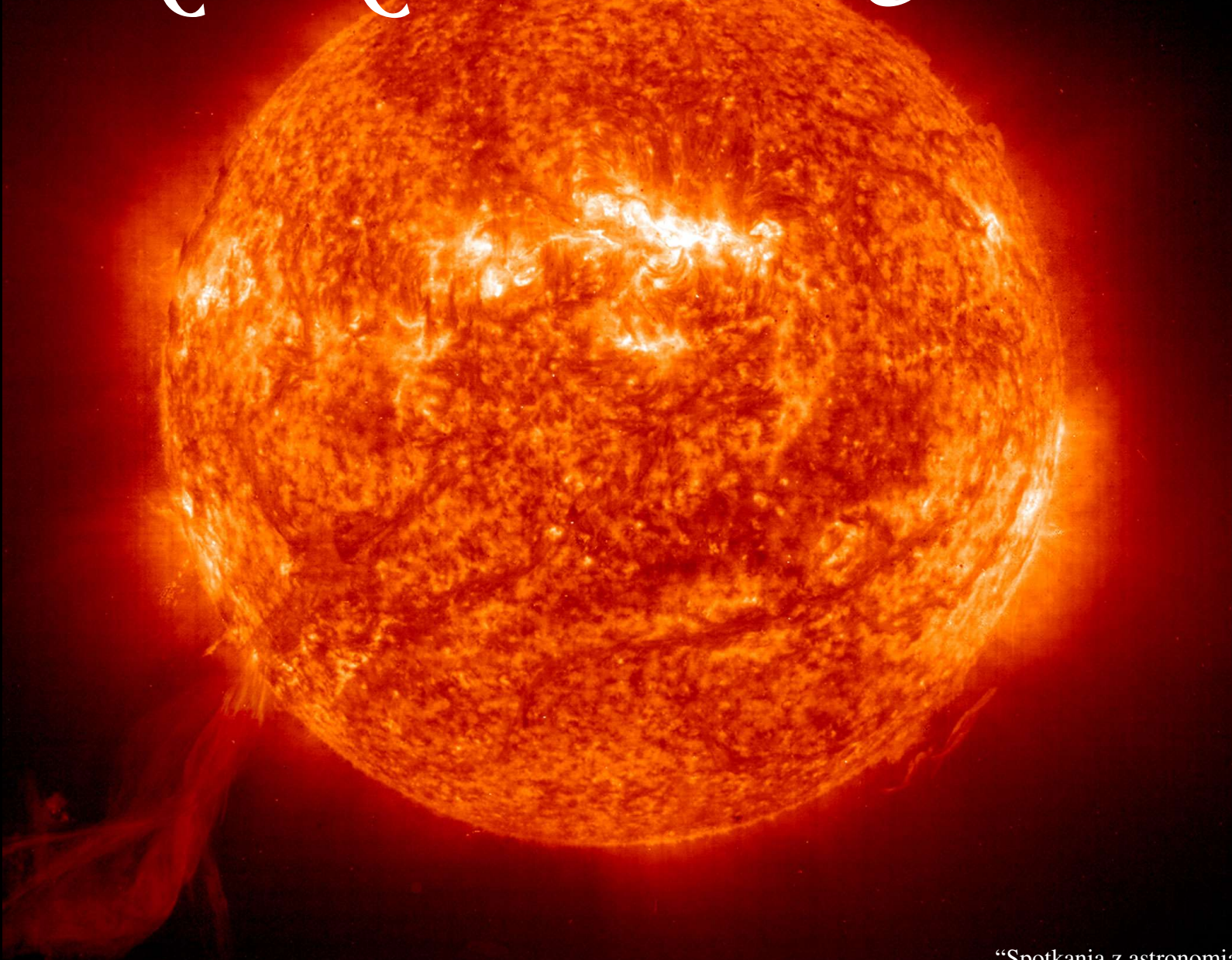


Krótką historia Słońca





Promień = $6.96 \cdot 10^8 \text{ m}$

Masa = $1.989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$

Średnia gęstość $1.41 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

Moc promieniowania $3.85 \cdot 10^{26} \text{ W}$

Temp. efektywna 5780 K

Stała słoneczna $1372 \text{ W} \cdot \text{m}^2$

Dlaczego Słońce świeci?

- Najbardziej energetyczne reakcje chemiczne pozwalałyby świecić Słońcu na obecnym poziomie przez kilka tysięcy lat.
- Energia grawitacyjna (“meteorytowa” – za Lordem Kelvinem).

$$1M_{\odot}, 1R_{\odot}, 1L_{\odot}$$

$$\delta \omega = \frac{3}{5} \frac{G M^2}{R^2} \delta R$$

$$\Rightarrow 2 * 10^{-3} [cm/s]$$

$$t_{k-h} = \frac{\omega}{2L} \approx 10^7 lat$$

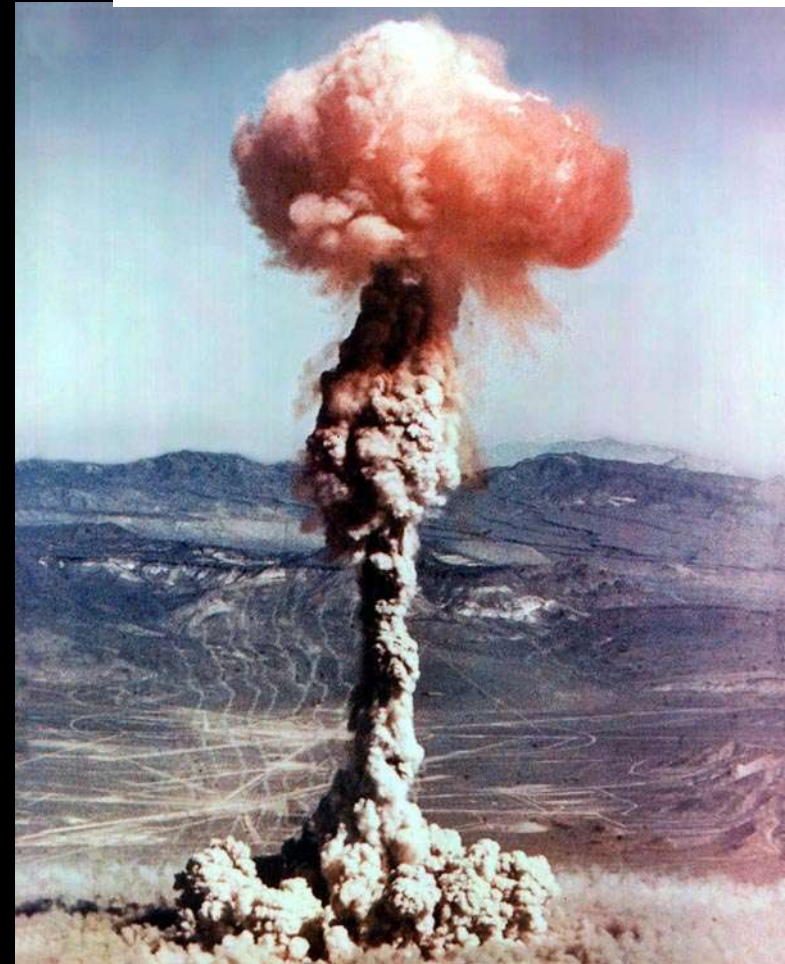
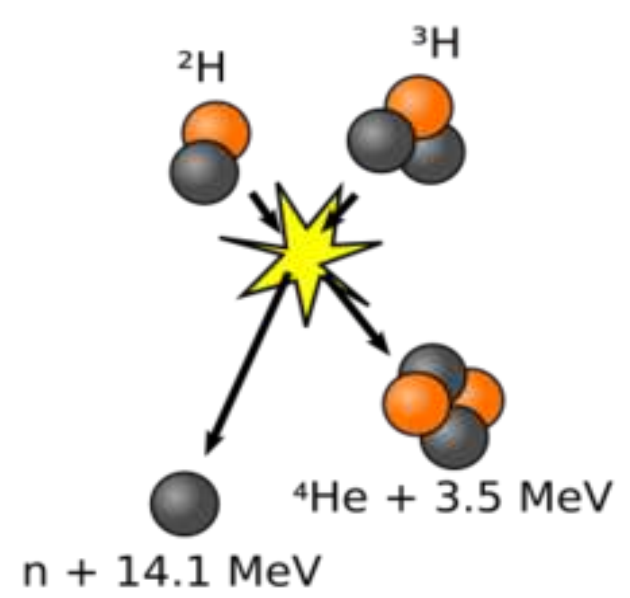


