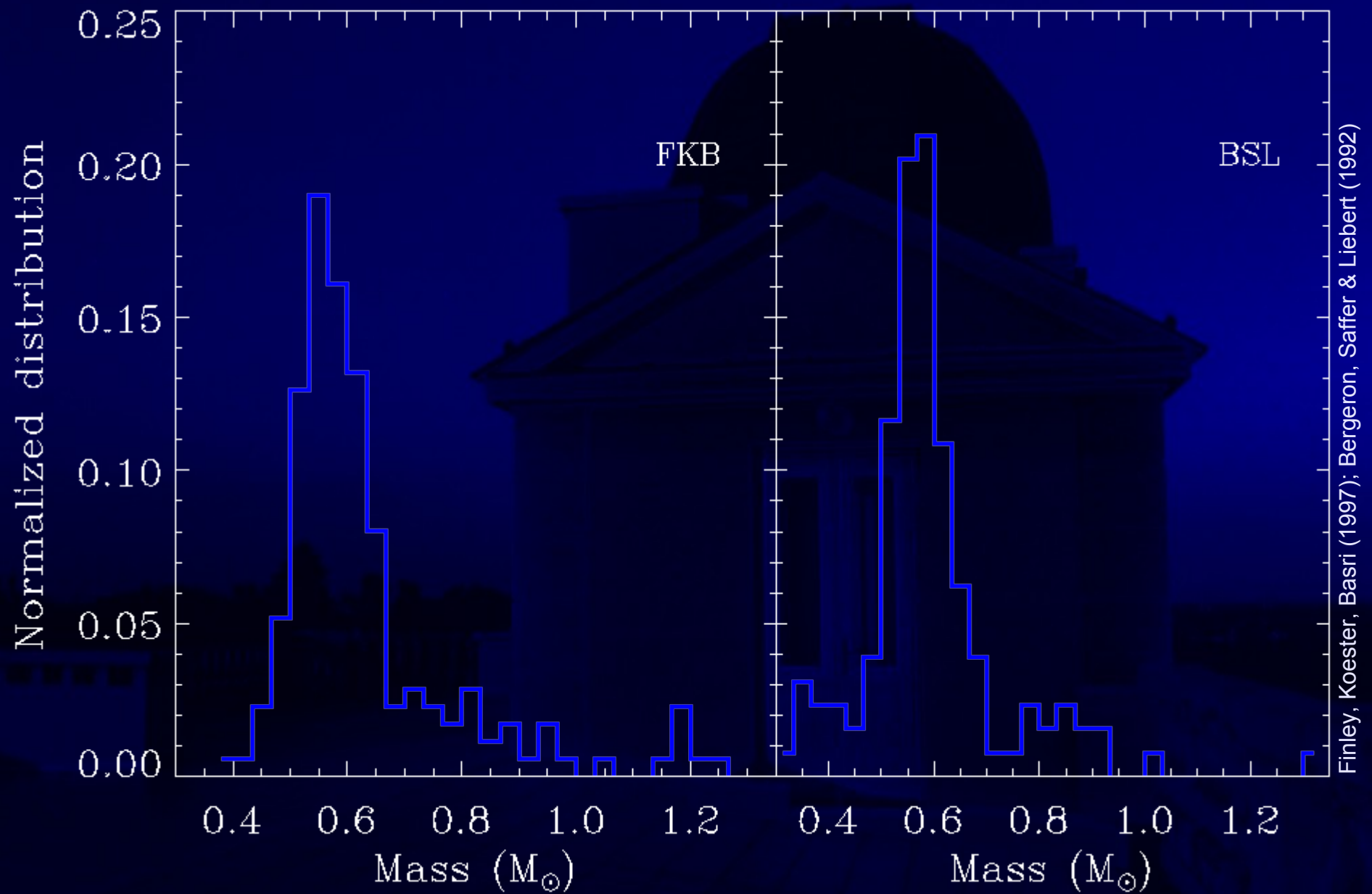


Są też i inne histogramy...



McMahan (1989); Bergeron, Saffer & Liebert (1992)

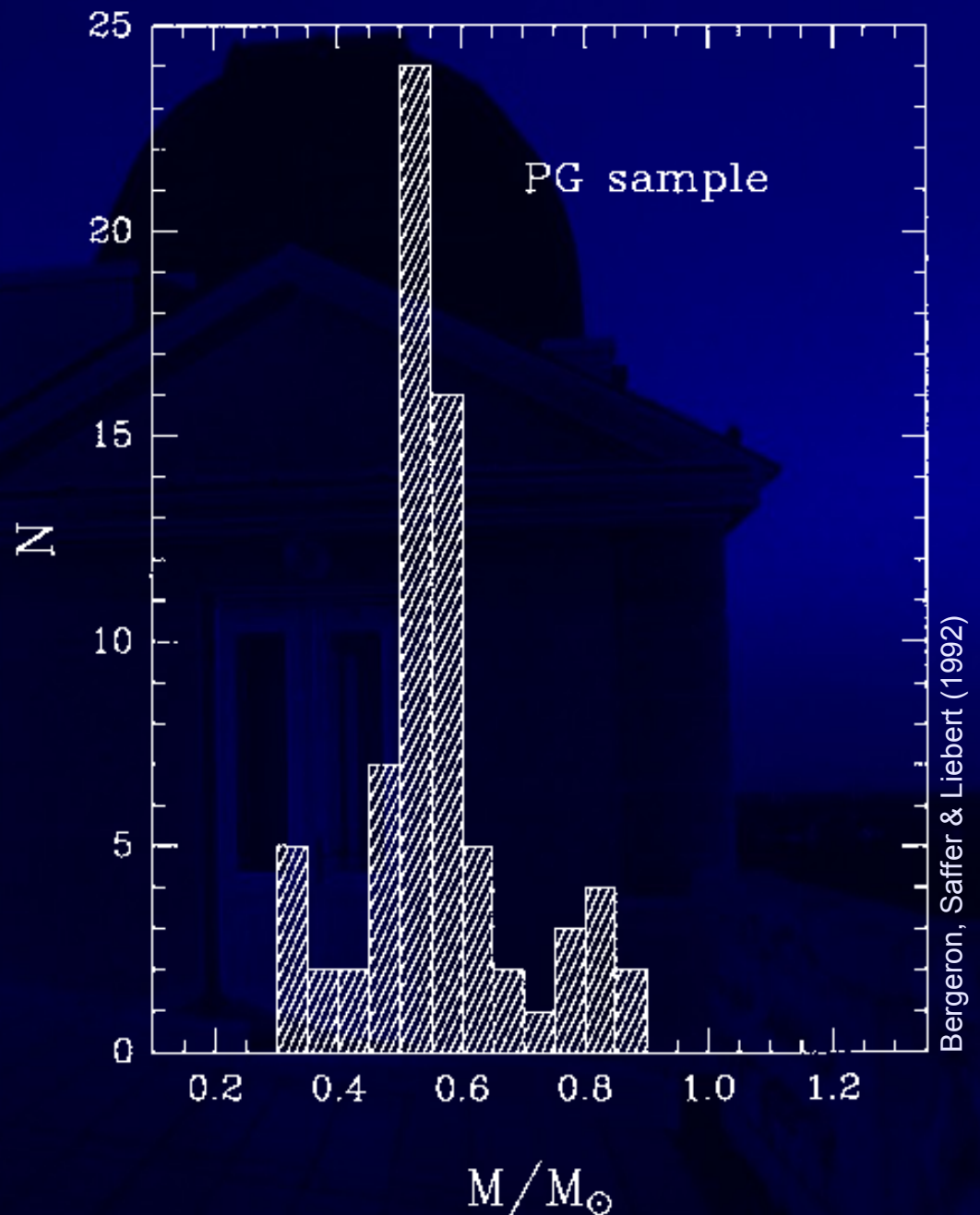
Są też i inne histogramy...



Są też i inne histogramy...

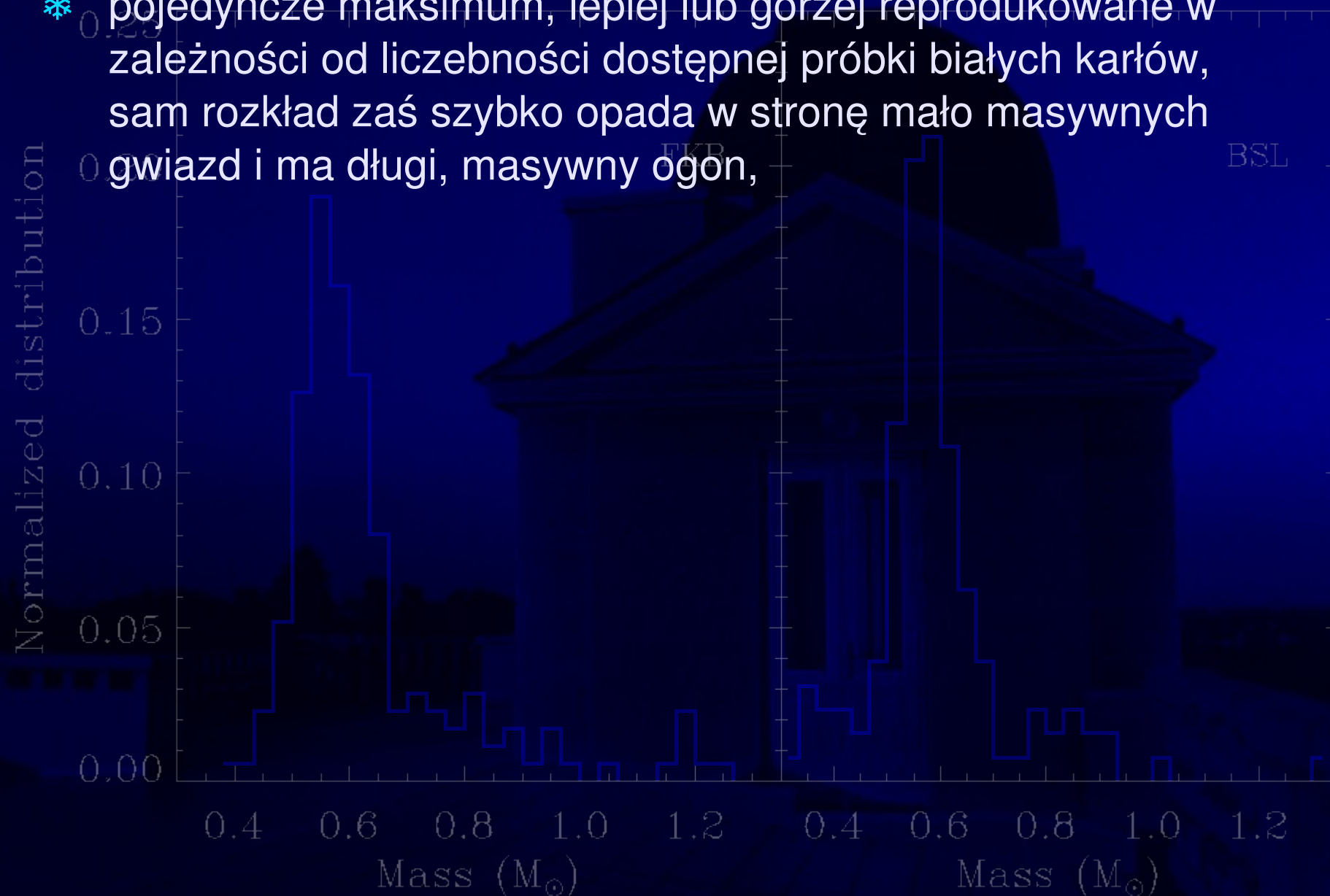
Nie wszystkie sięgają zarówno do obszaru mało masywnych białych karłów, jak również do tych masywnych, głównie z powodu selekcji obserwacyjnej:

- ❄ mało masywnych białych karłów obserwuje się bardzo mało, bo będące ich protoplastami równie mało masywne gwiazdy nie zdążyły jeszcze przeewoluować,
- ❄ im bardziej masywny jest biały karzeł, tym mniejsza jest jego jasność, a tym samym tym trudniej zaobserwować i tak już przecież słabe obiekty.



Typowy rozkład mas białych karłów ma zatem...

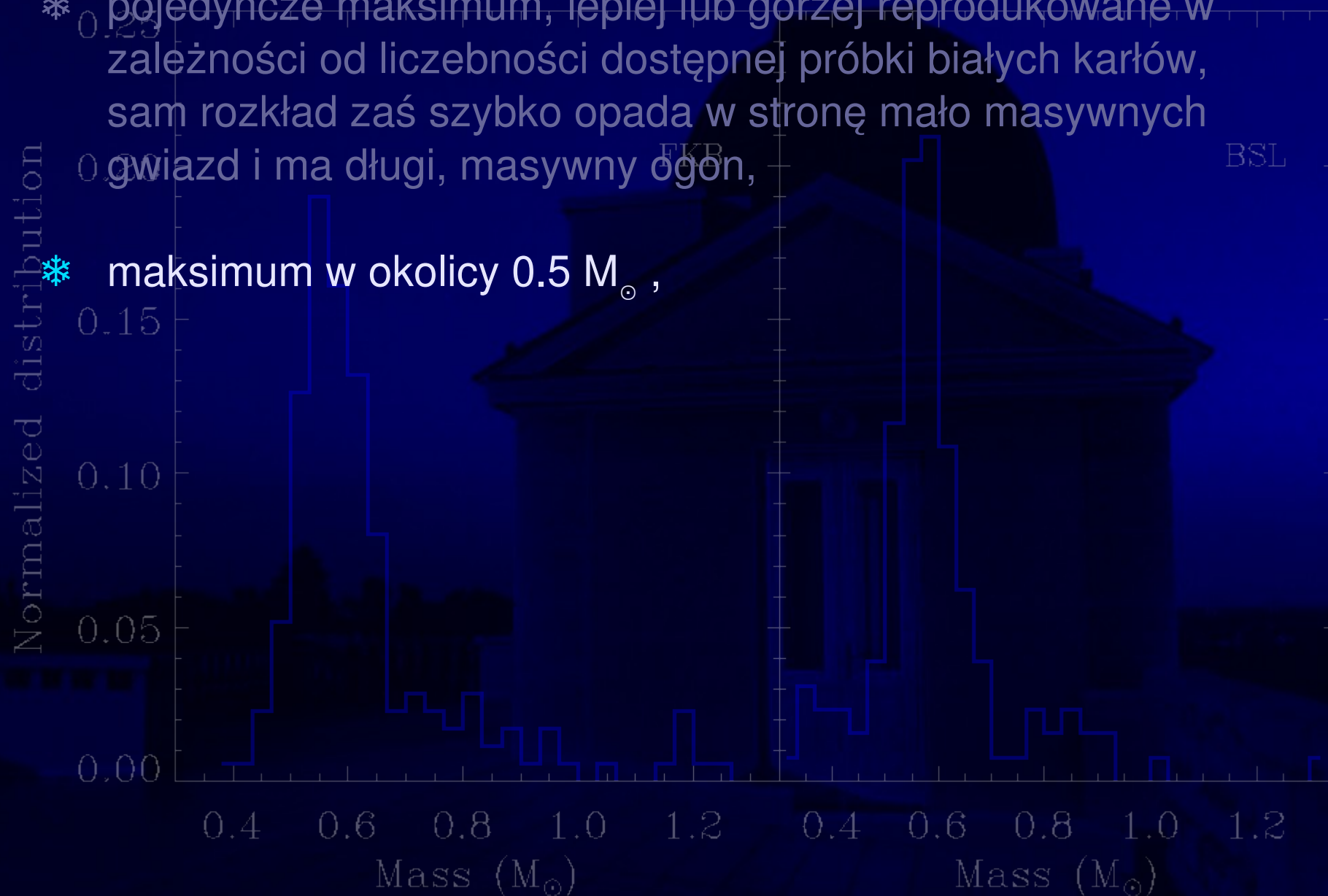
- * pojedyncze maksimum, lepiej lub gorzej reprodukowane w zależności od liczebności dostępnej próbki białych karłów, sam rozkład zaś szybko opada w stronę mało masywnych gwiazd i ma długi, masywny ogon,



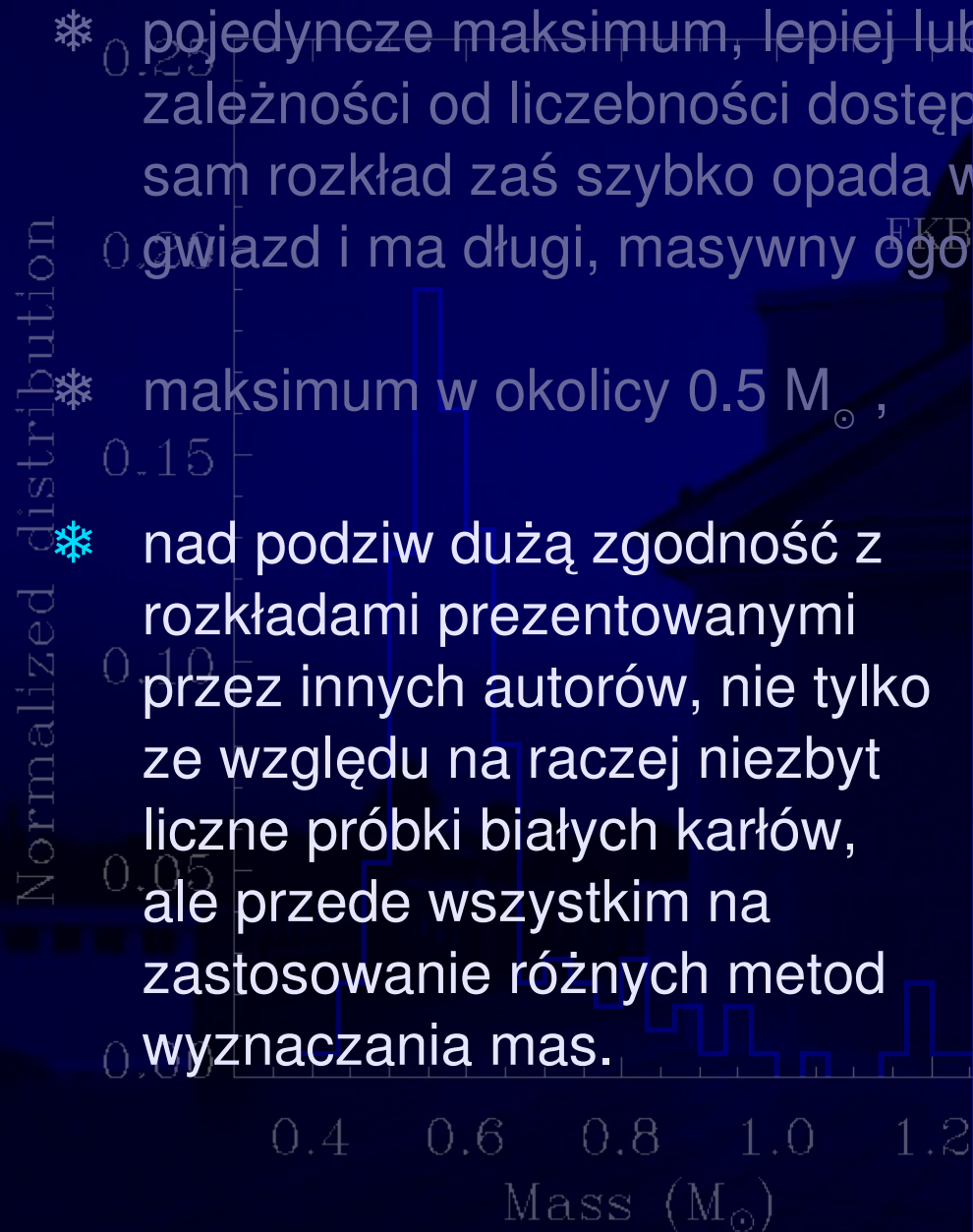
Typowy rozkład mas białych karłów ma zatem...

- * pojedyncze maksimum, lepiej lub gorzej reprodukowane w zależności od liczebności dostępnej próbki białych karłów, sam rozkład zaś szybko opada w stronę mało masywnych gwiazd i ma długi, masywny ogon,

- * maksimum w okolicy $0.5 M_{\odot}$,



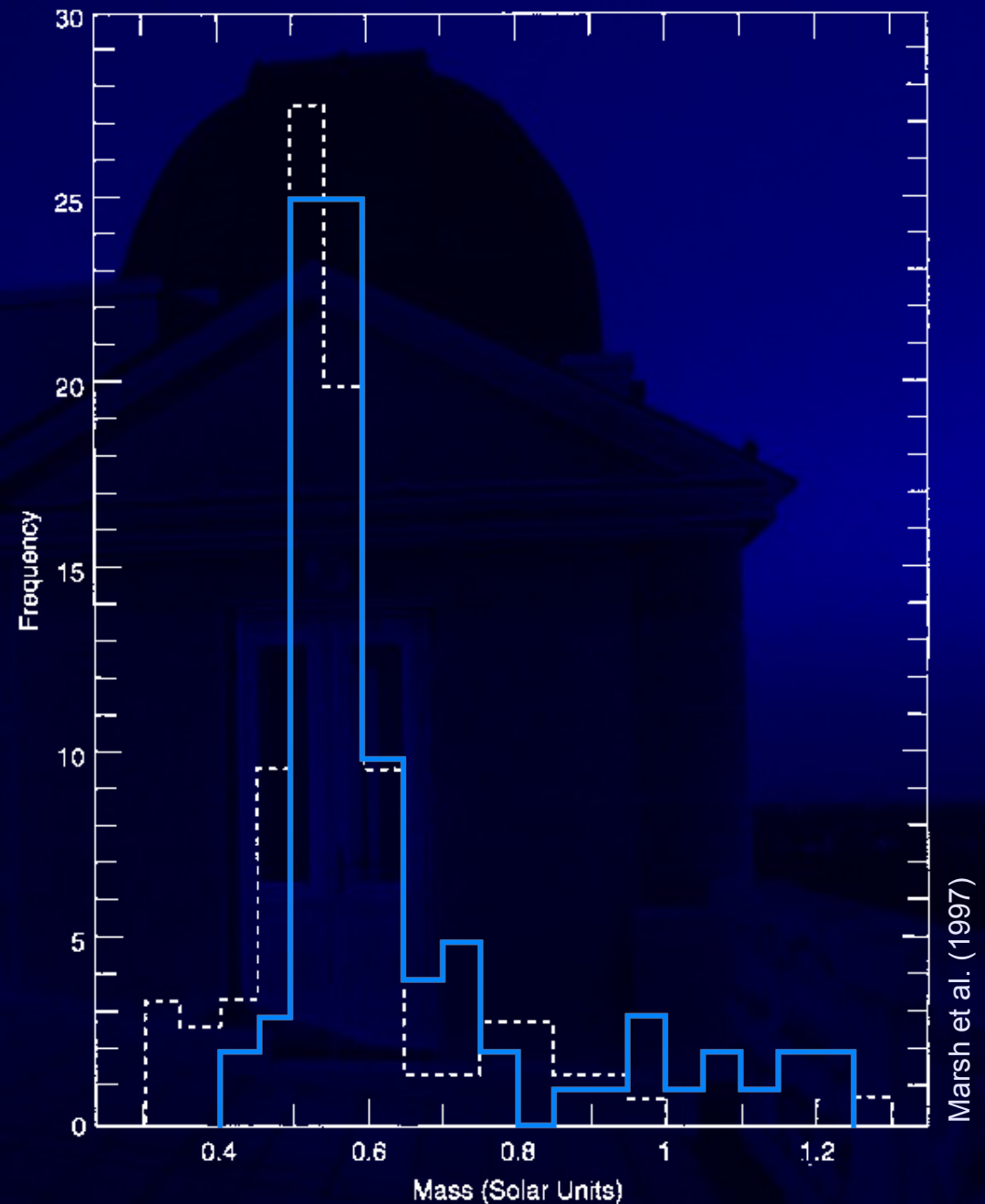
Typowy rozkład mas białych karłów ma zatem...



- * pojedyncze maksimum, lepiej lub gorzej reprodukowane w zależności od liczebności dostępnej próby, sam rozkład zaś szybko opada w stronę gwiazd i ma długi, masywny ogon
 - * maksimum w okolicy $0.5 M_{\odot}$,
 - * nad podziw dużą zgodność z rozkładami prezentowanymi przez innych autorów, nie tylko ze względu na raczej niezbyt liczne próbki białych karłów, ale przede wszystkim na zastosowanie różnych metod wyznaczania mas.
- 0.58** Koester, Schulz & Weidemann (1979), *średnia masa 122 białych karłów DA*
 - 0.603** Weidemann & Koester (1984), *70 DA*
 - 0.571** McMahan (1989), *53 DA*
 - 0.60** Weidemann (1990)
 - 0.562** Bergeron, Saffer & Liebert (1992), *129 białych karłów typu DA*
 - 0.56** Liebert & Bergeron (1995), *200 białych karłów z projektu "Palomar Green"*
 - 0.570** Finley, Koester & Basri (1997), *174 białe karły, niektóre z chłodnymi towarzyszami*
 - 0.55** Marsh et al. (1997), *89 obiektów z "ROSAT All Sky X-ray and EUV"*
 - 0.56** Vennes et al. (1997), *110 DA wybranych na podstawie obserwacji w EUV*
 - 0.57** Vennes (1999), *141 obiektów obserwowanych w EUV i X*
 - 0.562** Madej, Należyty & Althaus (2004), *1175 białych karłów DA z SDSS Data Release 1*
 - 0.549** Ciechanowska et al. (2004), *4546 DA z SDSS Data Release 4*
 - 0.573** Kepler et al. (2006), *1733 najjaśniejszych DA z SDSS Data Release 4*

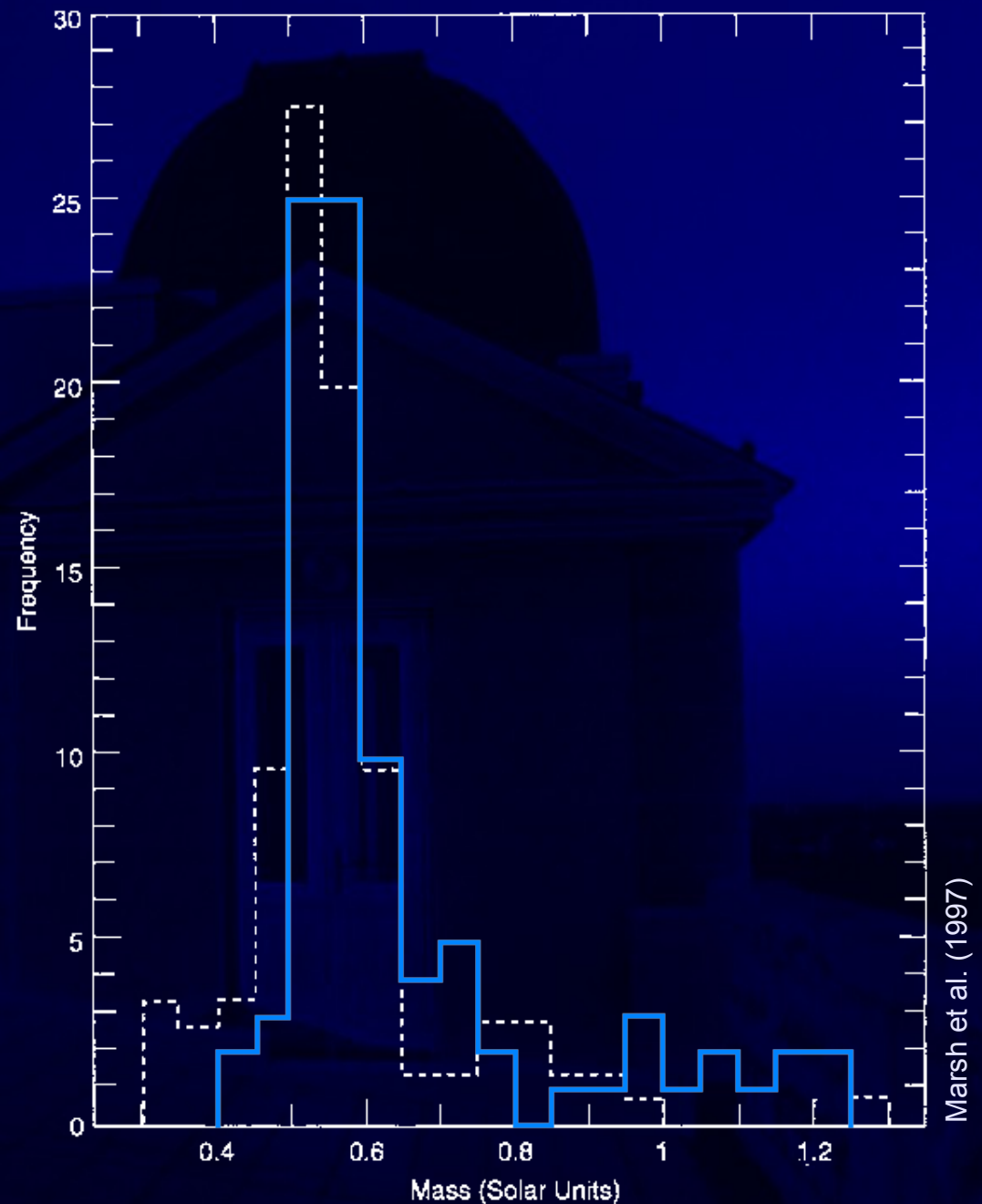
Histogram, który nas zainspirował...

- ❄ Rozkład mas dla 89 białych karłów obserwowanych w ramach projektu “ROSAT All Sky X-ray and EUV Survey” (Marsh et al. 1997ab).



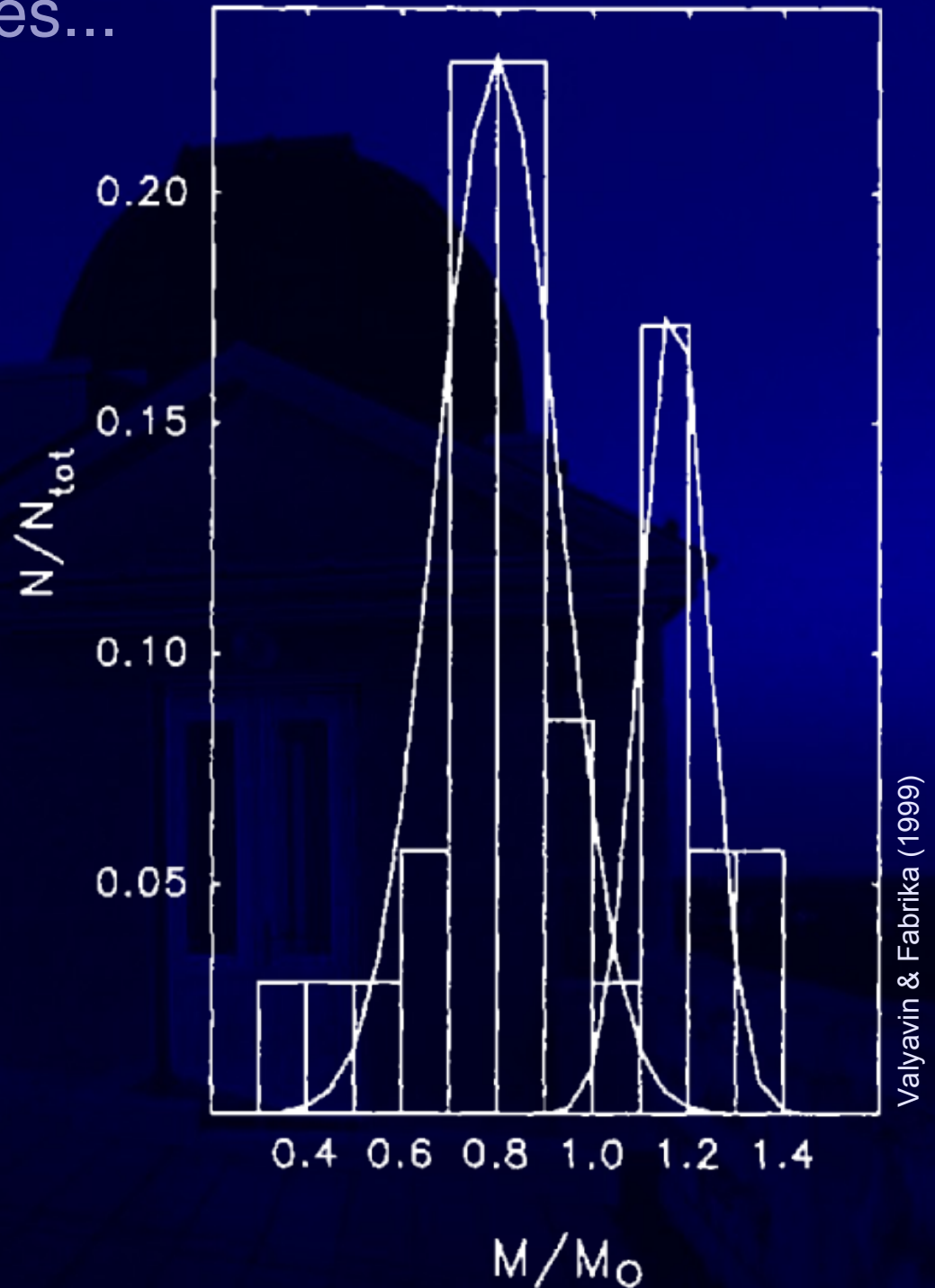
Histogram, który nas zainspirował...

- * Rozkład mas dla 89 białych karłów obserwowanych w ramach projektu “ROSAT All Sky X-ray and EUV Survey” (Marsh et al. 1997ab).
- * Wyraźnie jest widoczna populacja masywnych białych karłów, odseparowana od głównego maksimum:
 - * inna grupa białych karłów?
 - * wtórne maksimum?



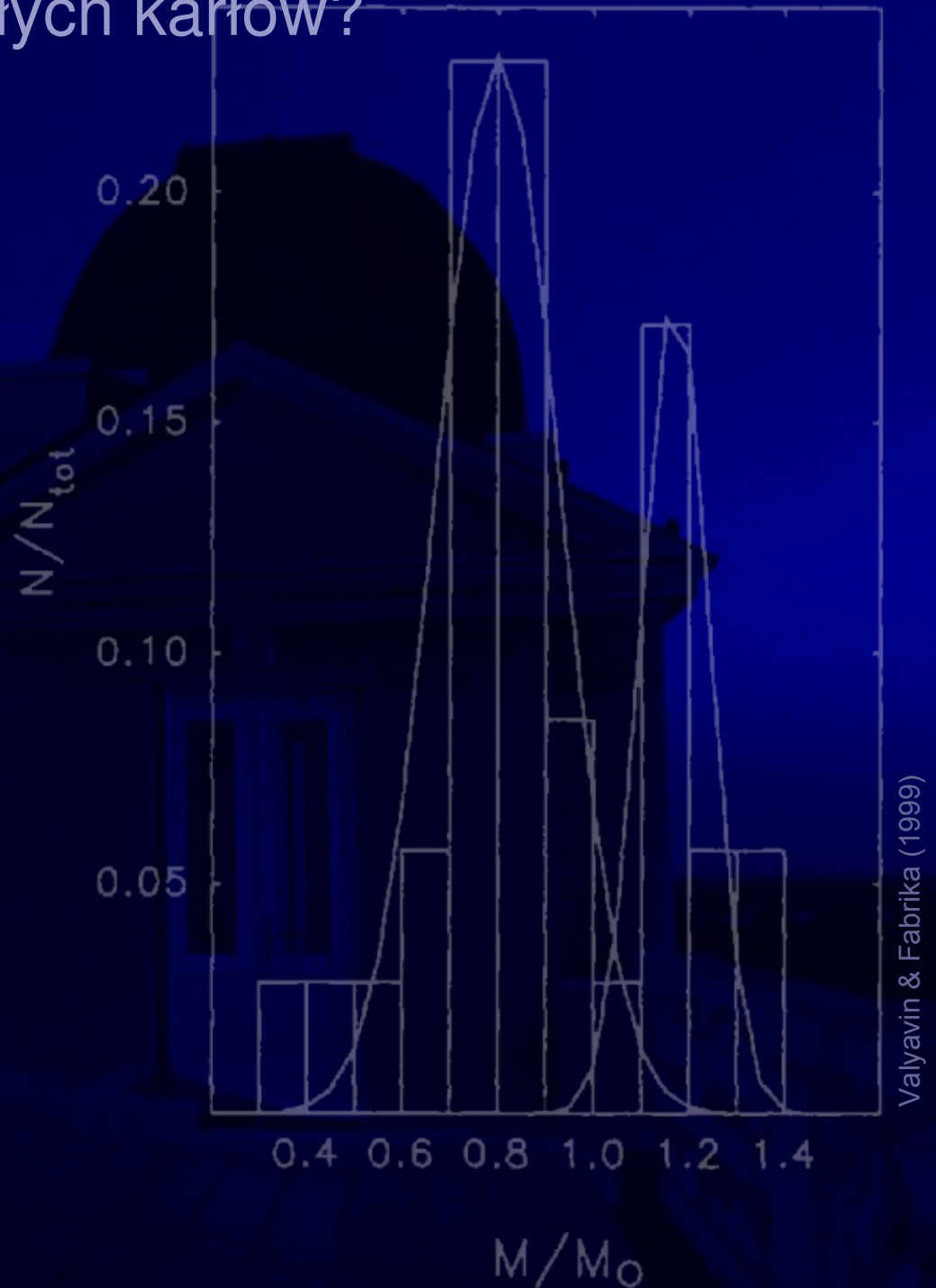
Bardziej sugestywny wykres...