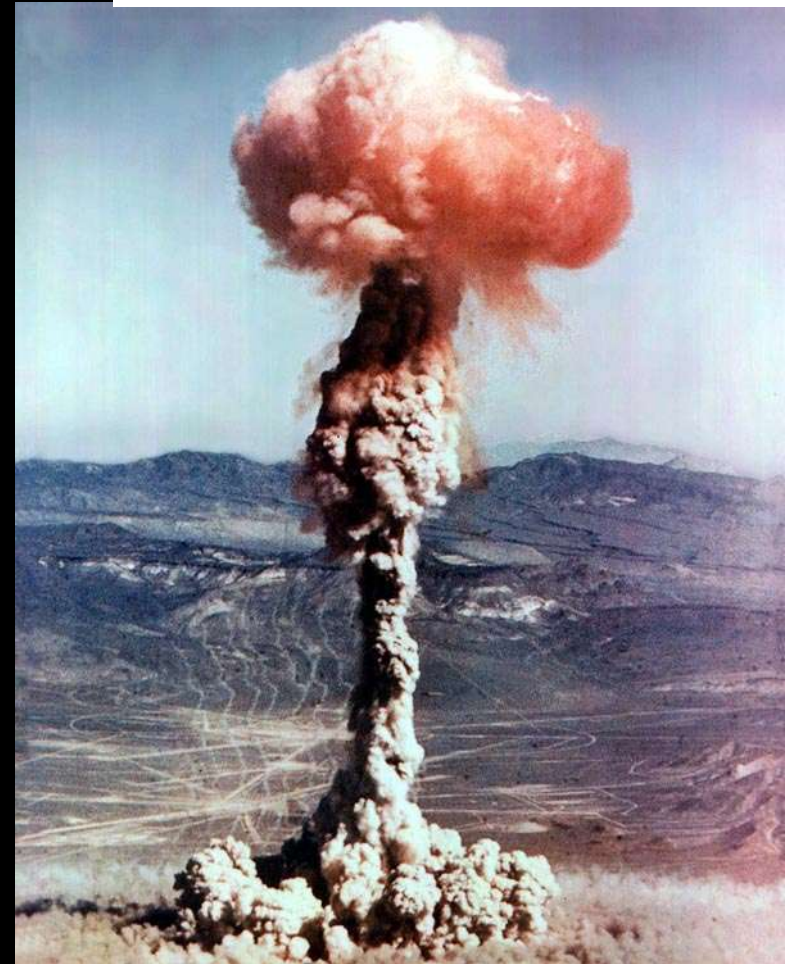
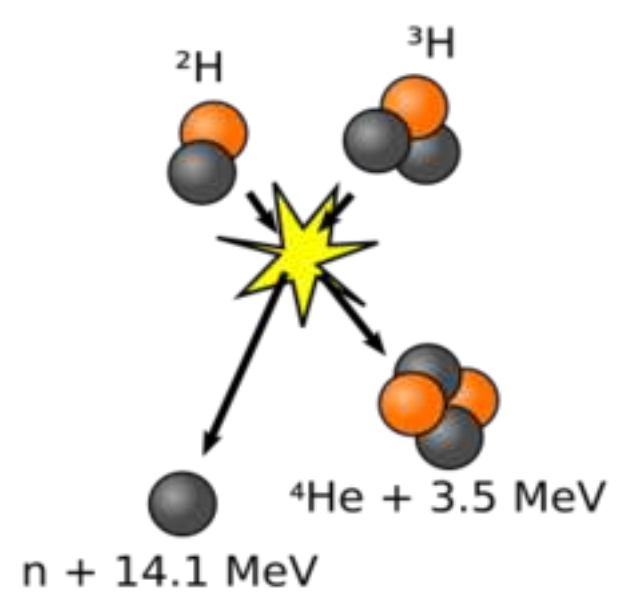
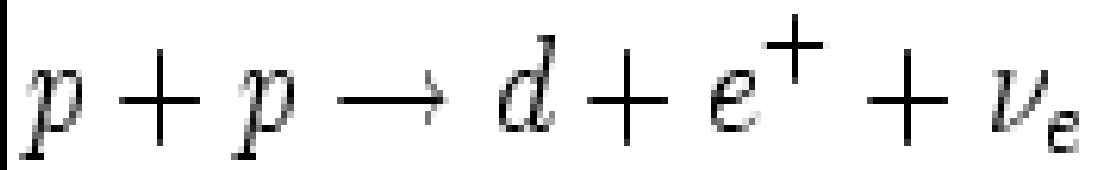
Odkrycie promieniotwórczości naturalnej.

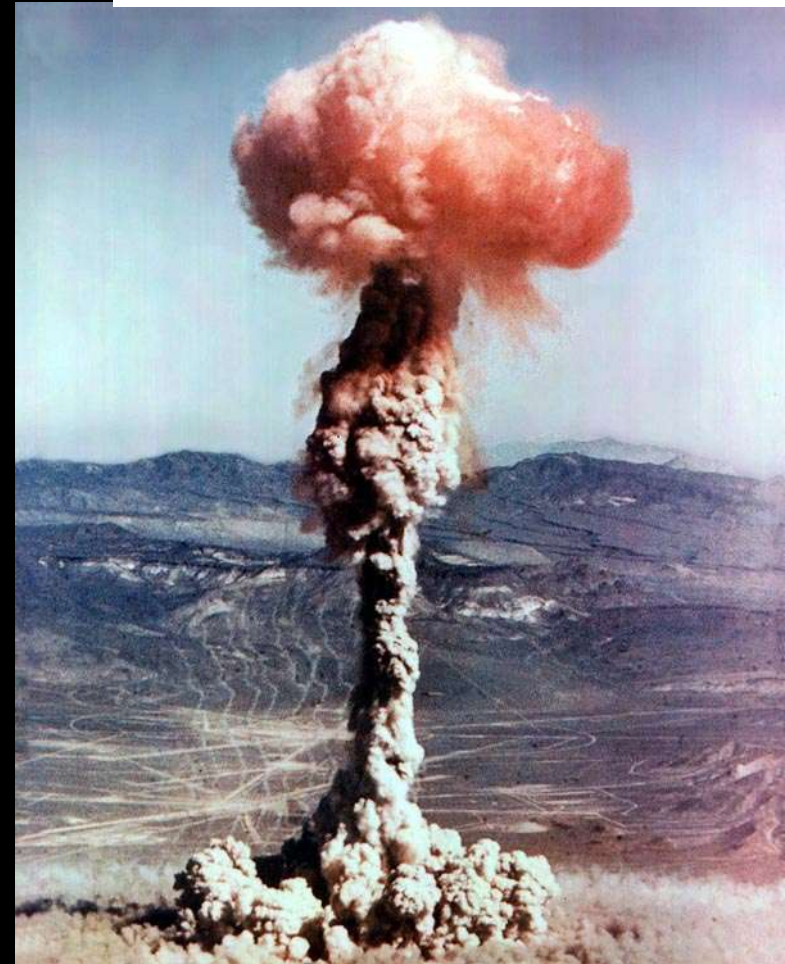
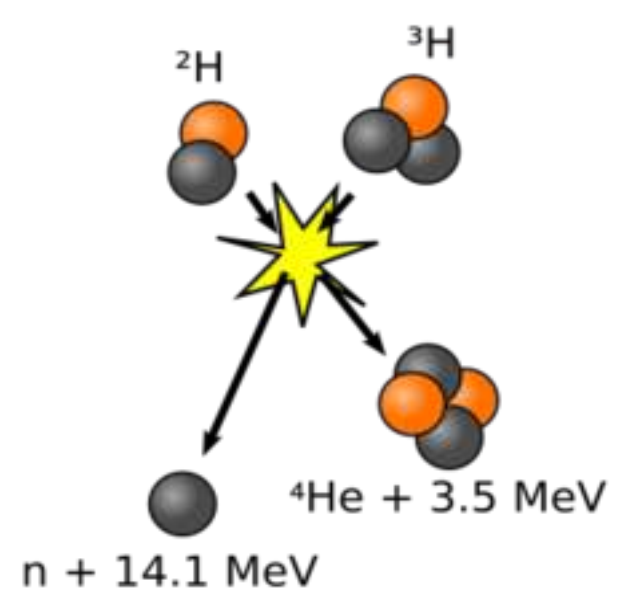
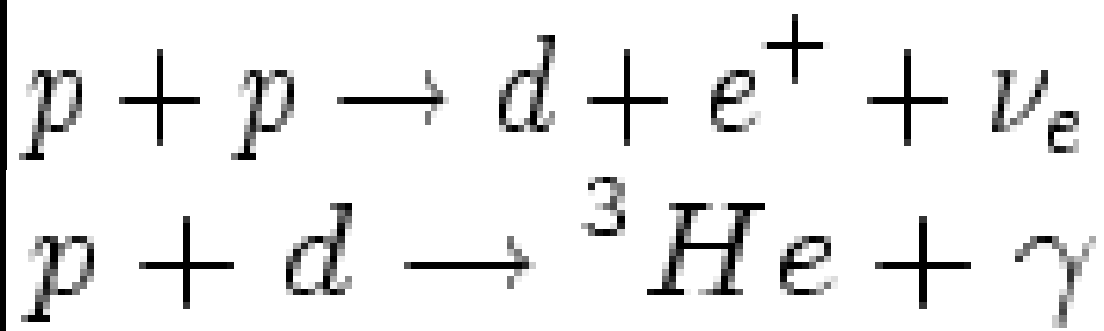
W 1896 AH Becquerel, który stwierdził, że różne związki uranu wywołują zaczernienie emulsji fotograficznej. Dalsze badania min. M. Skłodowskiej – Curie i P. Curie.

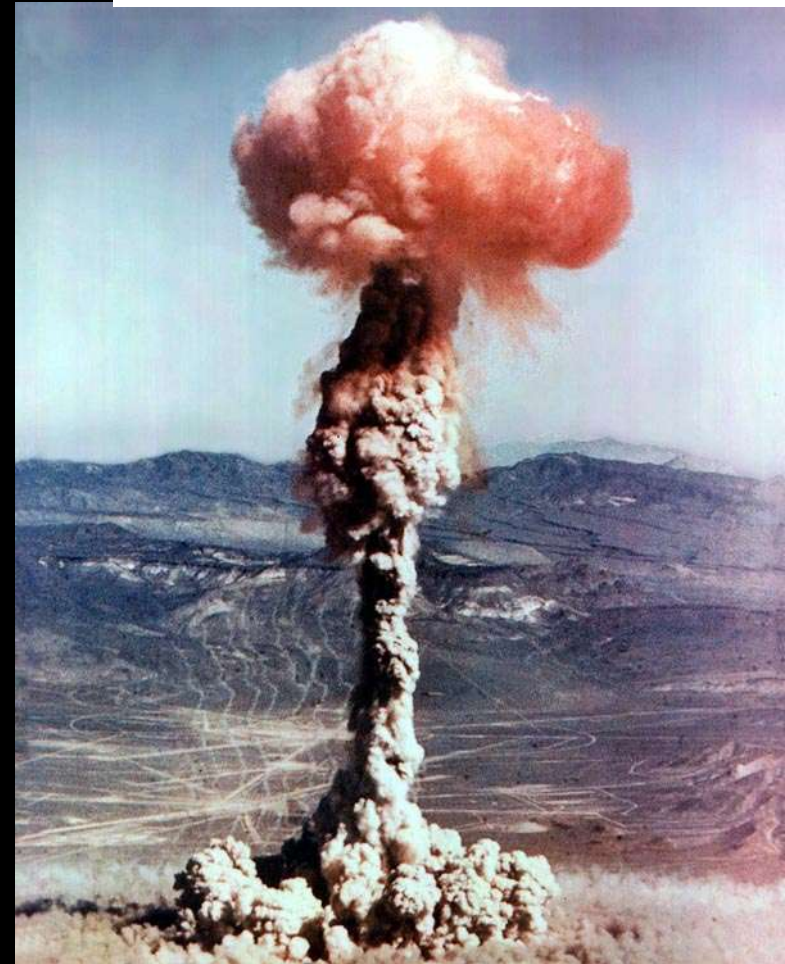
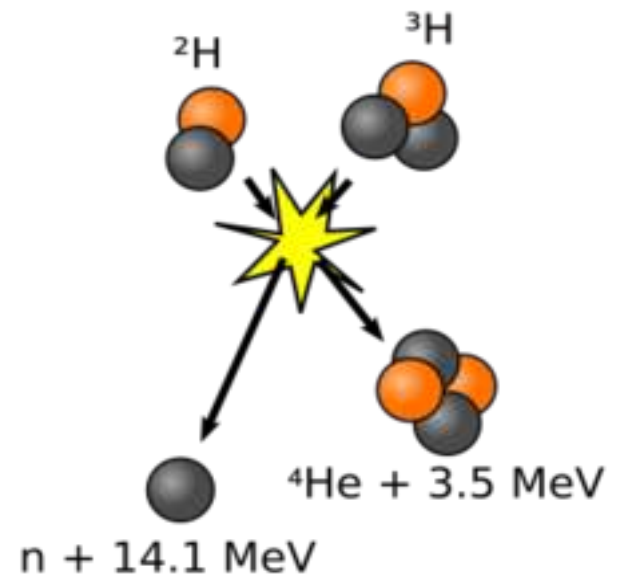
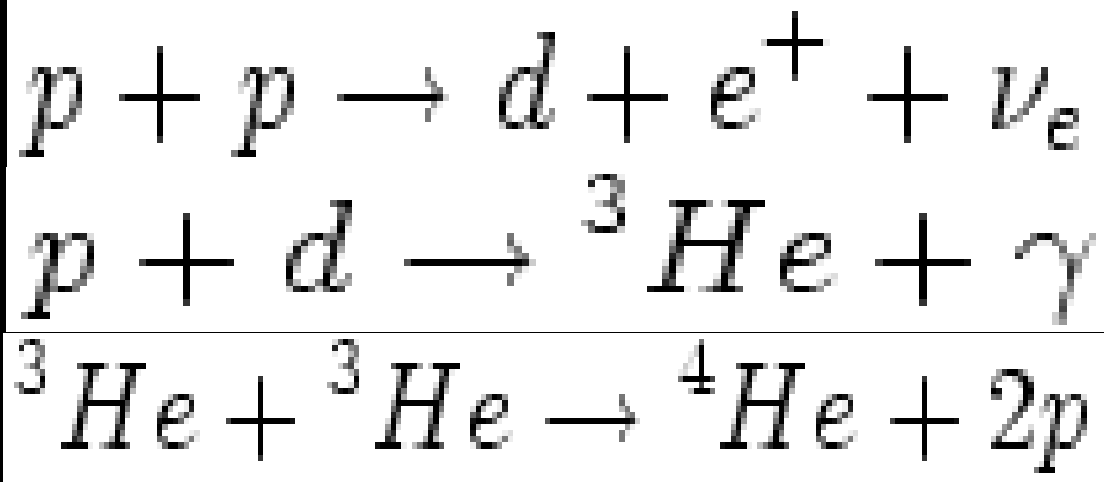
Bardzo szybko pojawiła się próba wykorzystania nowo odkrytego źródła energii do wyjaśnienia produkcji energii w Słońcu, min. G. Gamow, H. Bethe, C.F. von Weizsäcker.