- ❄ W 1999 roku Valyavin i Fabrika opublikowali rozkład mas magnetycznych białych karłów.
- ❄ Choć histogram został sporządzony na podstawie mas tylko 35 białych karłów, doskonale widoczna jest dwumodalność rozkładu, sugestywnie zresztą podkreślona dopasowanymi liniami ciągłymi.



Populacja masywnych białych karłów?

Tworzące wtórne maksimum rozkładu masywne białe karły mogłyby powstawać poprzez zlanie się dwóch “normalnych” białych karłów, o czym świadczyć mogłoby to, że maksimum rozkładu wypada w okolicy $0.5 M_{\odot}$, zaś wtórne przy $1-1.1 M_{\odot}$.



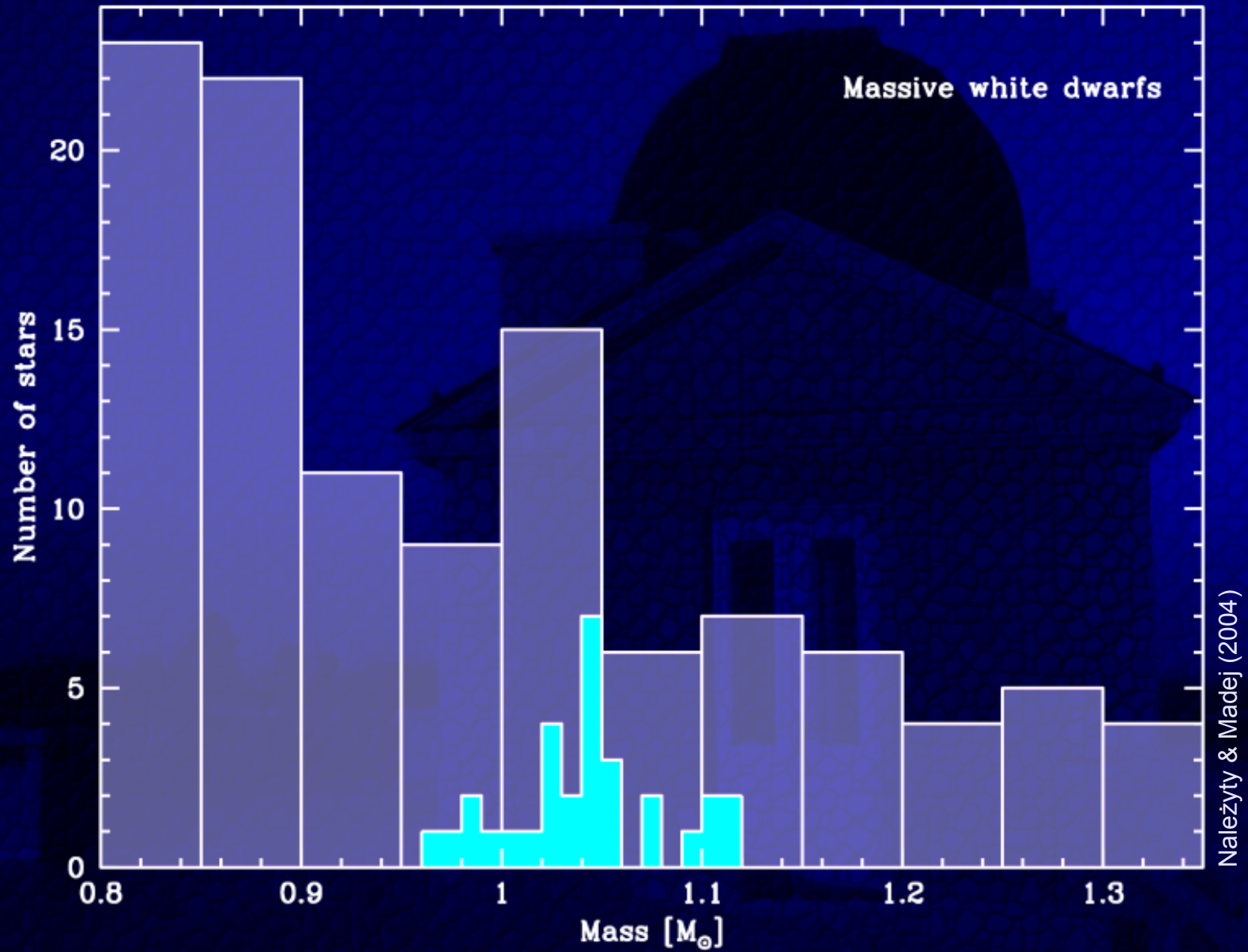
Katalog Masywnych Białych Karłów (MWDCat)

- ❄ Chcieliśmy sprawdzić, czy masywne białe karły tworzą odrębną populację tego typu obiektów.
- ❄ 112 (wtedy!) masywnych izolowanych białych karłów – za masywne zostały uznane te, których masy $M \geq 0.8 M_{\odot}$.
- ❄ Masy, oraz pozostałe parametry białych karłów (m.in. temperatury efektywne, logarytmy grawitacji, odległości) zostały zebrane na podstawie istniejącej literatury.
- ❄ T_{eff} , $\log g$, M i pozostałe parametry prezentowane w MWDCat są średnimi arytmetycznymi danych indywidualnych, uzyskanych przez poszczególnych autorów w różny sposób. Tak więc próbka gwiazd zaprezentowana w Katalogu Masywnych Białych Karłów z pewnością jest niejednorodna.

Massive White Dwarfs Catalogue
by M. Należyty and J. Madej (2004)

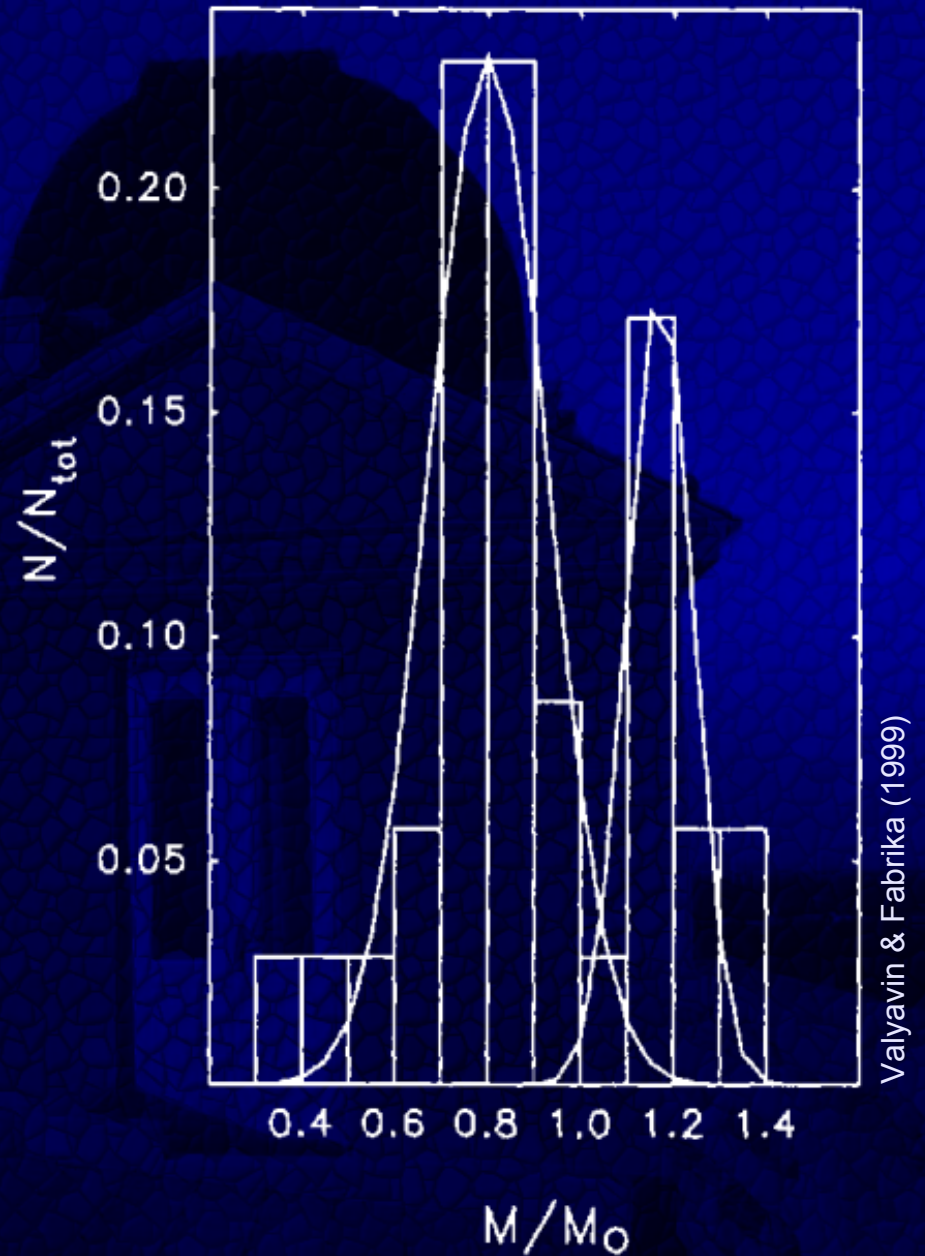
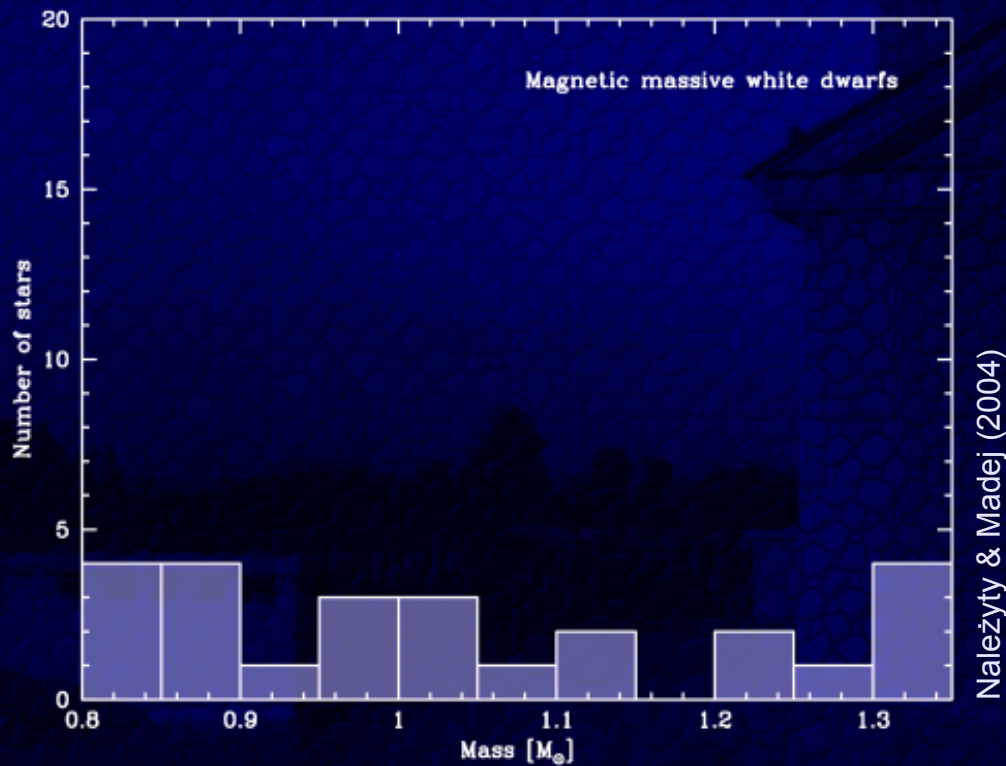
WD	name	T_{eff}	ΔT_{eff}	$\log g$	$\Delta \log g$	$M/M_{\odot}$	$\Delta M/M_{\odot}$	R	B_s	B_p	d	Rem.	References
0000–345	GR406	7000				0.92			70			m	5
0003+436J	RE0003+433	45107	1362	9.01	0.15	1.21	0.06	3907			101		1a, 1b, 2, 3, 4
0008+330	HS0008+3302	10300		8.35		0.83		6960			85		14
0009+501	GR381	6400				0.89				70		m	17
0022+274	LP349–013	25000				0.862					29	b	8
0033+016	EG004	10700		8.66		1.02		5440			32.9		6
0041+092	BD+08°102	28960	50	8.50		0.90		6180			55	b	27, 28

Rozkład mas w MWDCat



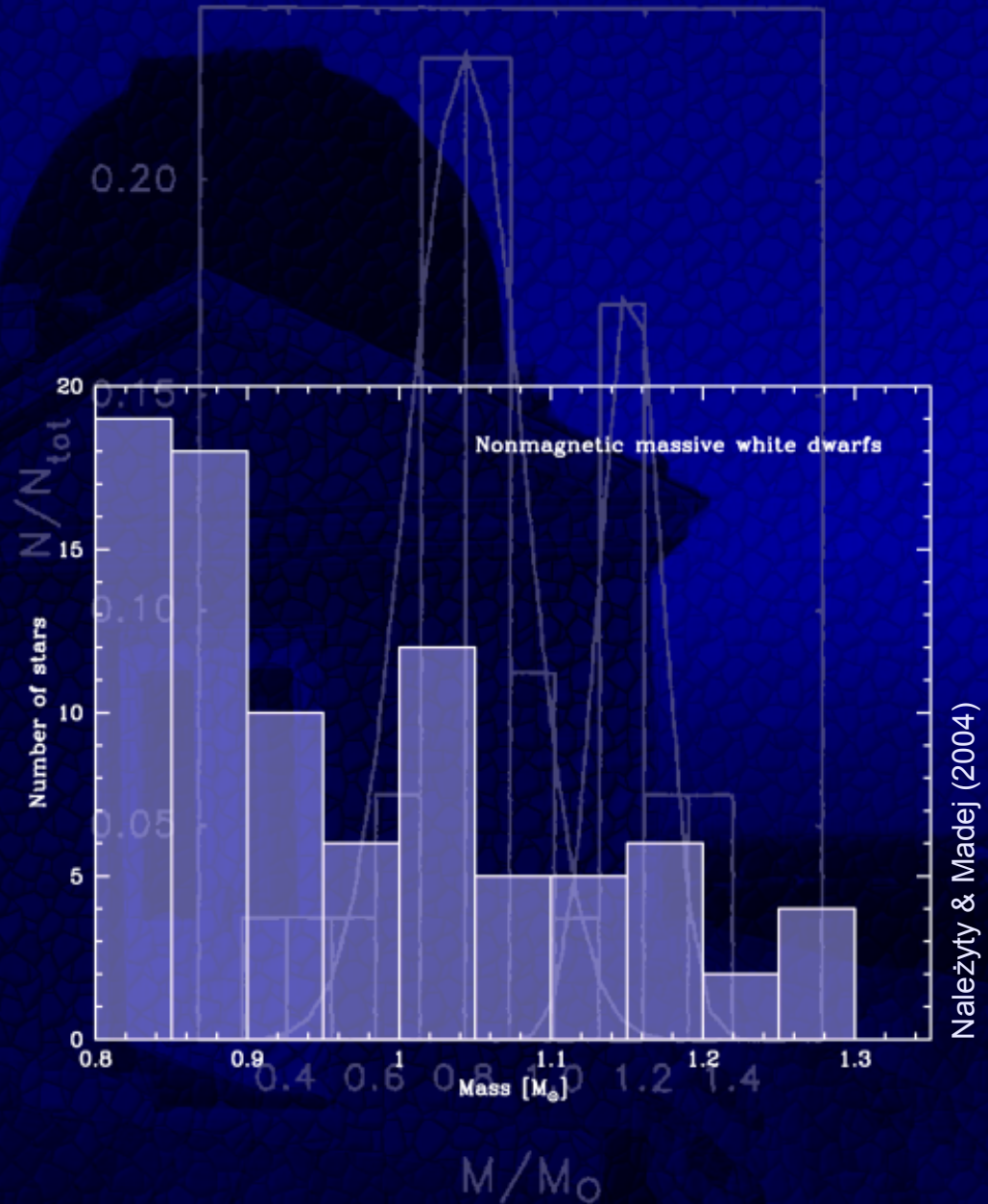
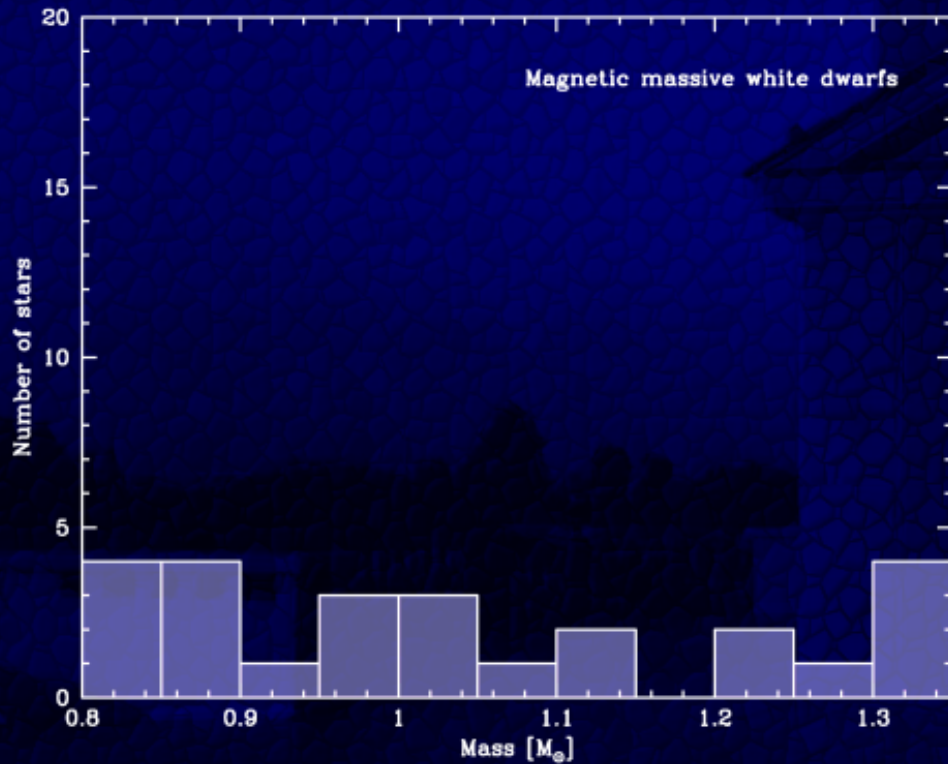
WD	name	T_{eff}	ΔT_{eff}	$\log g$	$\Delta \log g$	$M/M_{\odot}$	$\Delta M/M_{\odot}$	R	B_s	B_p	d	Rem.	References
----	------	-----------	------------------	----------	-----------------	---------------	----------------------	-----	-------	-------	-----	------	------------

Magnetyczne białe karły: MWDCat czy Valyavin i Fabrika?