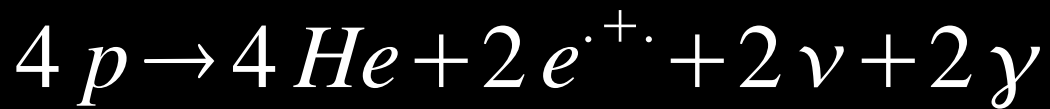








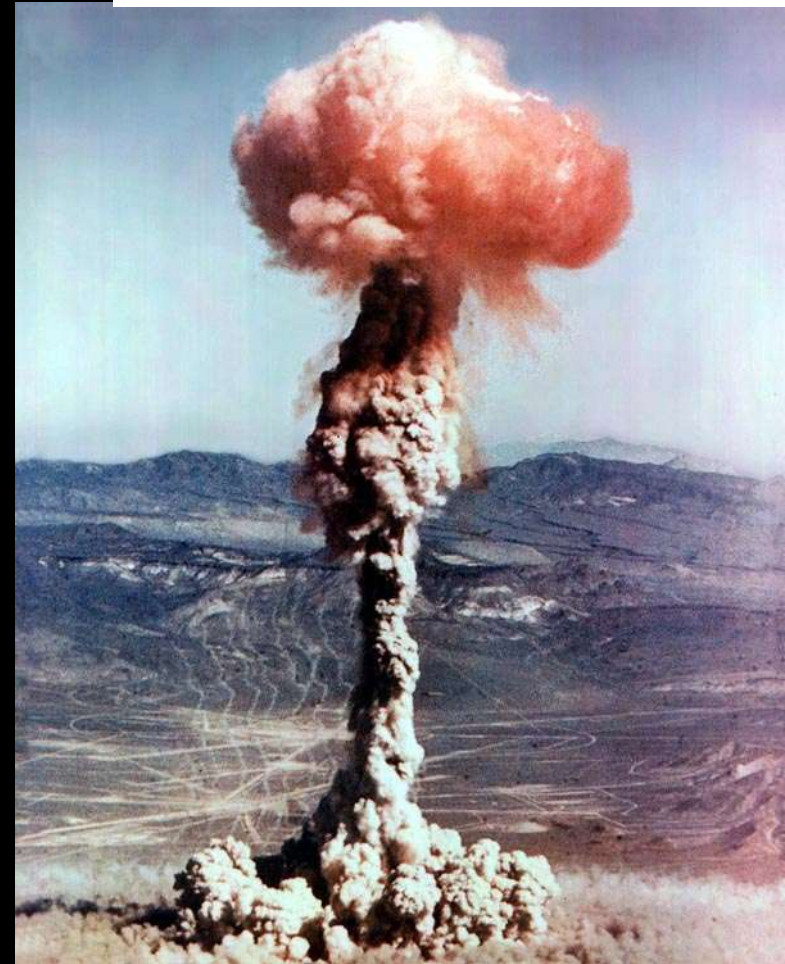
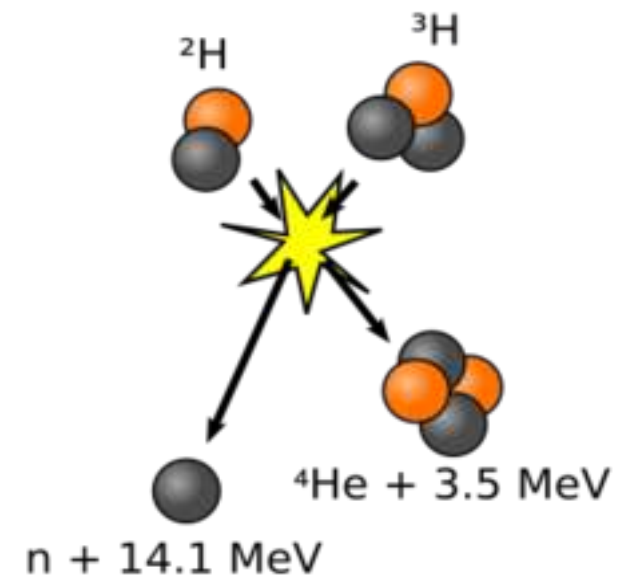