WD	name	T_{eff}	ΔT_{eff}	$\log g$	$\Delta \log g$	$M/M_{\odot}$	$\Delta M/M_{\odot}$	R	B_s	B_p	d	Rem.	References
----	------	------------------	-------------------------	----------	-----------------	---------------	----------------------	-----	-------	-------	-----	------	------------

Magnetyczne i niemagnetyczne białe karły: MWDCat



Należyty & Madej (2004)

WD	name	T_{eff}	ΔT_{eff}	$\log g$	$\Delta \log g$	$M/M_{\odot}$	$\Delta M/M_{\odot}$	R	B_s	B_p	d	Rem.	References
----	------	-----------	------------------	----------	-----------------	---------------	----------------------	-----	-------	-------	-----	------	------------



Sloan Digital Sky Survey

Obiekty:

- główne: galaktyki, kwazary i generalnie wielkoskalowe struktury we Wszechświecie,
- poboczne: gwiazdy różnych typów widmowych – wśród nich **białe karły**.

Obserwacje

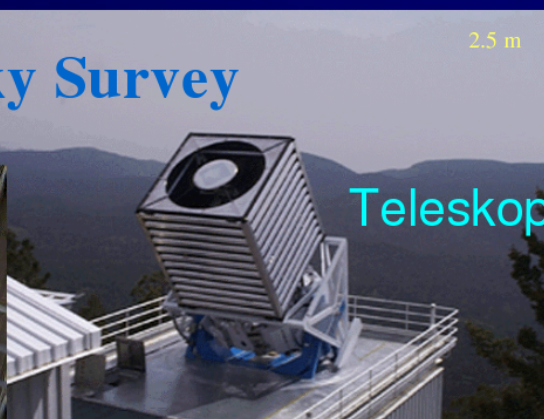


Sloan Digital Sky Survey

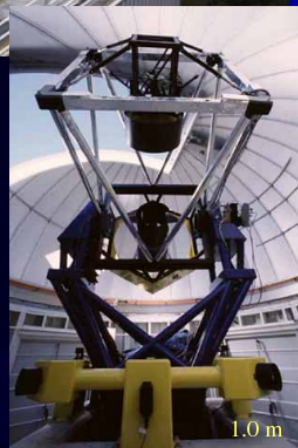


2.5 m

Teleskopy

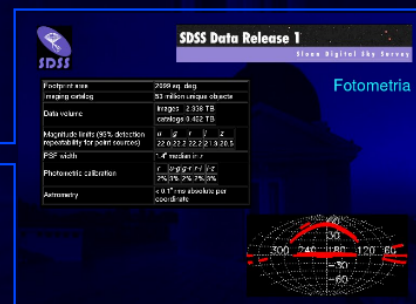


Obserwatorium
Apache Point,
Nowy Meksyk.



System fotometryczny:

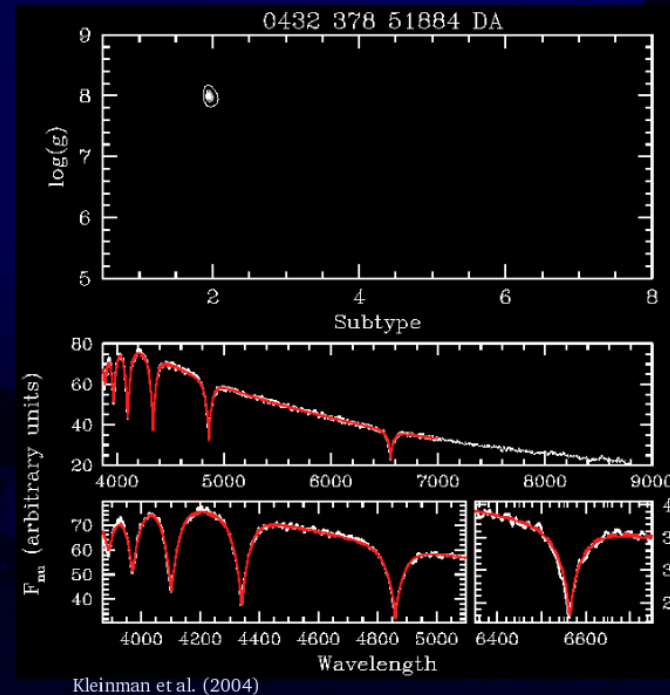
- ugriz* – w założeniu jednakowy na wszystkich trzech instrumentach, w praktyce są jednak istotne różnice.



Szczegółowe informacje o projekcie SDSS:
<http://www.sdss.org/>
York et al. (2000)

Białe karły DA

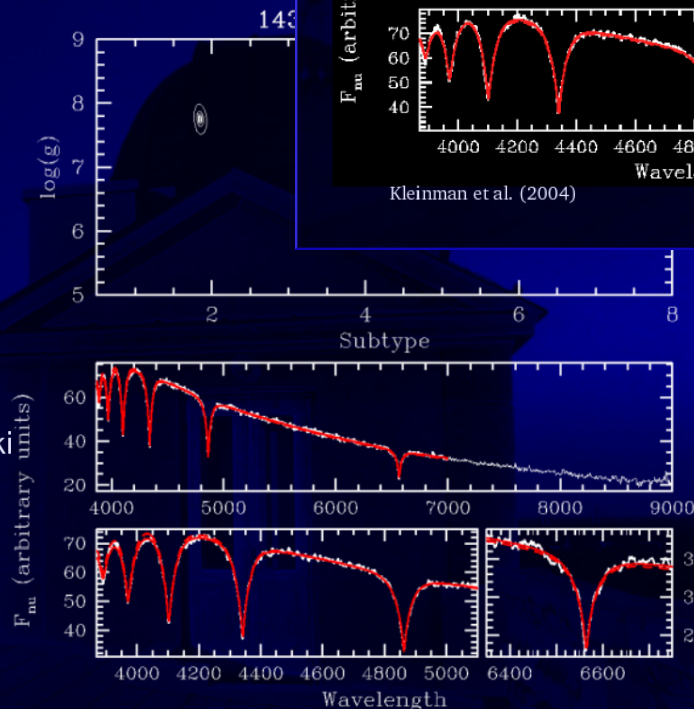
Kleinman et al. (2004) dopasowali szeroko stosowaną siatkę modeli czysto wodorowych atmosfer autorstwa Detleva Koestera (zob. Finley, Koester & Basri 1997) do obserwowanych widm. Parametrami tego dopasowania są grawitacja na powierzchni białego karła (zwyczajowo $\log g$) oraz temperatura efektywna T_{eff} .



Kleinman et al. (2004)

Białe karły w SDSS Data Release 4

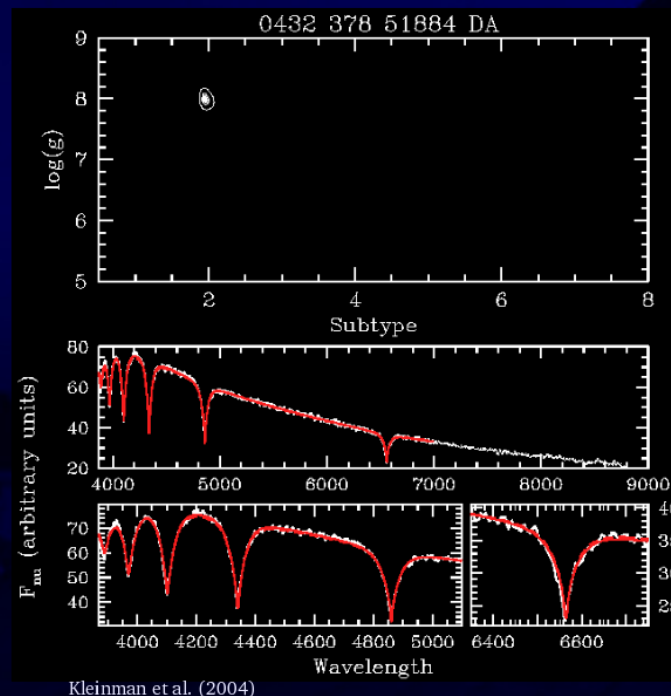
- * W 2006 roku Eisenstein et al. na podstawie fotometrii i modelowania widm wybrali 9316 białych karłów.
- * Dla ponad 7000 białych karłów typu DA white Eisenstein et al. (2006) dopasowali obserwowane widma do szeroko stosowanej siatki modeli atmosfer czysto wodorowych Detleva Koestera (zob. Finley, Koester & Basri 1997).





Białe karły DA

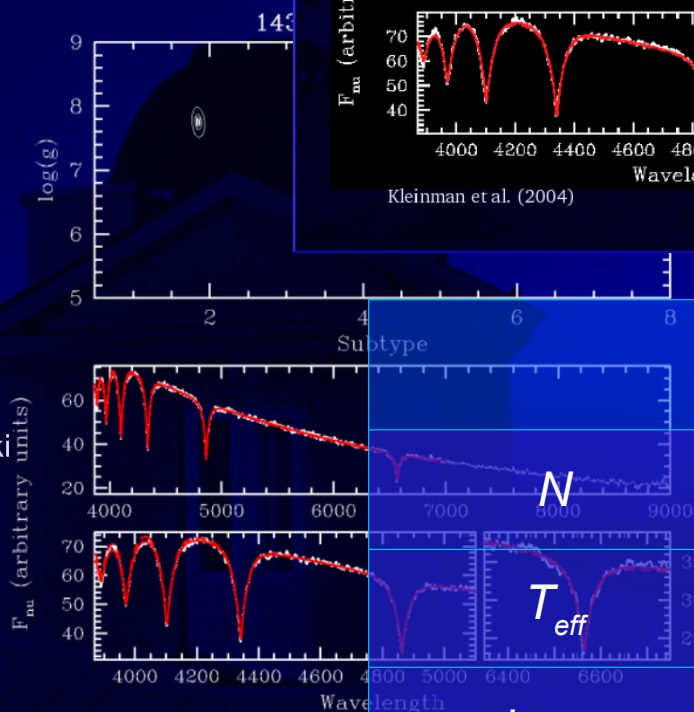
Kleinman et al. (2004) dopasowali szeroko stosowaną siatkę modeli czysto wodorowych atmosfer autorstwa Detleva Koestera (zob. Finley, Koester & Basri 1997) do obserwowanych widm. Parametrami tego dopasowania są grawitacja na powierzchni białego karła (zwyczajowo $\log g$) oraz temperatura efektywna T_{eff} .



Kleinman et al. (2004)

Białe karły w SDSS Data Release 4

- * W 2006 roku Eisenstein et al. na podstawie fotometrii i modelowania widm wybrali 9316 białych karłów.
- * Dla ponad 7000 białych karłów typu DA white Eisenstein et al. (2006) dopasowali obserwowane widma do szeroko stosowanej siatki modeli atmosfer czysto wodorowych Detleva Koestera (zob. Finley, Koester & Basri 1997).



$\log g$

SDSS DR1

1833

7220 - 93855

6.5 - 9.0

SDSS DR4

7134

6300 - 100000

5.0 - 9.0



Jak zważyć białego karła?

Można to zrobić na wiele sposobów.

Sposób pierwszy: biały karzeł w układzie podwójnym.

- ❄ Istnieje pewna liczba układów podwójnych, których jednym ze składników jest biały karzeł, np. Syriusz B, 40 Eri B czy też Procyon B. Ale nie wszystkie znane białe karły mają towarzyszy.
- ❄ Uzyskuje się wyznaczenia mas ze sporą precyzją, przy minimalnej liczbie założeń i bez uwzględniania budowy wewnętrznej i teorii atmosfer samego białego karła. Z fantastyczną wręcz dokładnością udaje się “wżyć” białe karły w układach podwójnych z gwiazdą neutronową.
- ❄ Niestety, szczególnie w przypadku ciasnych układów podwójnych wielce prawdopodobne jest, że składniki układu przeszły przez etap wymiany masy, bądź też właśnie w nim uczestniczą.

Jak zważyć białego karła?

Można to zrobić na wiele sposobów.

Sposób drugi: pulsujący biały karzeł.

- ❄ Masy wyznacza się bezpośrednio z analizy modów pulsacyjnych.
- ❄ Metoda ta ma zastosowanie dla gwiazd w pewnych tylko zakresach temperatur efektywnych, bo przecież nie wszystkie białe karły pulsują (w zasadzie stosuje się ją tylko dla pre-białych karłów, np. dla gwiazd typu PG 1159).

Jak zważyć białego karła?

Można to zrobić na wiele sposobów.

Sposób trzeci: bezpośredni pomiar poczerwienienia grawitacyjnego.

- ❄ Konieczna spektroskopia, choć na szczęście przesunięcia linii mierzalne, bo spora grawitacja na powierzchni białego karła. Niestety metoda ograniczona jest do białych karłów ze stosunkowo wąskimi liniami widmowymi H_{α} i H_{β} , a dodatkowo jeszcze trzeba znać składową radialną ruchu własnego obiektu.
- ❄ Otrzymuje się grawitację, czyli de facto stosunek masy M i promienia R . Niestety do wyznaczenia samej masy potrzebne jest albo niezależne wyznaczenie promienia, albo też teoretyczna zależność masa-promień.
- ❄ R można wyznaczyć np. z prawa Stefana-Boltzmann'a, ale wtedy po pierwsze potrzebujemy temperatury efektywnej, a po drugie jasności (bolometrycznej) bądź też wielkości gwiazdowej absolutnej (teoria atmosfer białych karłów lub pomiar odległości).

Jak zważyć białego karła?

Można to zrobić na wiele sposobów.

Sposób czwarty: pomiar paralaksy trygonometrycznej.

- ❄ Dzięki temu możemy wyznaczyć promień białego karła przy minimalnym udziale teorii atmosfer gwiazd. Wystarczy tylko znać temperaturę efektywną (poprzez dopasowanie modelu do obserwacji) i jasność L – tę ostatnią dostaniemy dzięki odległości z paralaksy.
- ❄ Niestety by wyznaczyć masy, konieczne jest zastosowanie teoretycznej zależności masa-promień. Co więcej, z wystarczająco dobrą precyzją musimy znać paralaksę, co ogranicza zastosowanie tej metody do bliskich, chłodnych i zazwyczaj innych typów niż DA, białych karłów.

Jak zważyć białego karła?

Można to zrobić na wiele sposobów.

Sposób piąty: pełne porównanie obserwowanych cech widmowych białego karła z przewidywaniami teorii atmosfer.

- ❄ Parametrami owego porównywania, czyli dopasowywania modelu (linii widmowej czy też całego fragmentu widma) do obserwowanego widma są temperatura efektywna T_{eff} i logarytm grawitacji $\log g$.
- ❄ By wyznaczyć masę białego karła, oprócz definicji grawitacji powierzchniowej potrzebna jeszcze będzie teoretyczna zależność masa-promień.
- ❄ Zaletą tej metody jest jej szerokie zastosowanie i brak konieczności znajomości odległości do ważonych obiektów.

Jak zważyć białego karła?

Można to zrobić na wiele sposobów.

Sposób piąty: pełne porównanie obserwowanych cech widmowych białego karła z przewidywaniami teorii atmosfer.

Metoda ta, przedstawiona w 1992 roku przez Bergerona, Saffera i Lieberta, jest polecana do analizy liczebnych próbek gwiazd. W wyniku jej zastosowania otrzymuje się spektroskopowe masy i promienie, oraz ich błędy, silnie zależne jakości zastosowanej teorii atmosfer i tworzenia się widmowych linii wodorowych.

Masy i promienie zostały policzone z kombinacji dwóch zależności:

1. Definicja grawitacji powierzchniowej g

$$M = \frac{R^2}{G} 10^{\log g}$$

2. Teoretyczna zależność masa - promień

$$M = M(R, T_{eff})$$

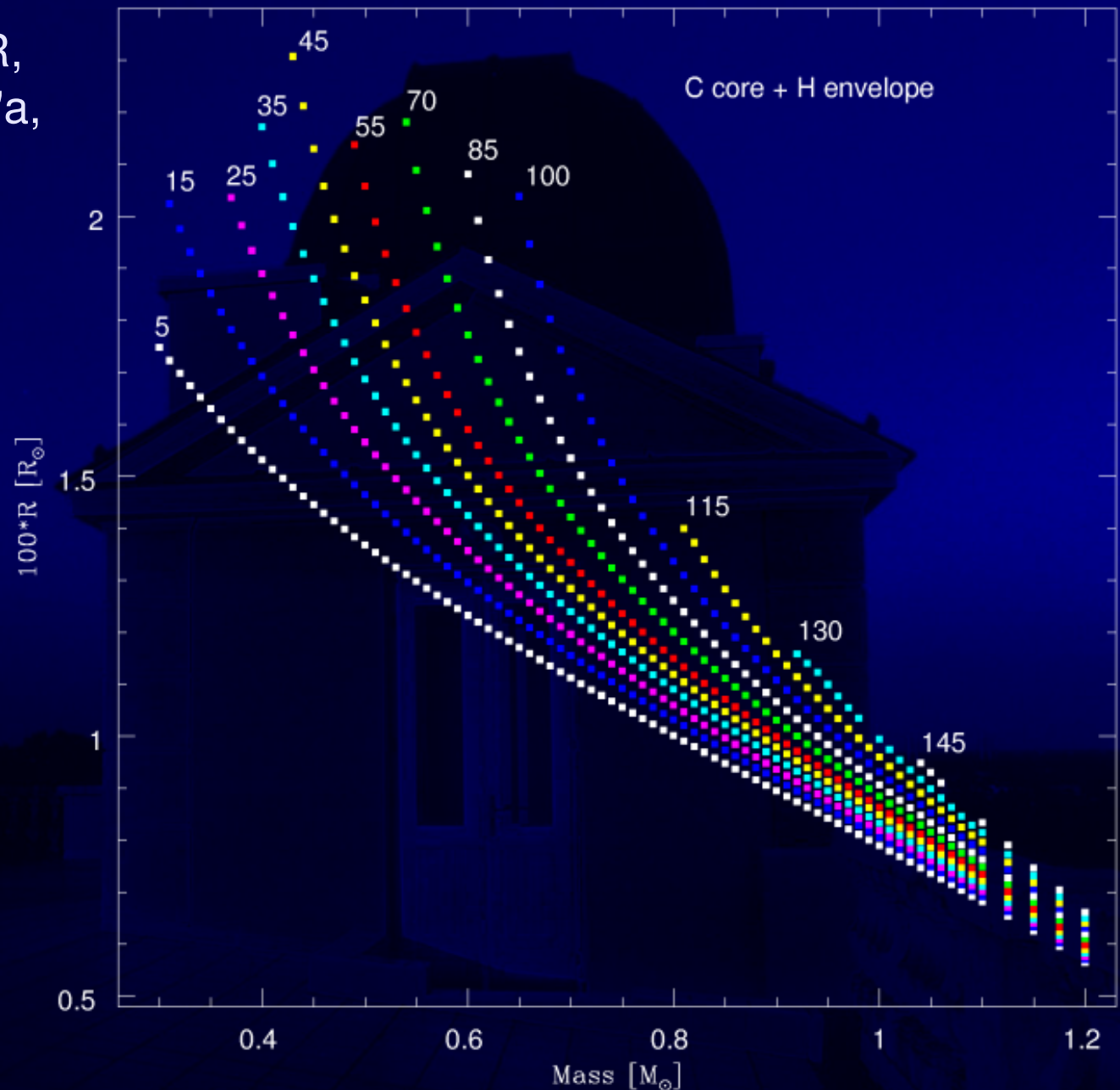
Zależność masa – promień (M-R)

Użyliśmy zależności M-R,
policzonymi przez Panei'a,
Althausa i Benvenuto
(Panei et al. 2000):

są to szczegółowe
relacje masa-promień
dla białych karłów o
jądrach:

- helowych,
- węglowych,
- tlenowych,
- krzemowych,
- żelaznych,

oparte o dogłębną
znajomość ewolucji
białych karłów.



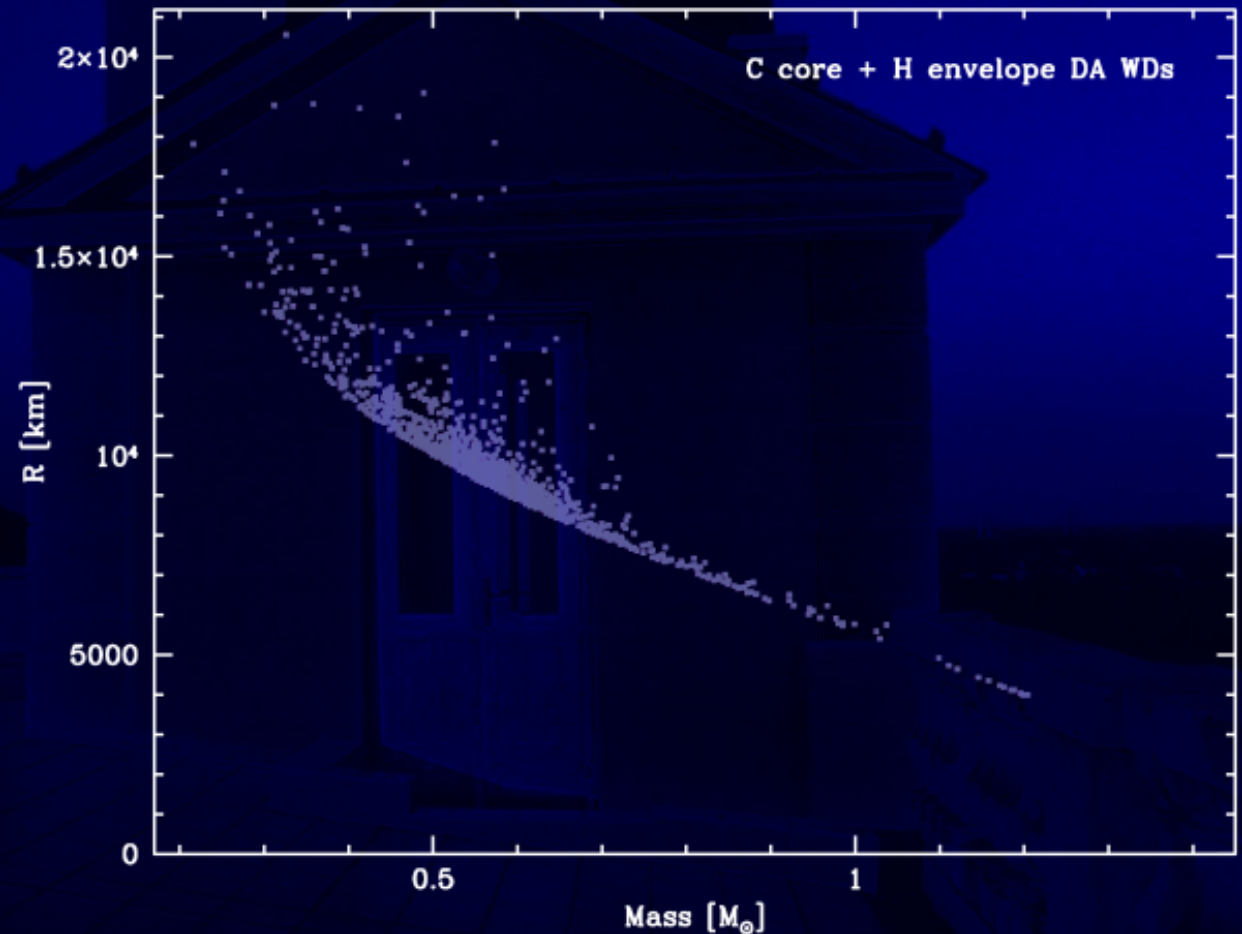
Wyznaczanie mas i promieni

Podstawowy zestaw spektroskopowych mas M i promieni R otrzymaliśmy zakładając zależność M - R dla białych karłów z czysto węglowym jądrem i otoczką wodorową $M_H/M_* = 10^{-5}$, dla wszystkich białych karłów DA (Madej, Należyty & Althaus 2004, Ciechanowska et al. 2006).

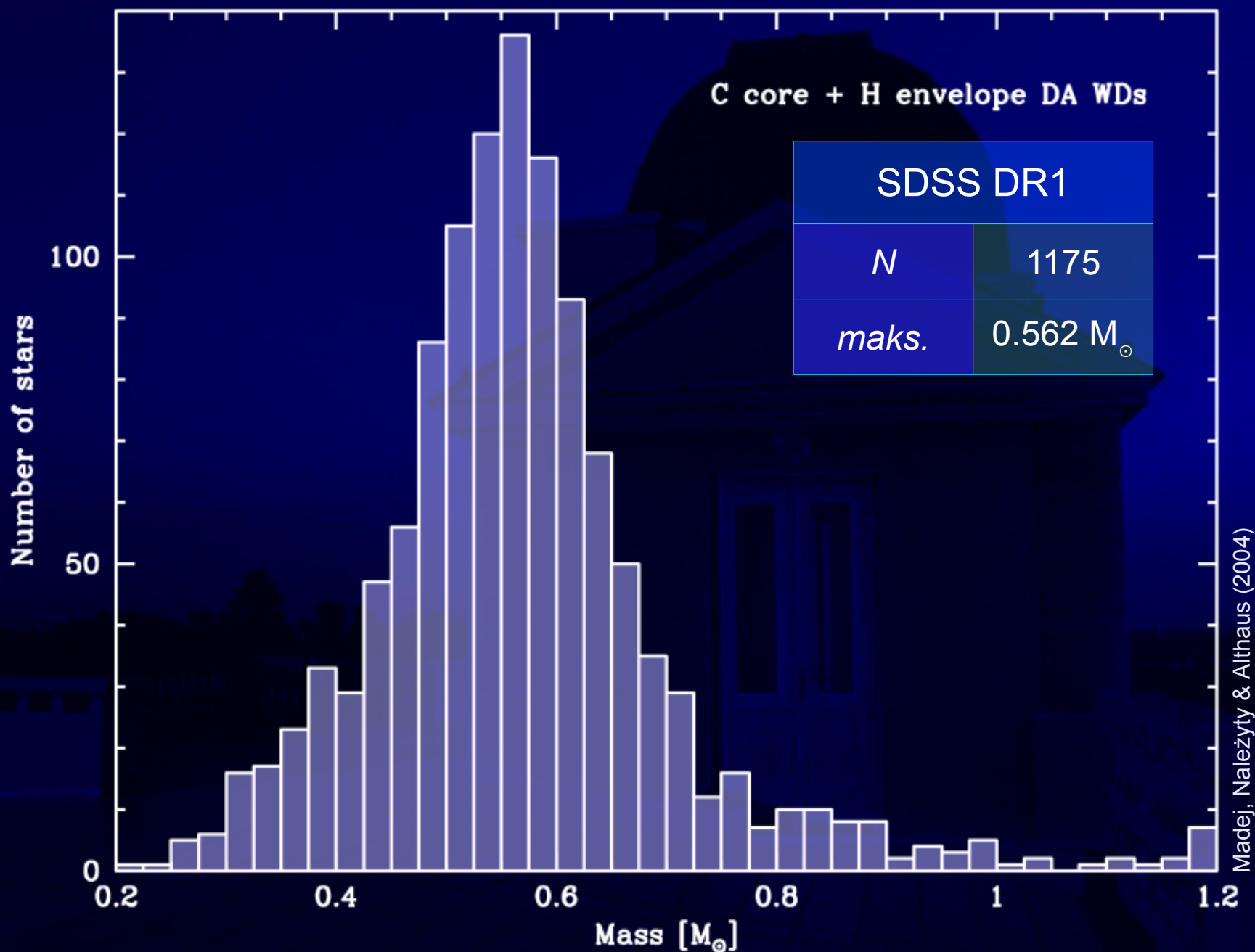
By uniknąć zniekształceń masywnego końca rozkładu mas białych karłów, do dalszej analizy wybraliśmy fragment oryginalnej próbki SDSS białych karłów DA

- o $T_{\text{eff}} \geq 12000$ K.

Grawitacje chłodniejszych białych karłów są bowiem systematycznie większe niż dla gorętszych gwiazd i większe niż się spodziewamy.

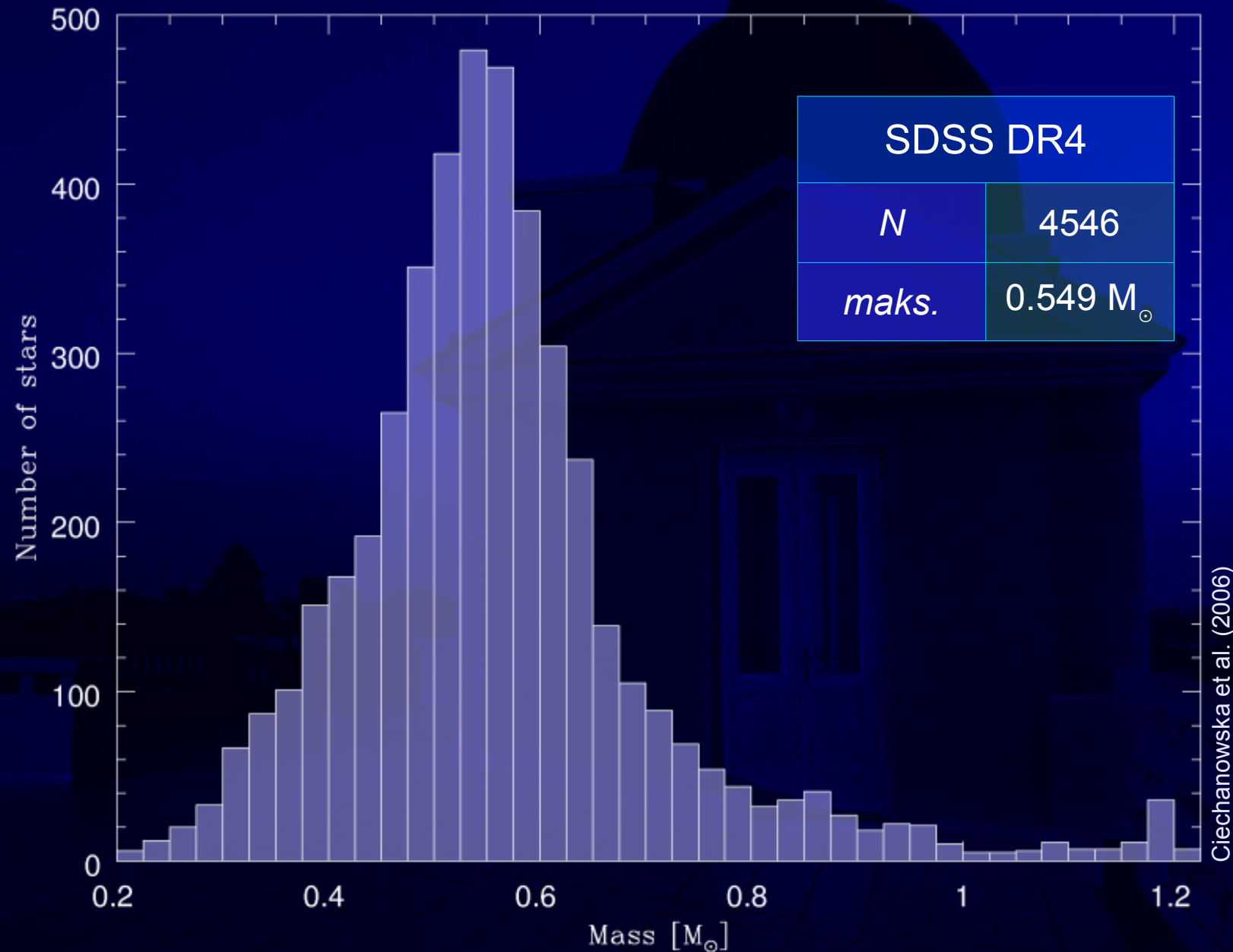


Rozkład mas białych karłów DA o $T_{\text{eff}} \geq 12000$ K



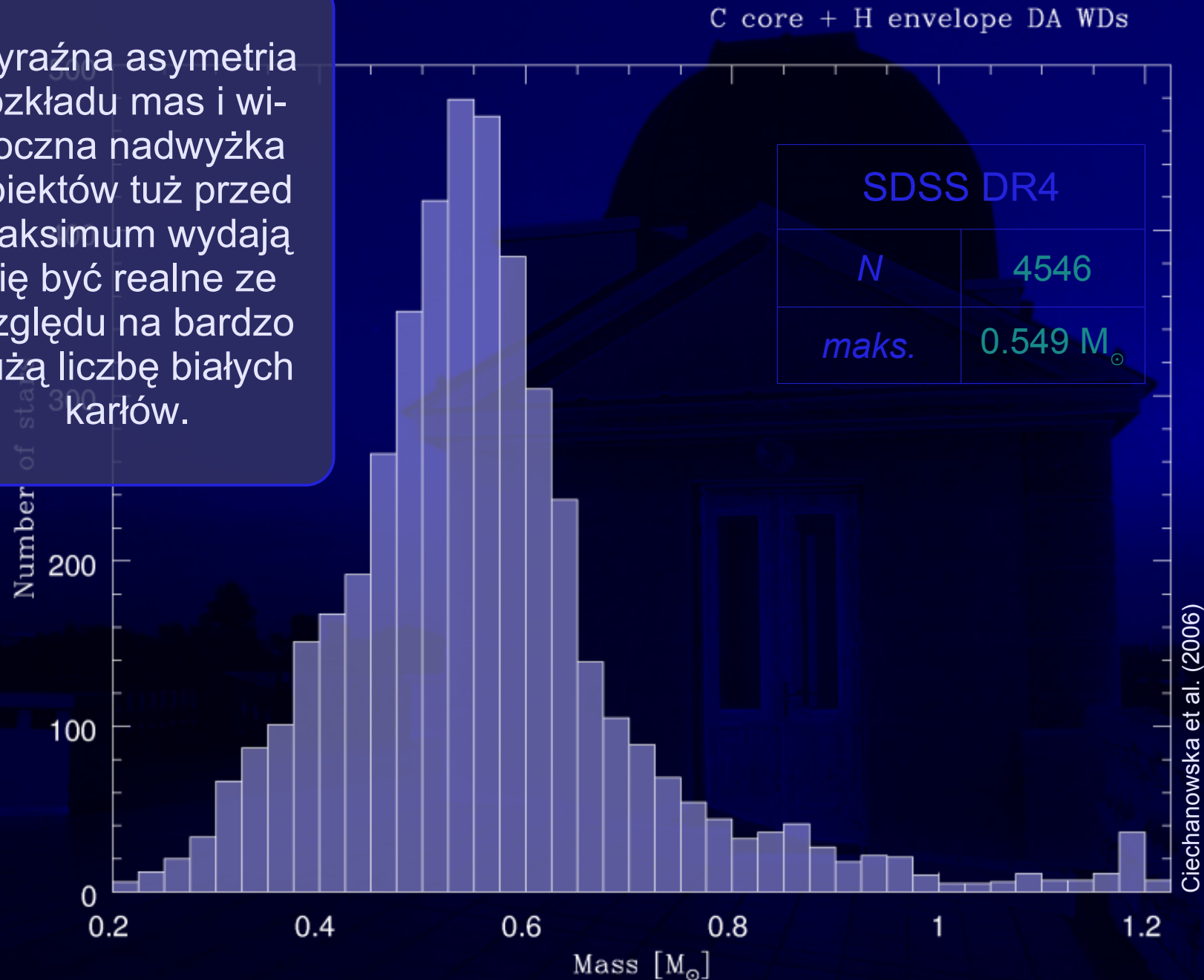
Rozkład mas białych karłów DA o $T_{\text{eff}} \geq 12000$ K

C core + H envelope DA WDs



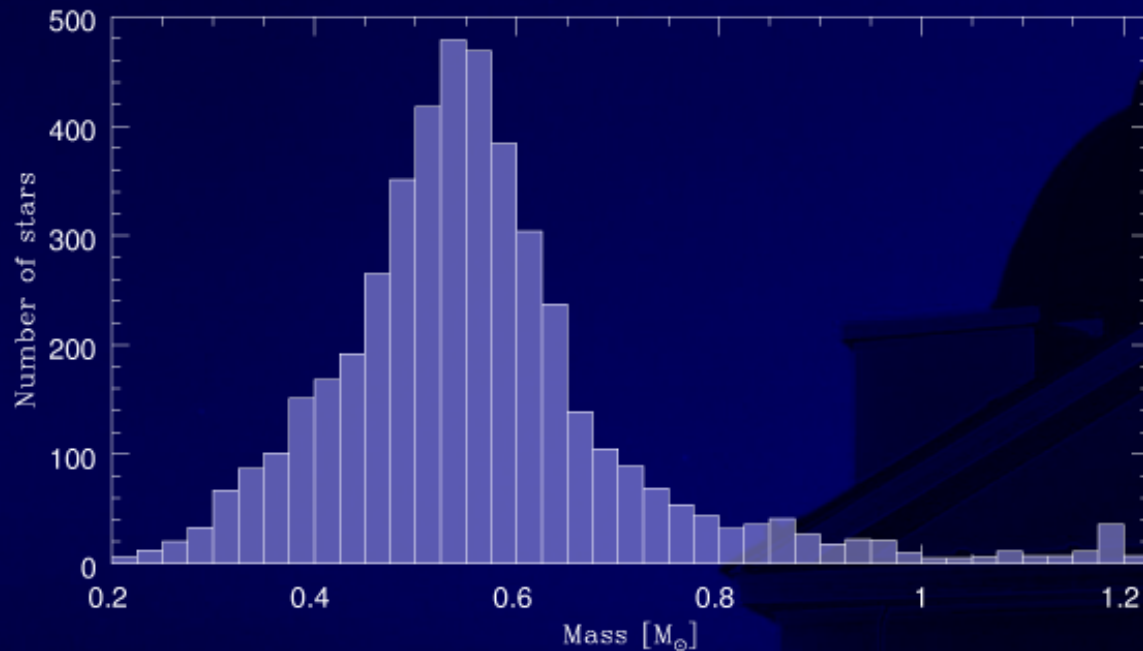
Rozkład mas białych karłów DA o $T_{\text{eff}} \geq 12000$ K

Wyraźna asymetria rozkładu mas i widoczna nadwyżka obiektów tuż przed maksimum wydają się być realne ze względu na bardzo dużą liczbę białych karłów.