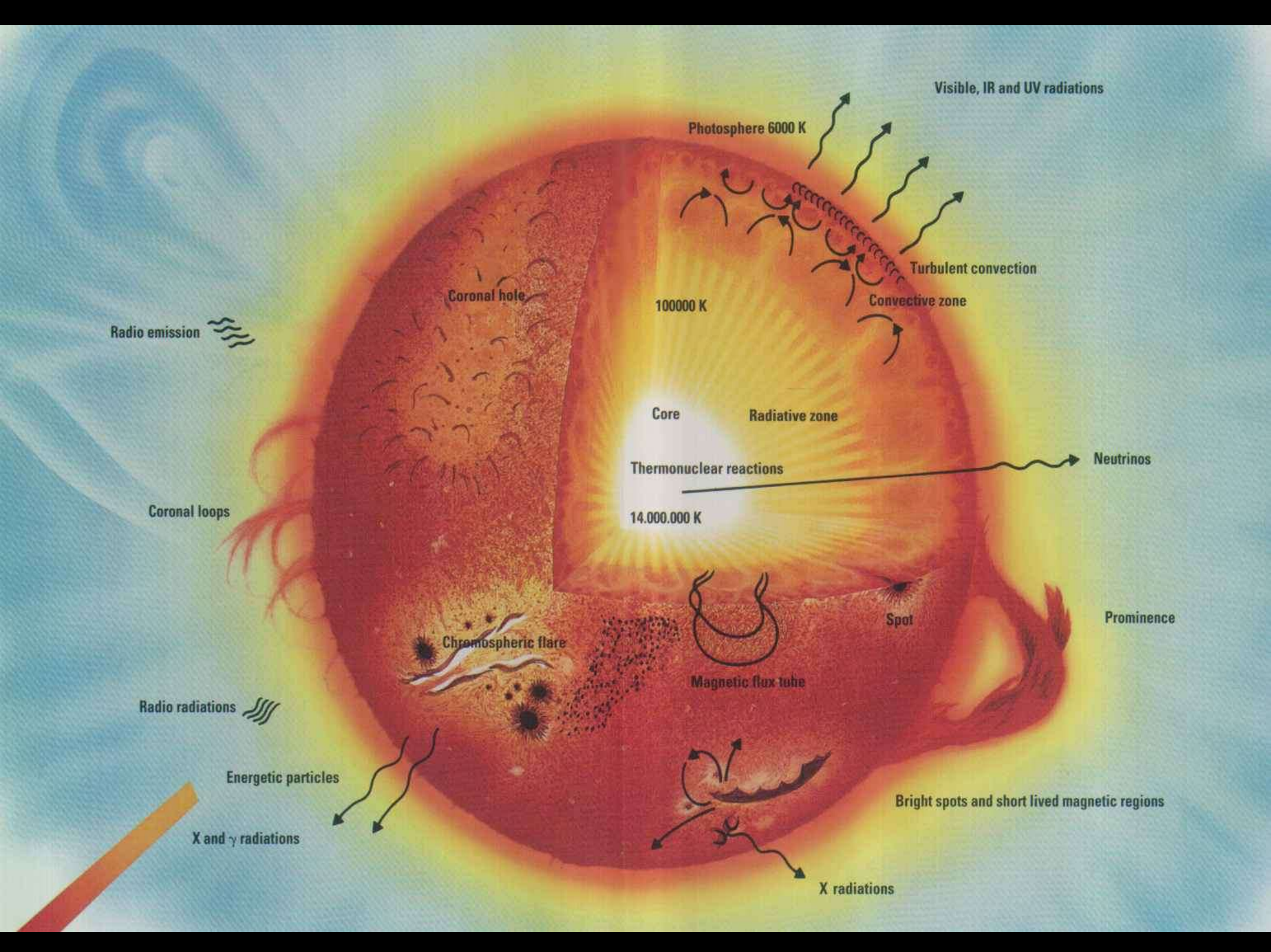


masa 4 protonów	$6,6896 * 10^{-27} \text{ kg}$
masa jądra helu	$6.6439 * 10^{-27} \text{ kg}$
masa dwóch pozytonów	$0.0018 * 10^{-27} \text{ kg}$
deficyt masy	$0,0439 * 10^{-27} \text{ kg}$

$$E = mc^2$$

Uwzględniając dodatkowo straty energii unoszonej przez neutrina otrzymujemy że deficyt masy jest równoważny około 25 MeV.





Visible, IR and UV radiations

Photosphere 6000 K

Turbulent convection

Convective zone

100000 K

Core

Radiative zone

Thermonuclear reactions

Neutrinos

14.000.000 K

Radio emission

Coronal hole

Coronal loops

Chromospheric flare

Spot

Prominence

Magnetic flux tube

Radio radiations

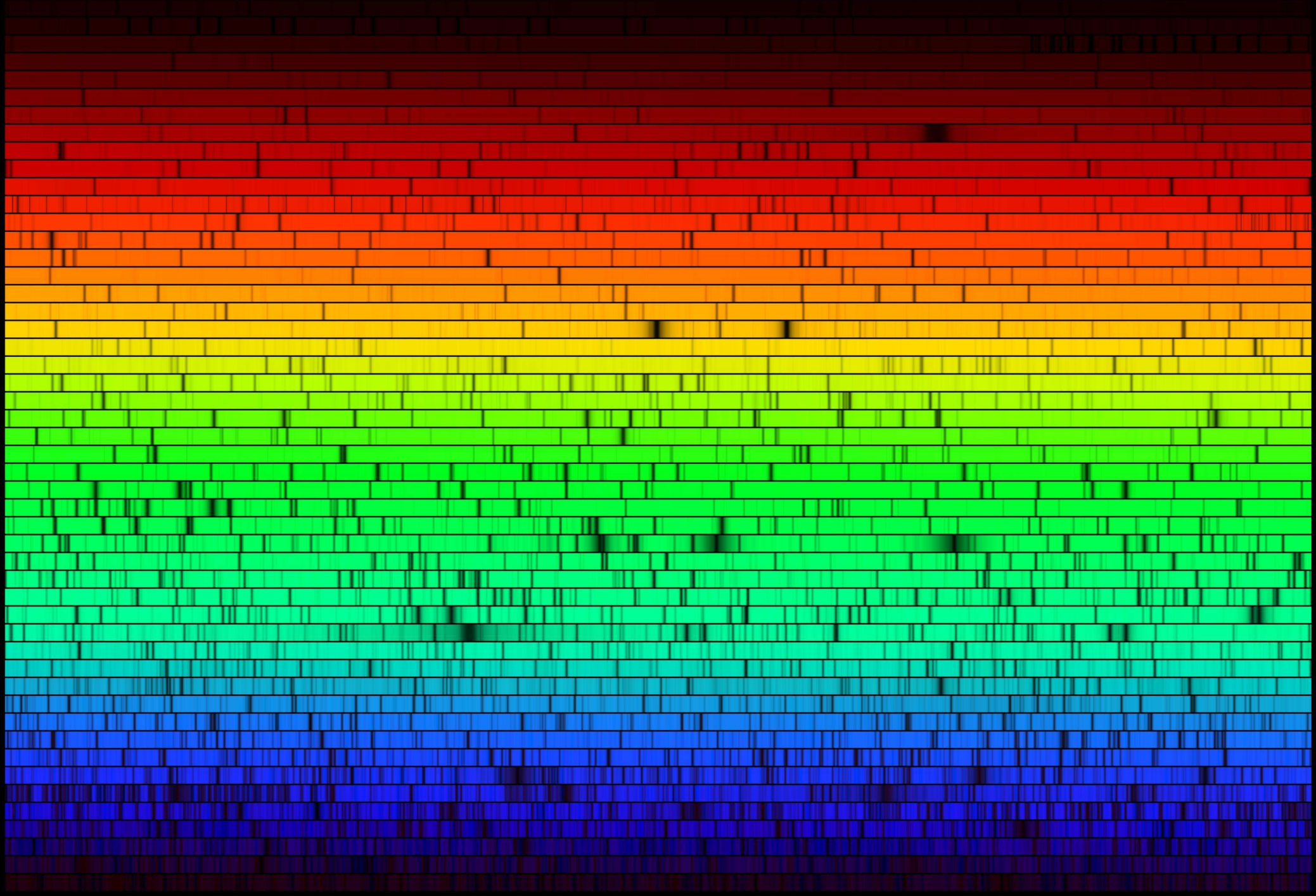
Energetic particles

X and γ radiations

Bright spots and short lived magnetic regions

X radiations

Widmo Słońca



O6.5
B0
B6
A1
A5
F0
F5
G0
G5
K0
K5
M0
M5

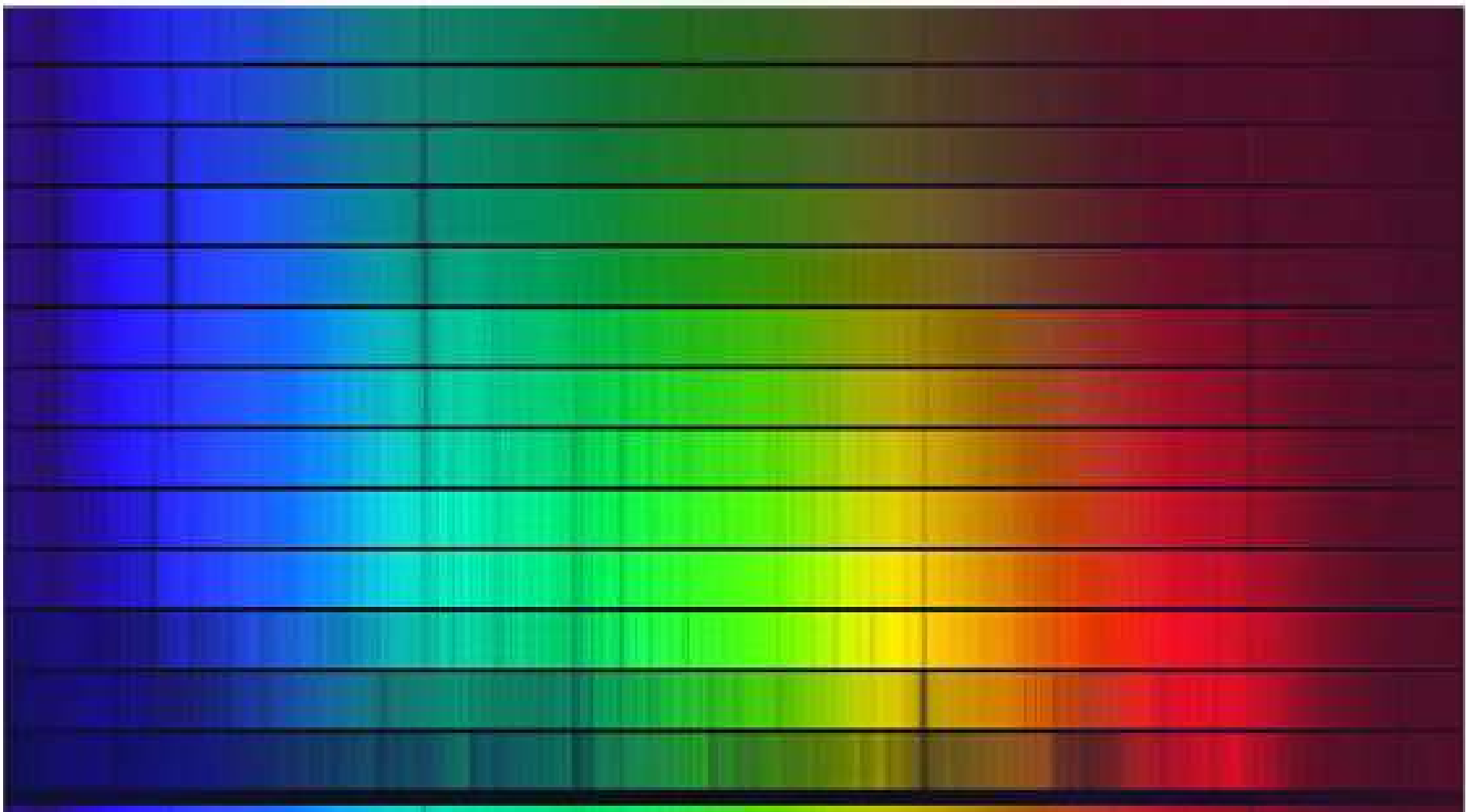
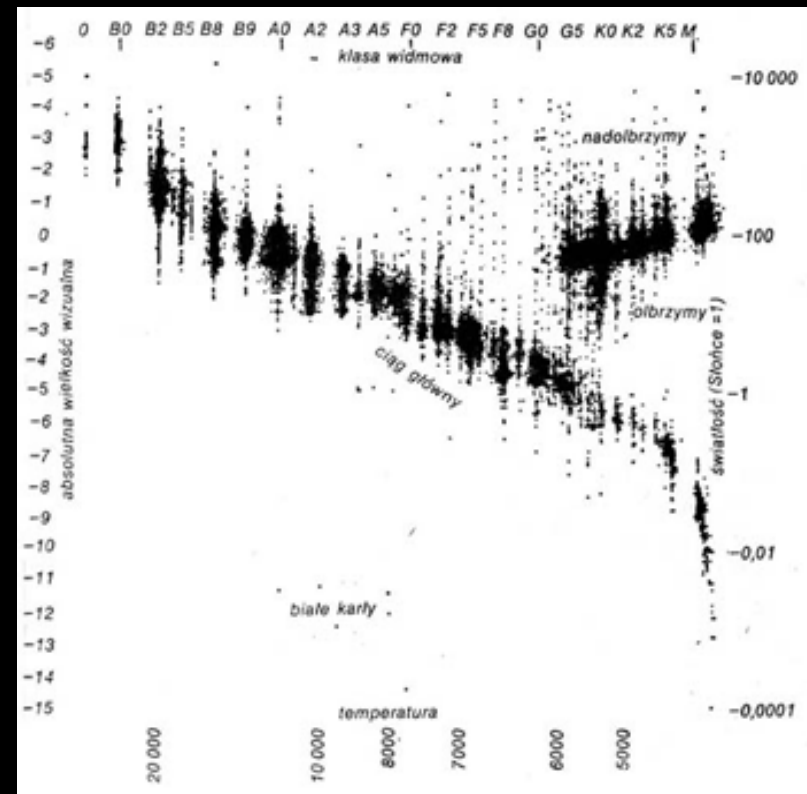
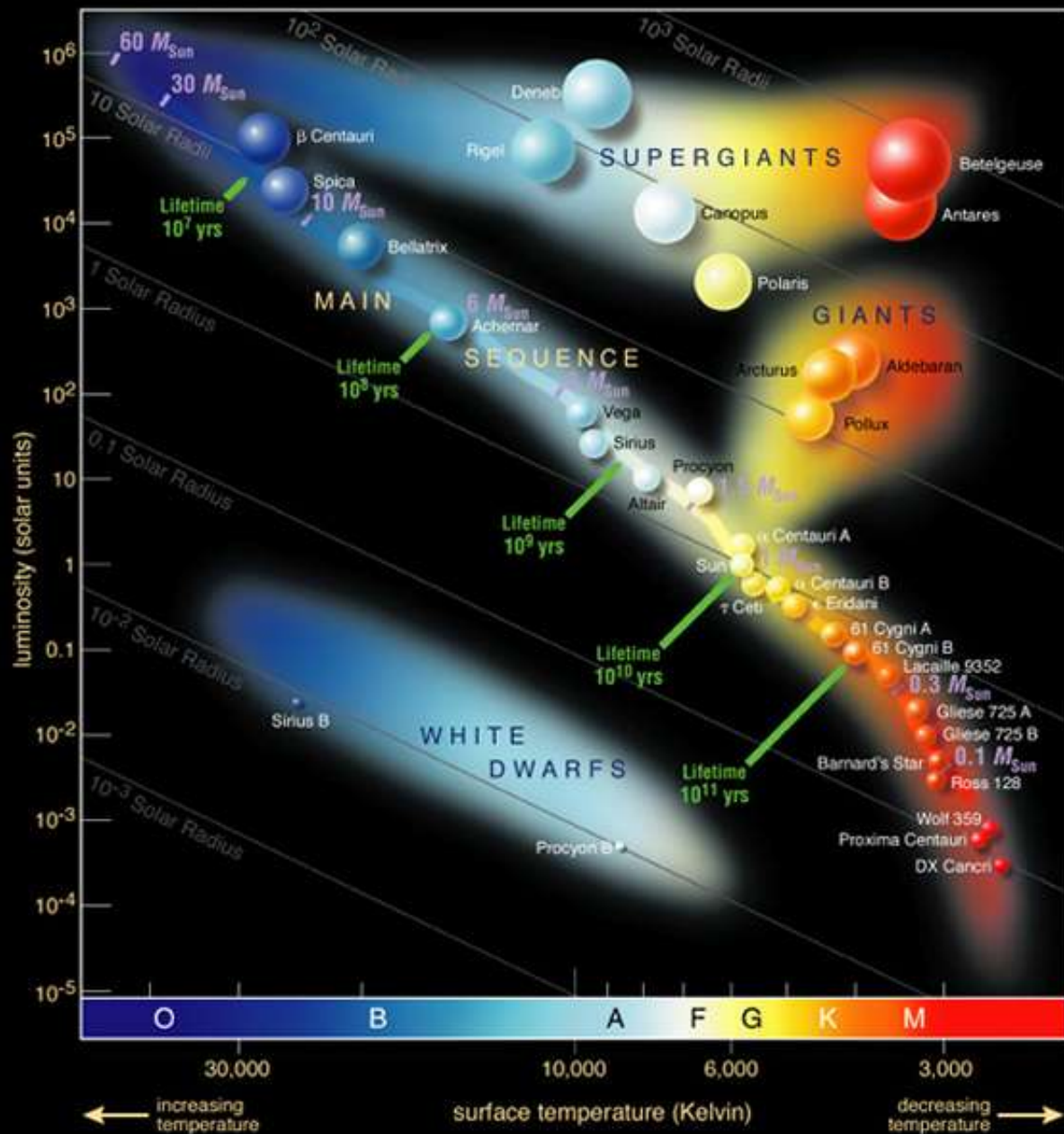