Rozkłady mas białych karłów dla różnych przedziałów T_{eff}

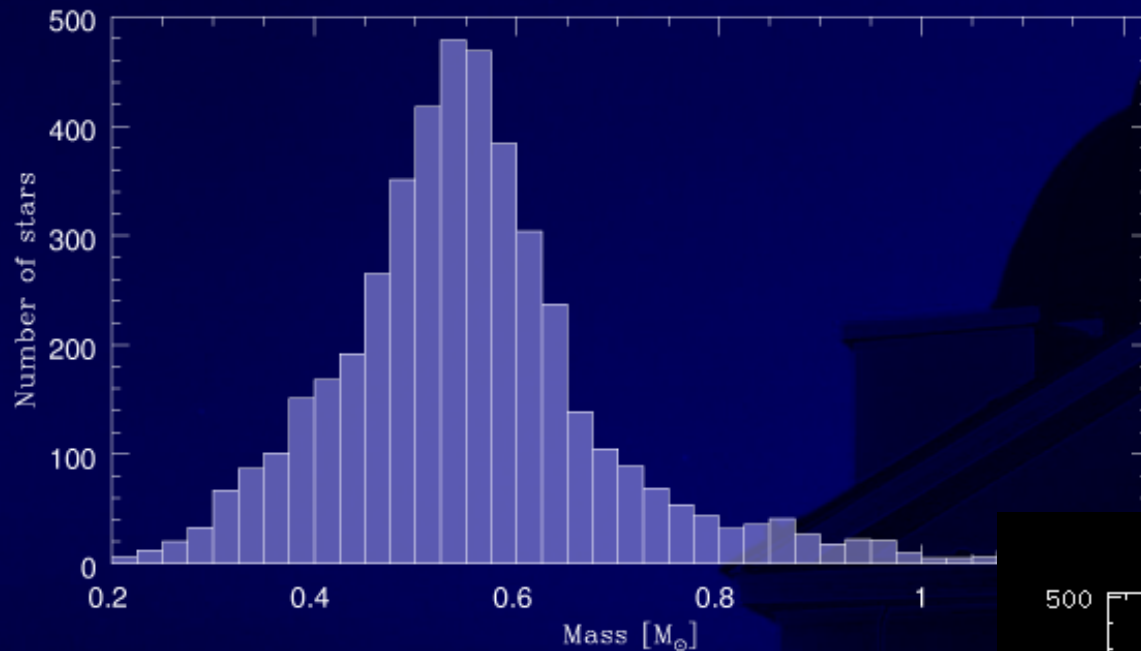
C core + H envelope DA WDs



- ❄ Asymetria rozkładu mas białych karłów jest niemalże bliźniaczo podobna do asymetrii rozkładu mas dla SDSS DR1 - zdecydowaliśmy się przyrzeć jej bliżej.

Rozkłady mas białych karłów dla różnych przedziałów T_{eff}

C core + H envelope DA WDs

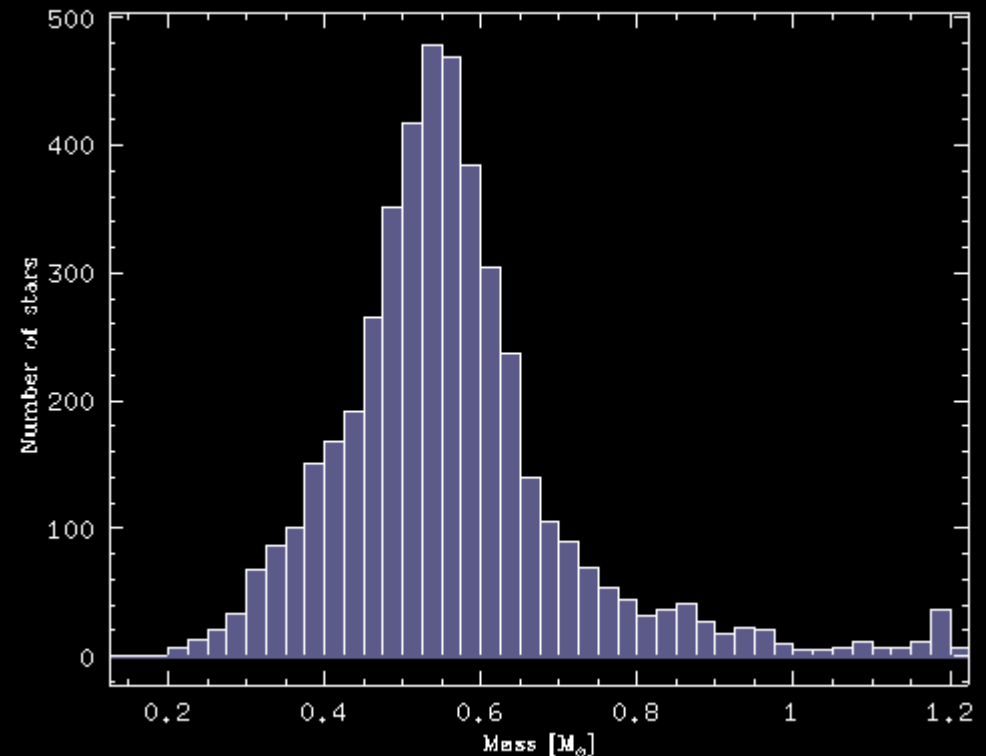


* Asymetria rozkładu mas białych karłów jest niemalże bliźniaczo podobna do asymetrii rozkładu mas dla SDSS DR1 - zdecydowaliśmy się przyjrzeć jej bliżej.

* Jak będą wyglądały rozkłady mas dla białych karłów o temperaturach efektywnych większych od pewnej granicznej wartości?

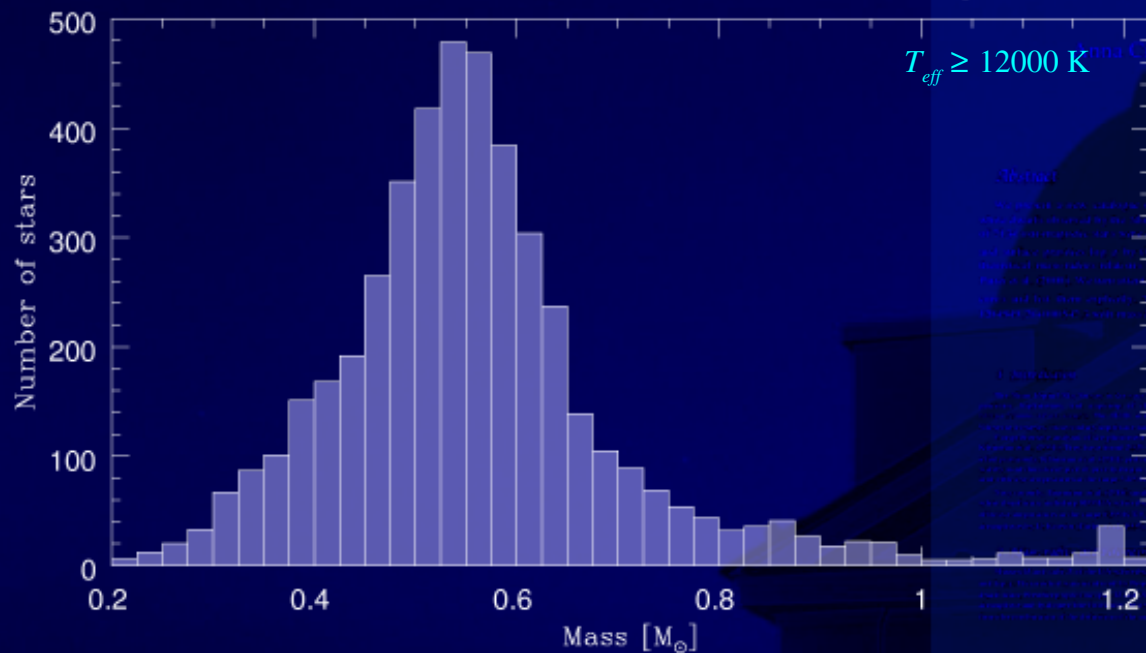
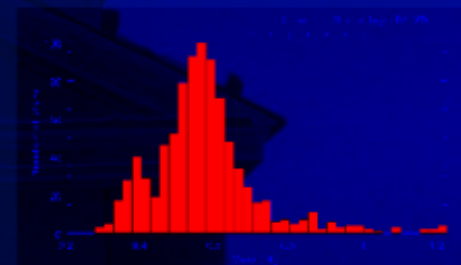
$T_{\text{eff}} \geq 12000$ K

C core + H envelope DA WDs



Drugie maksimum?

C core + H envelope DA WDs


$$T_{eff} \geq 12000 \text{ K}$$


C core + H envelope DA WDs

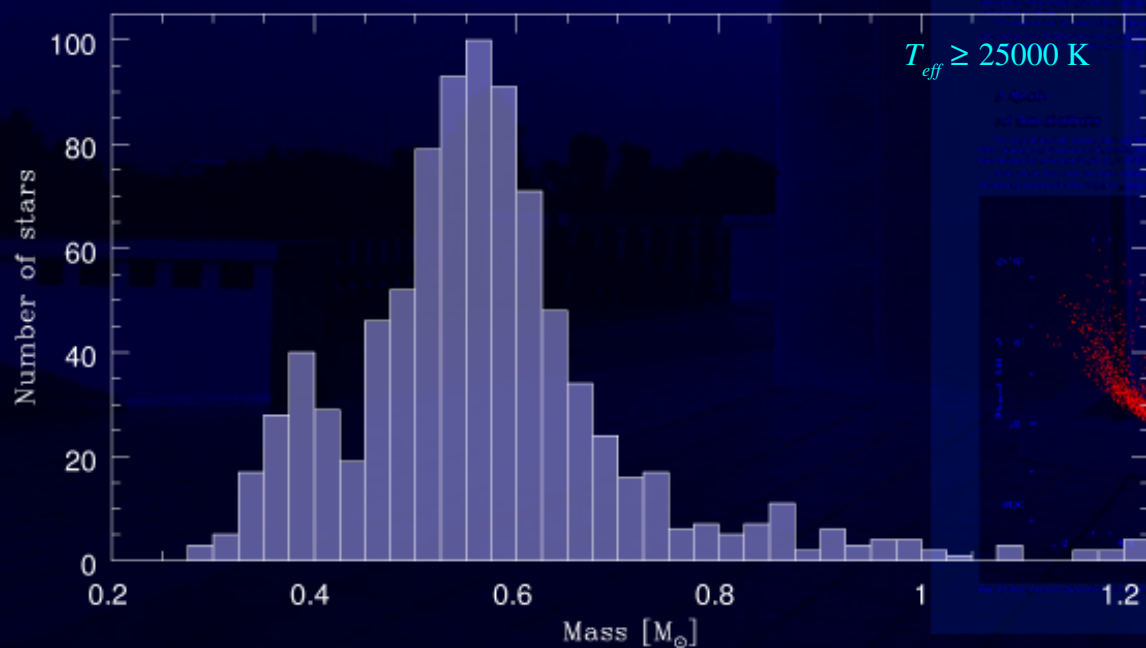
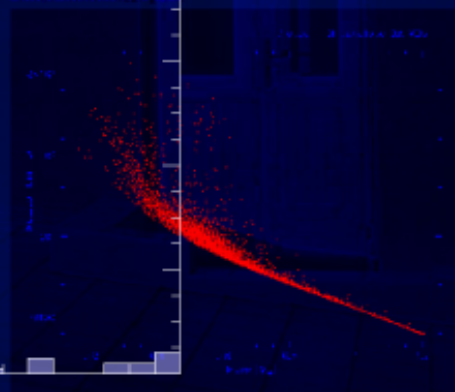
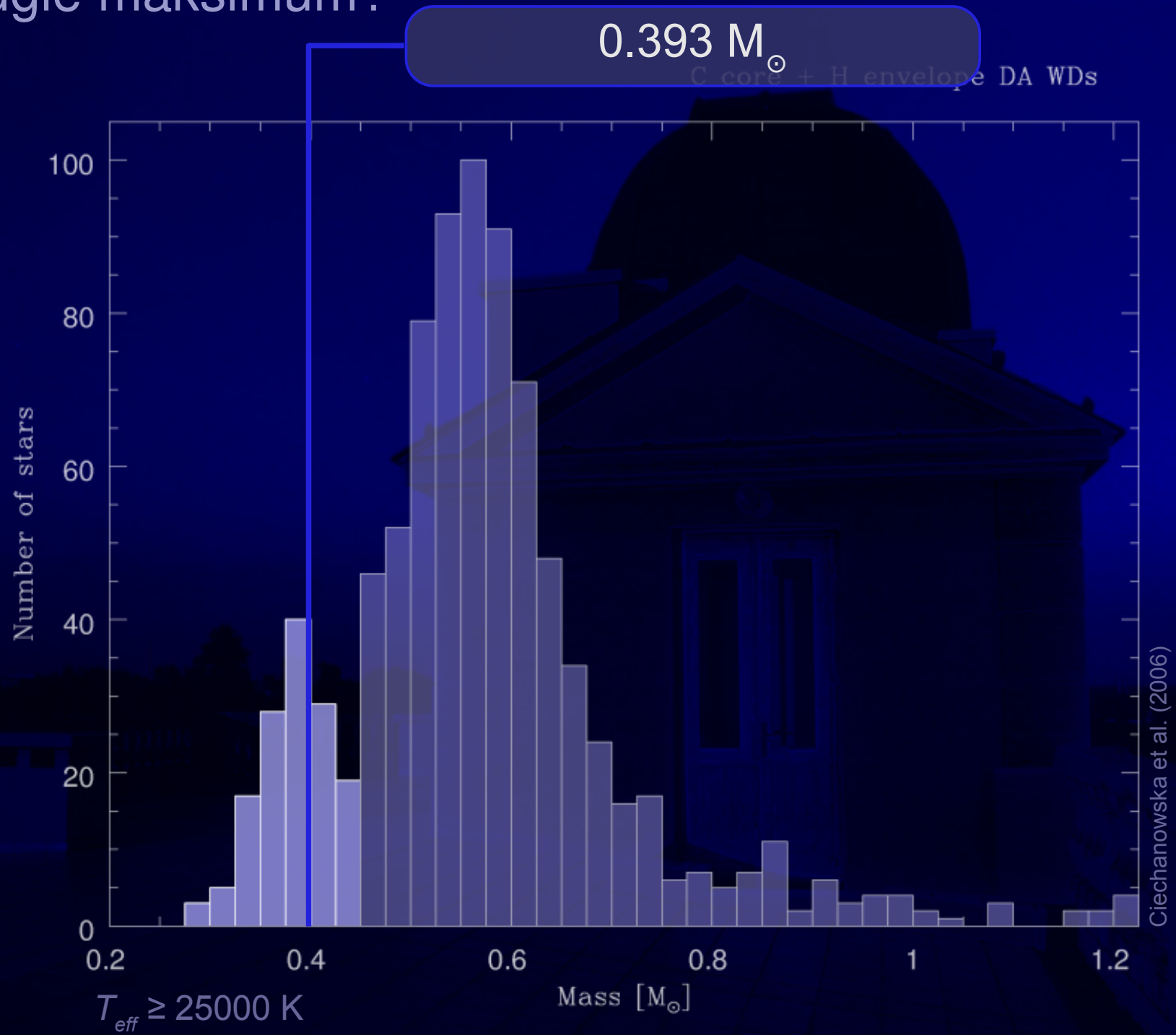
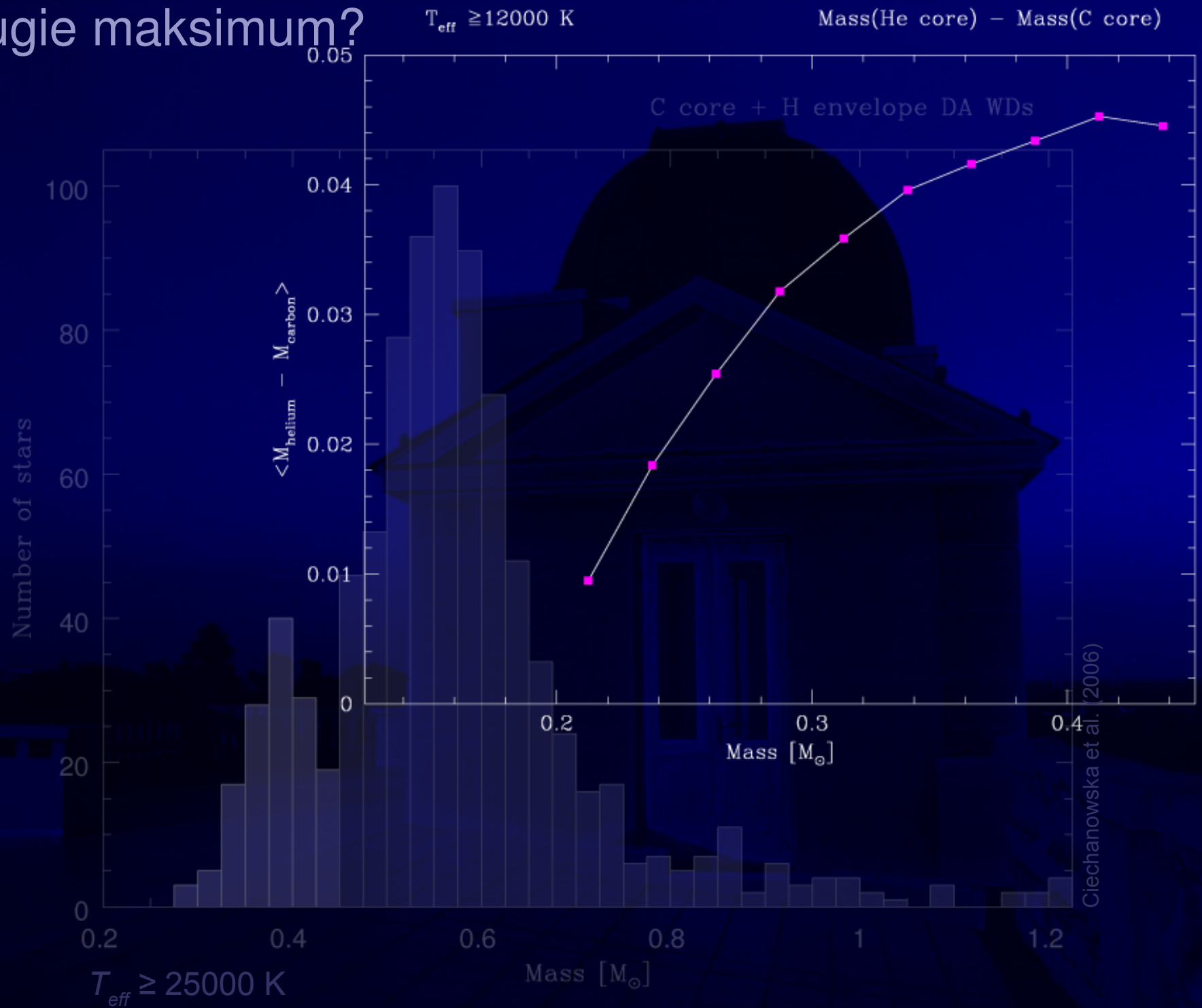

$$T_{eff} \geq 25000 \text{ K}$$


Fig. 3. Change in the volume of the ^{125}I -labeled protein fraction in the presence of 100 mM NaCl.

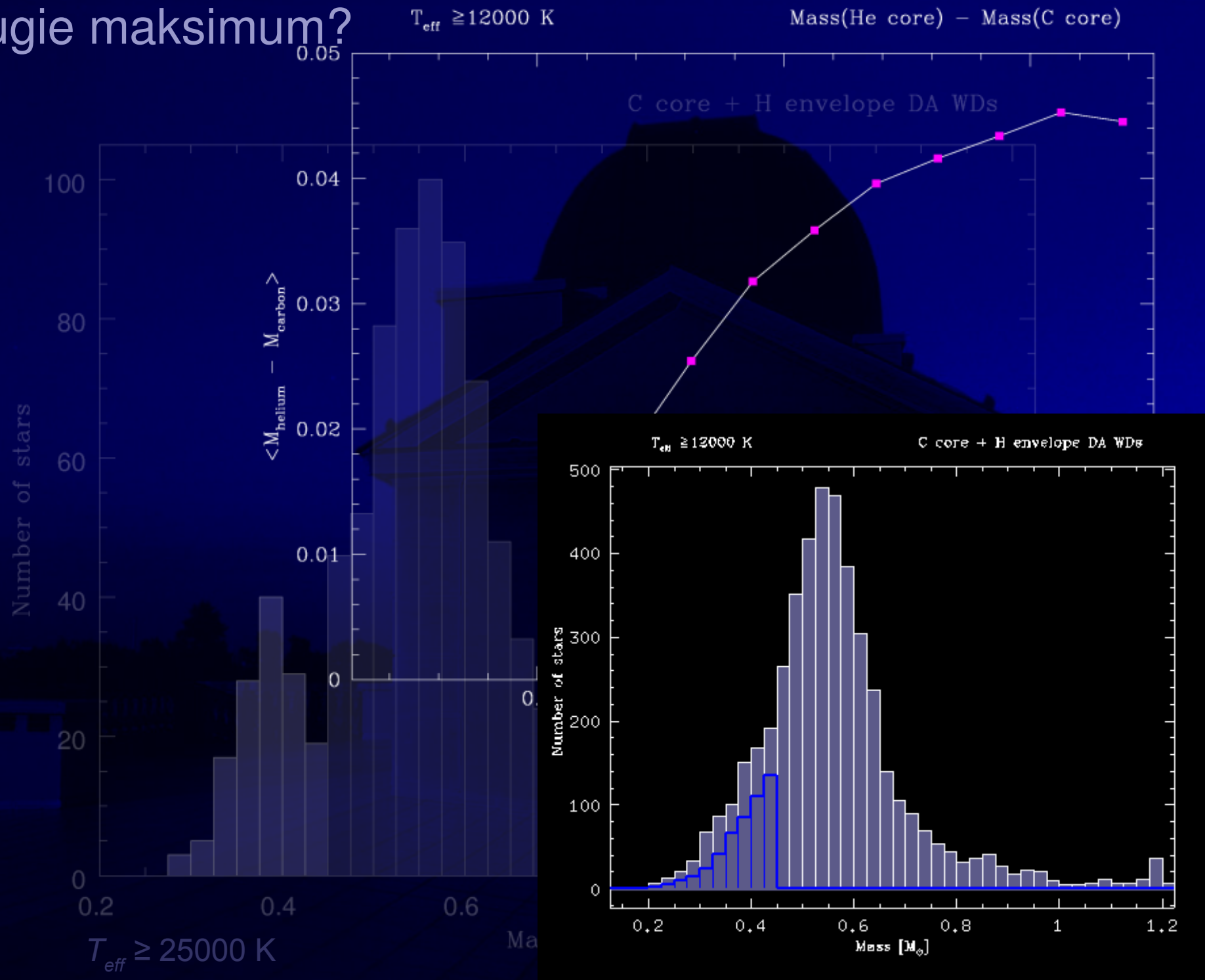
Drugie maksimum?



Drugie maksimum?

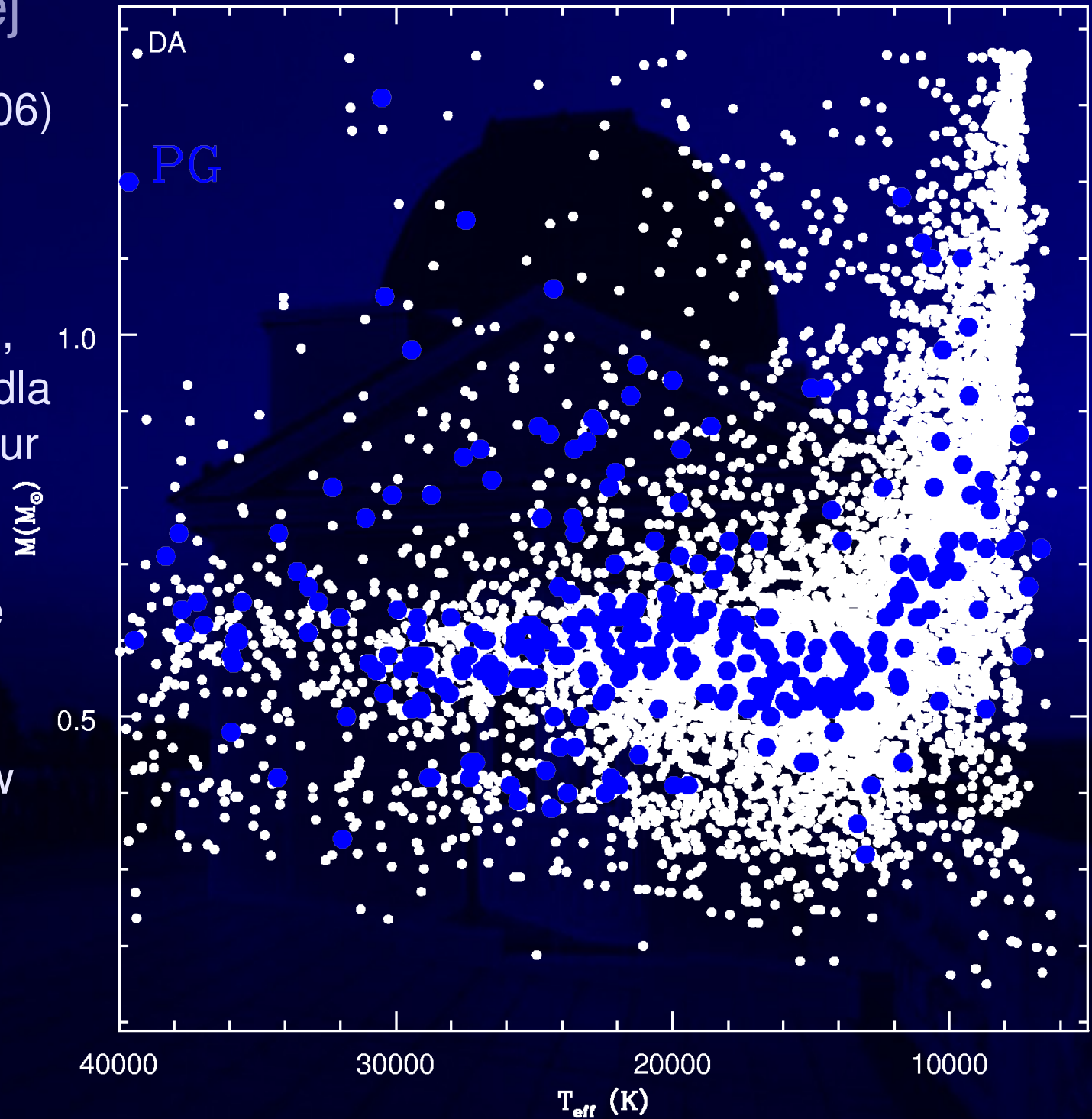


Drugie maksimum?



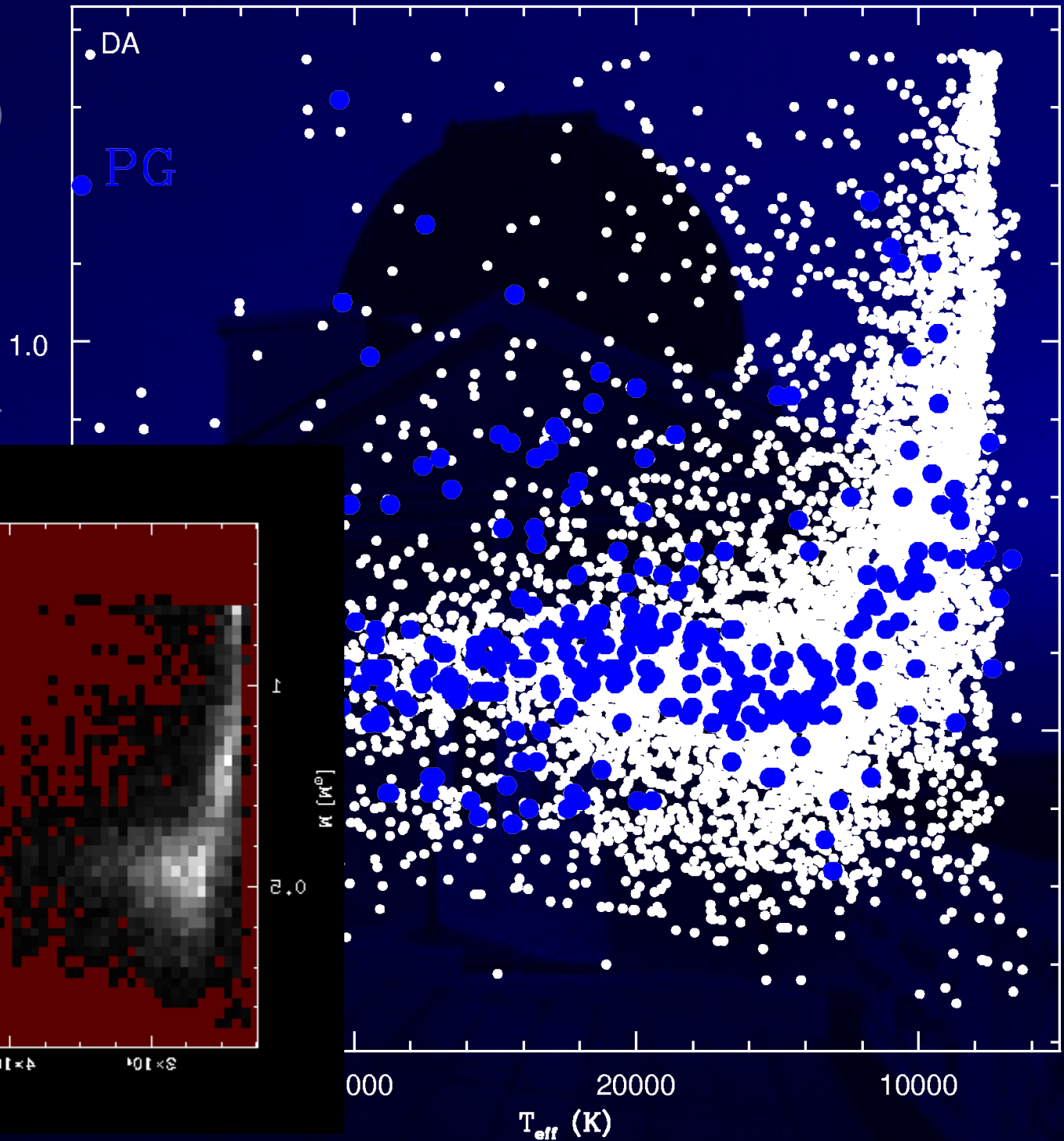
SDSS inaczej

Kepler et al. (2006)
 badają próbkę
 7167 białych
 karłów z SDSS i
 zastanawiają się,
 czy wzrost mas dla
 niskich temperatur
 jest prawdziwy?
 Stwierdzają, że
 prawdopodobnie
 jest to jednak
 wynik
 niedokładności w
 modelowaniu
 atomów...

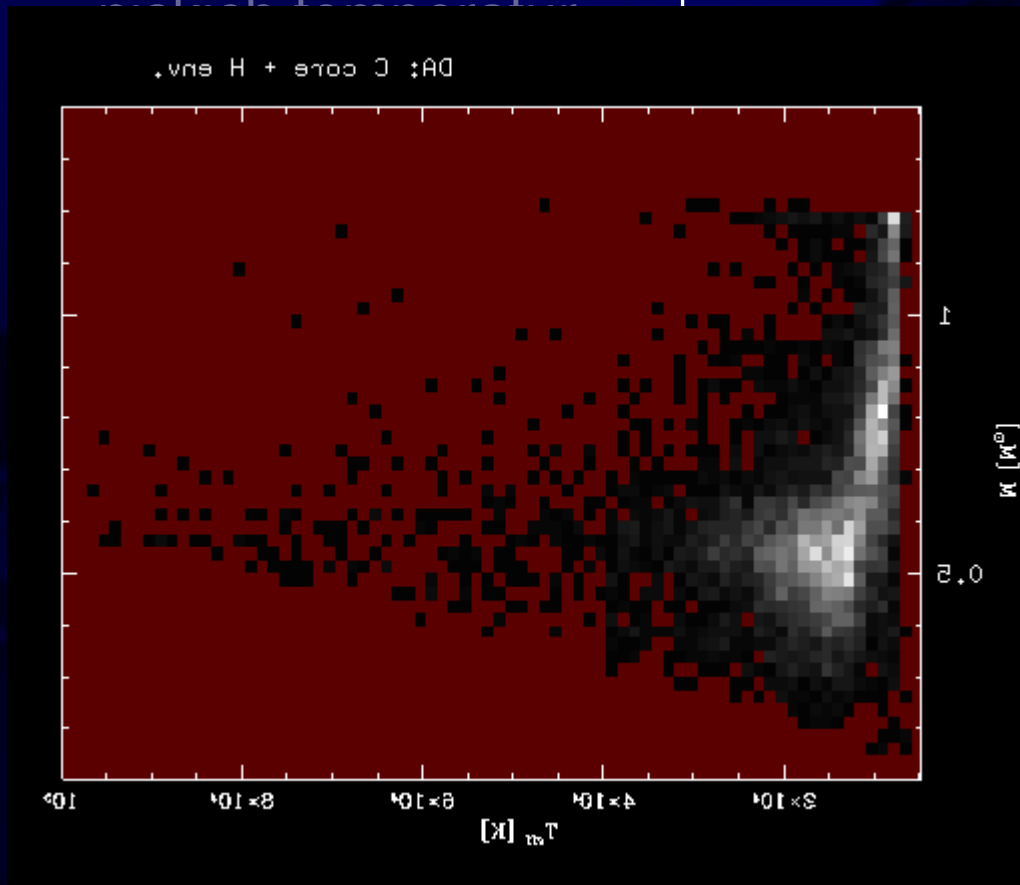


SDSS inaczej

Kepler et al. (2006)
 badają próbkę
 7167 białych
 karłów z SDSS i
 zastanawiają się,
 czy wzrost mas dla

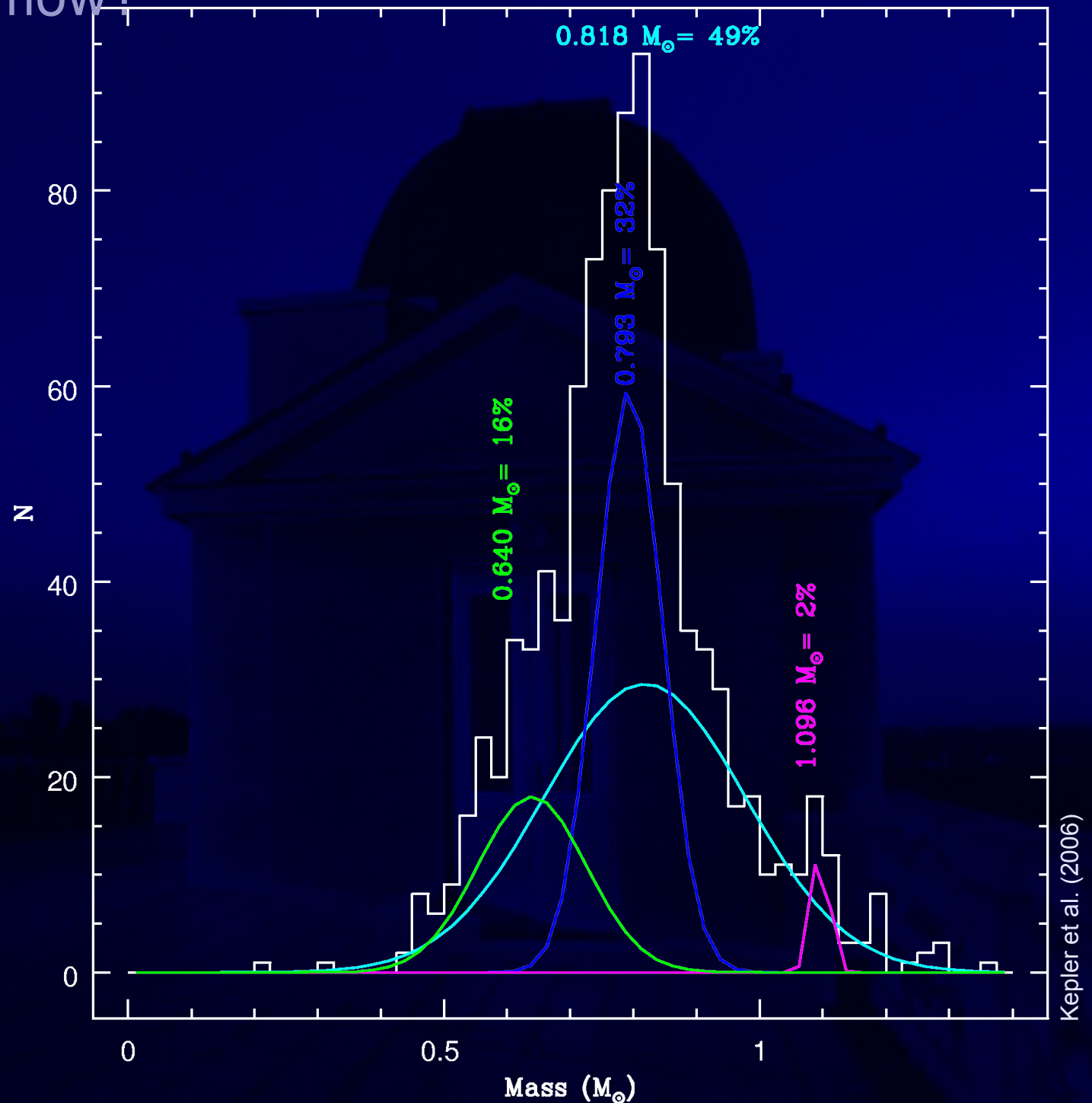


Kepler et al. (2006)



Więcej maksimum?

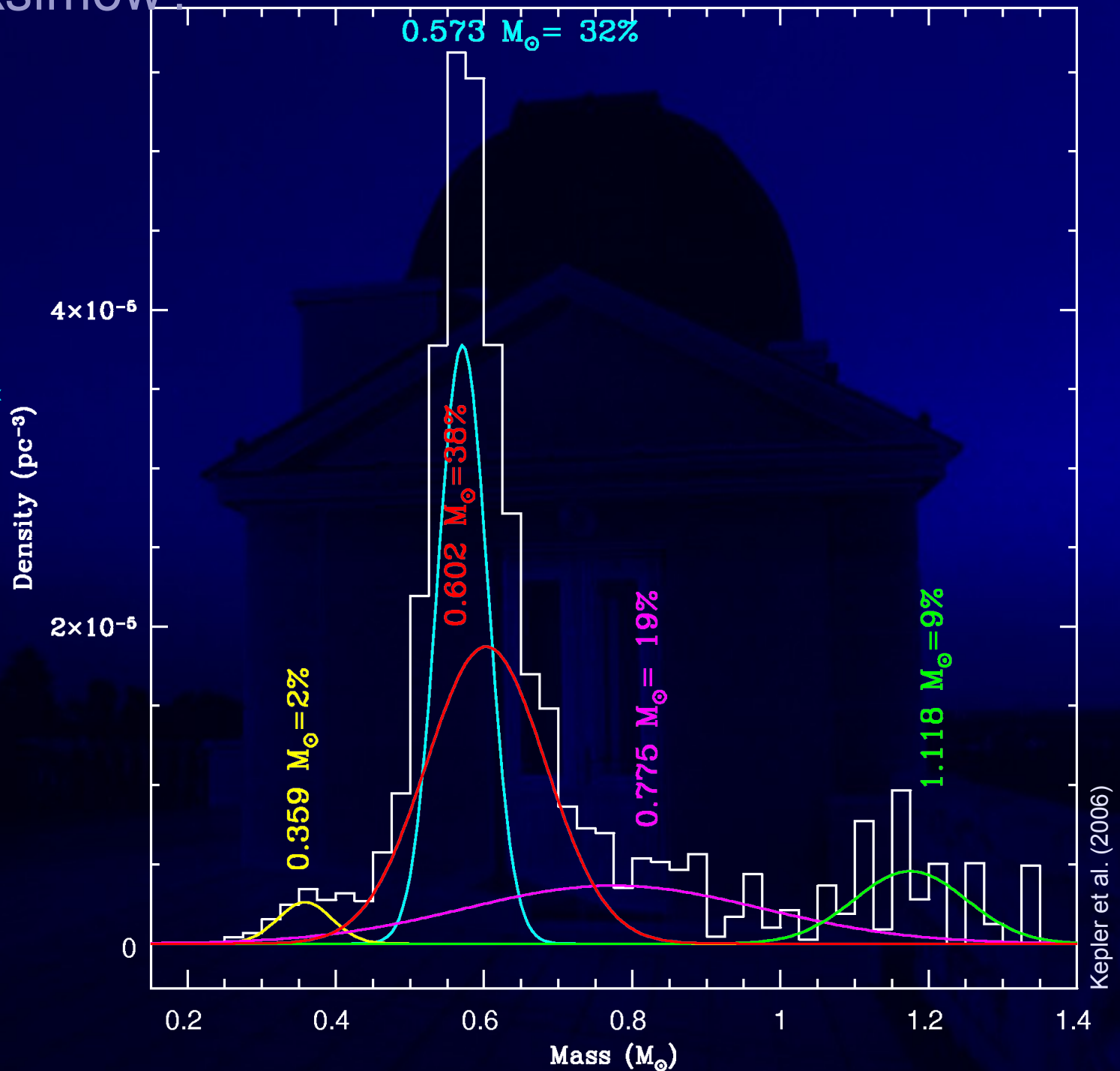
...choć niniejszy rozkład mas białych karłów zdaje się przeczyć ich wnioskowi (z których wynika, że masywne maksimum może być sztuczne).



Więcej maksimów?

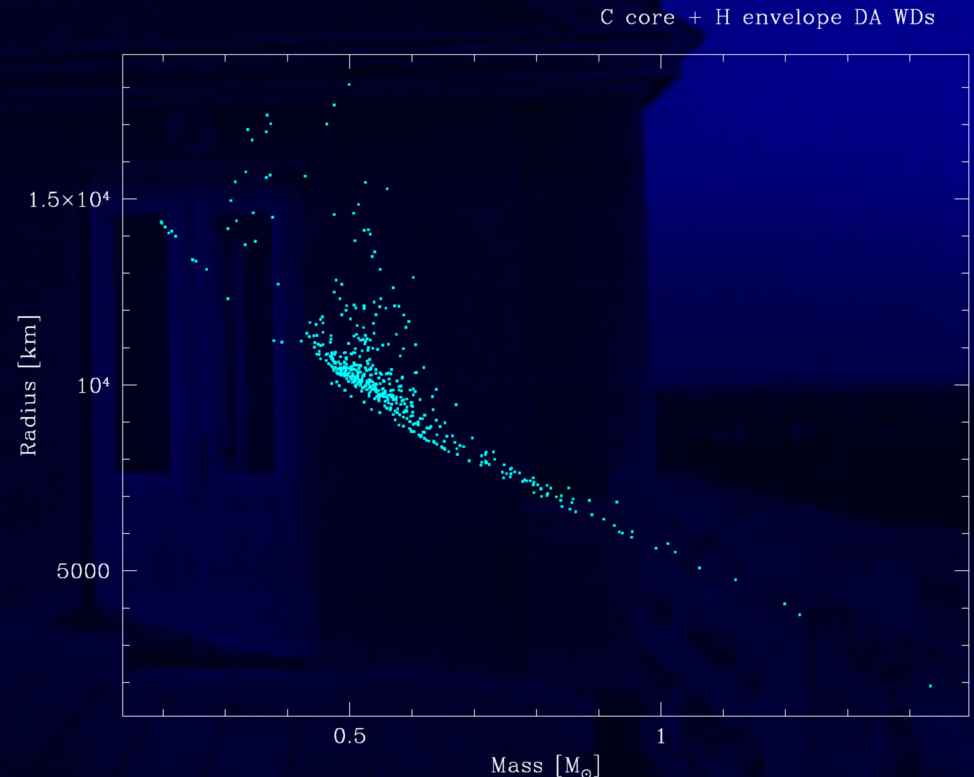
4 maksima?

1733 DA WDs
jaśniejszych niż
19 mag (w filtrze
g), skorygowane
na objętość $1/V_{\text{max}}$
(szczegóły Kepler
et al. 2006)



ESO Supernova Ia Progenitor Survey (SPY) DA WDs

- ❄️ Widma wysokiej rozdzielczości dla ponad 1000 białych karłów i pre białych karłów wykonanych przez ESO Supernova Ia Progenitor Survey (SPY), z czego 2/3 to białe karły typu DA.
- ❄️ Koester et al. (2009) wyznaczyli temperatury efektywne i logarytmy grawitacji dla 615 białych karłów (w tym 187 nowo odkrytych).
- ❄️ Zdecydowaliśmy się wyznaczyć masy i promienie dla tych obiektów, korzystając z tych samych jak przy SDSS DR1 i DR4 relacji masa-promień (Panei et al. 2000). Podstawowy zestaw mas i promieni otrzymaliśmy zakładając zależność $M-R$ dla białych karłów z czysto węglowym jądrem i otoczką wodorową $M_H/M_* = 10^{-5}$.



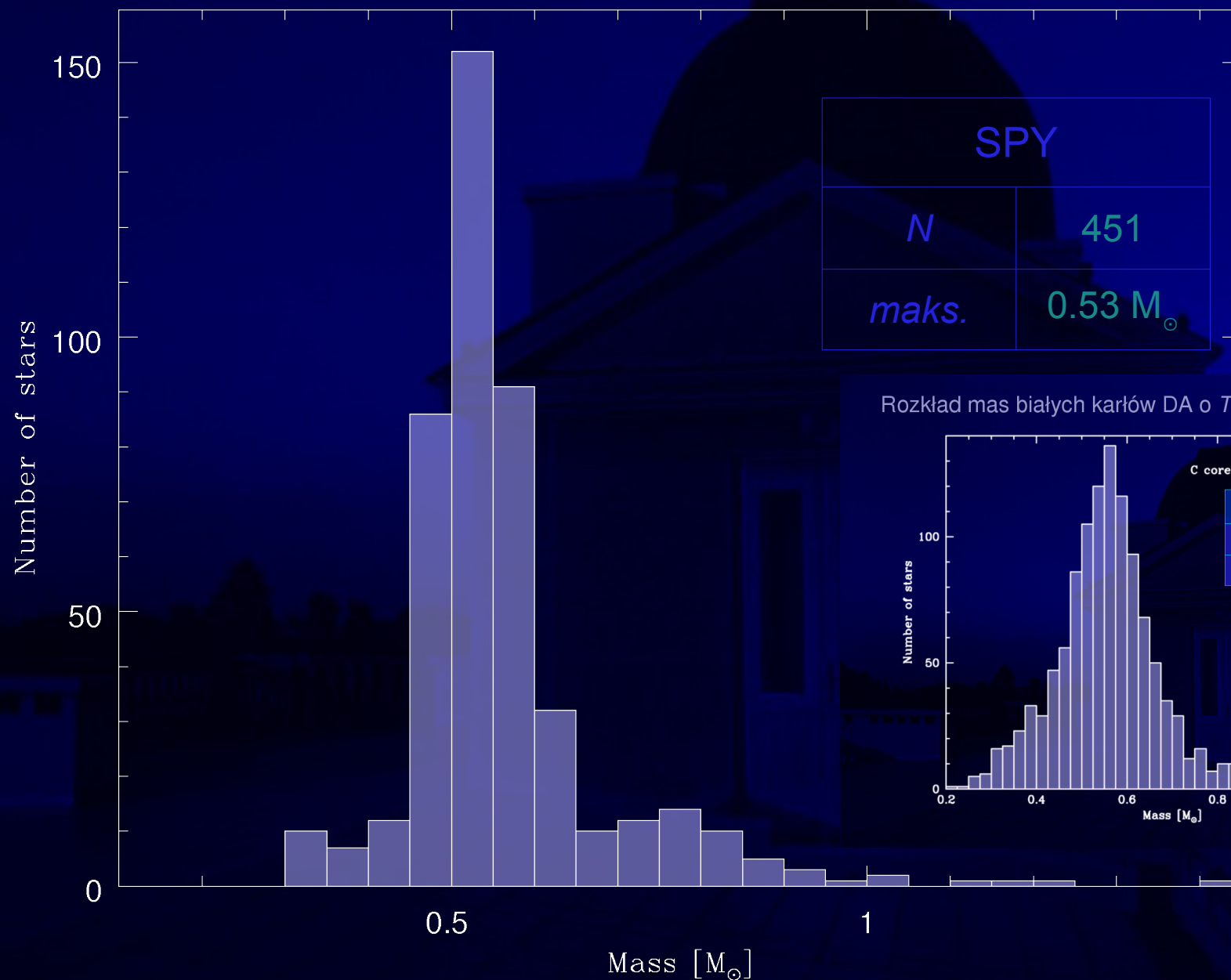
Rozkład mas białych karłów DA o $T_{eff} \geq 12000$ K

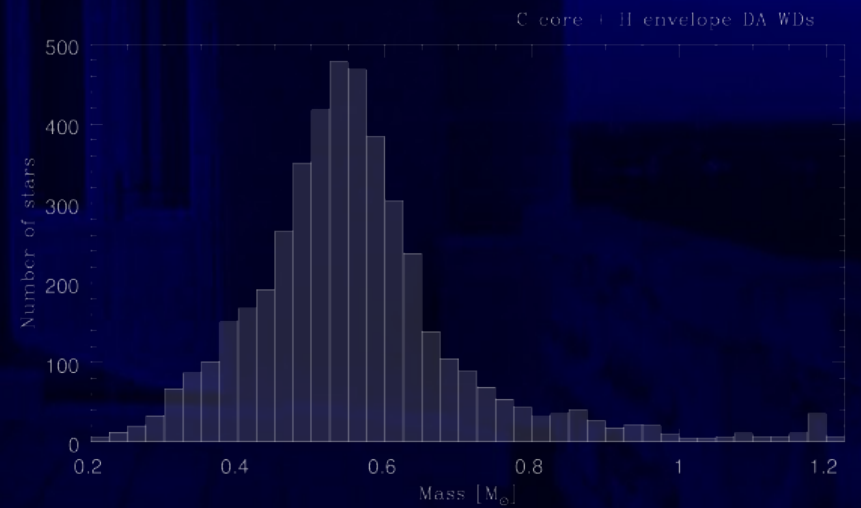
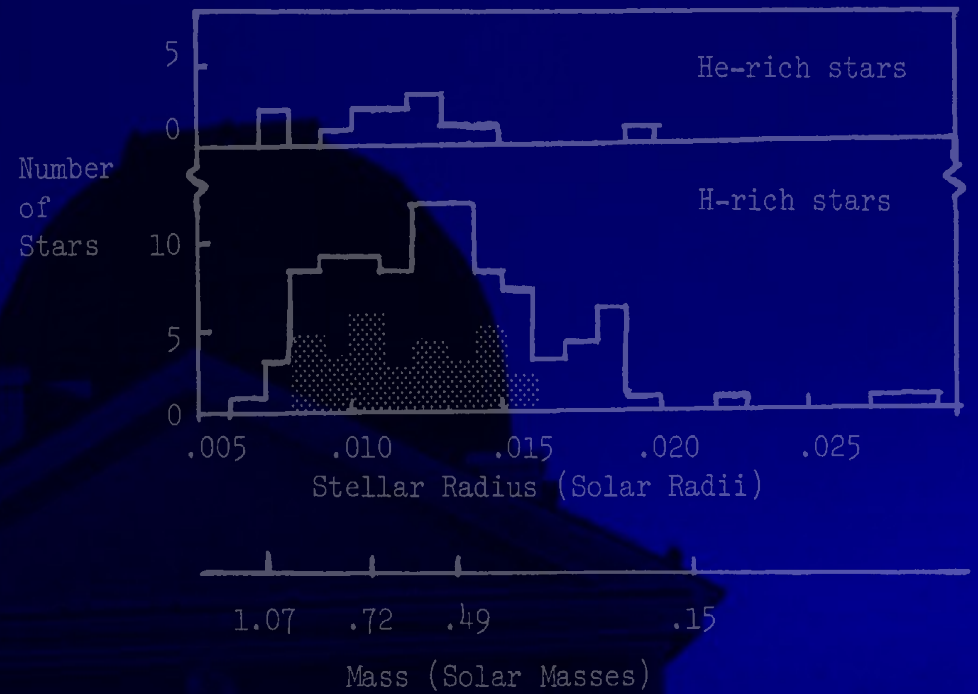
C core + H envelope DA WDs



Rozkład mas białych karłów DA o $T_{\text{eff}} \geq 12000$ K

C core + H envelope DA WDs





Koniec