Diagram Hertzsprunga-Russella

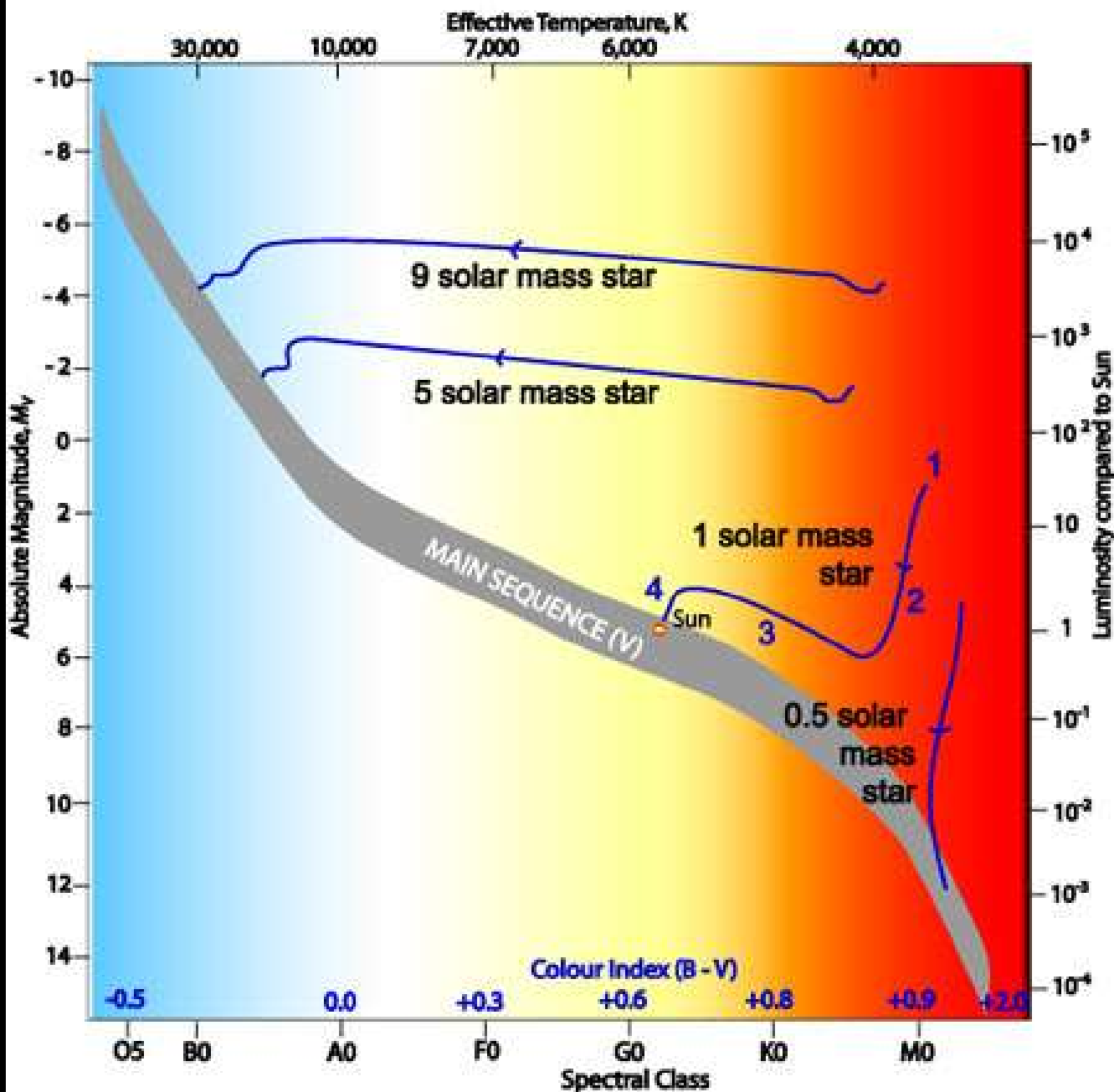




$$\frac{M_J}{M_S} = 3.78 * 10^{-9} \left(\frac{T}{\mu} \right)^{3/2} \rho^{1/2}$$

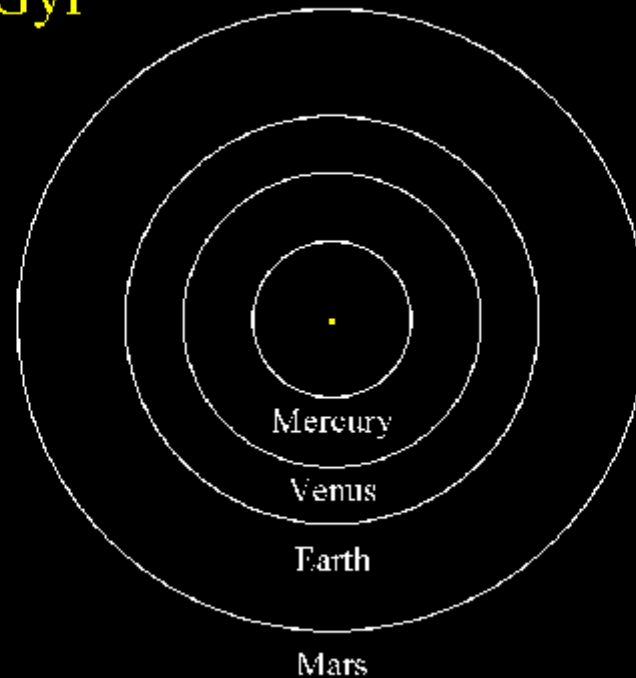


Theoretical Hayashi Tracks of Protostars



The View From Above Today

T=4.55Gyr



Wiek: 4.55 miliarda lat

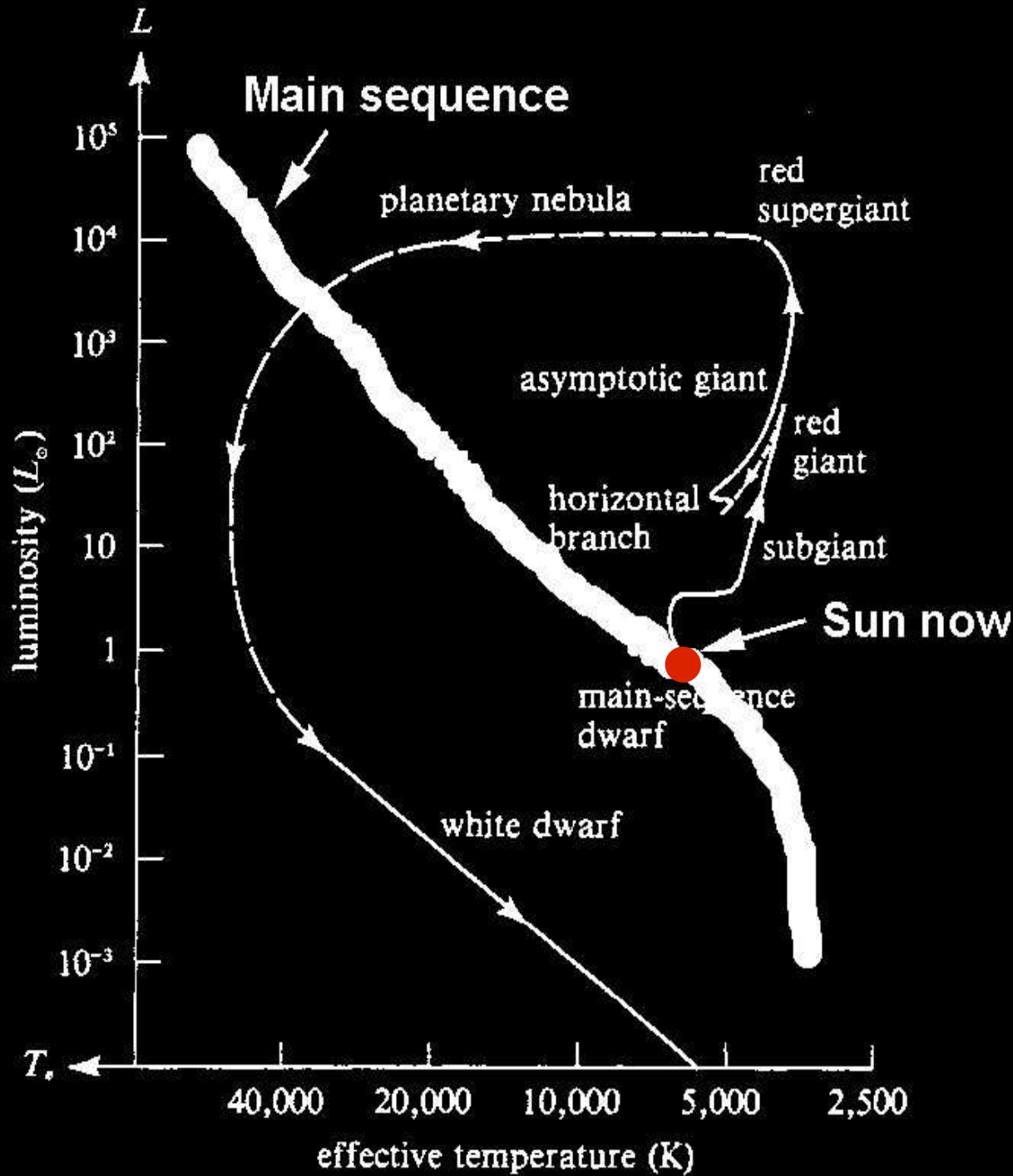
Masa: $1 M_{\text{sun}} = 1.99 \times 10^{33} \text{ g}$

Promień: $1 R_{\text{sun}} = 700,000 \text{ km}$

Moc promieniowania:
 $1 L_{\text{sun}} = 3.83 \times 10^{26} \text{ W}$

Temperatura: 5779 K

Zapas paliwa: 50% wodoru w jądrze
zostało zużyte



Wiek: 4.55 miliarda lat

Masa: $1 M_{\text{sun}} = 1.99 \times 10^{33} \text{ g}$

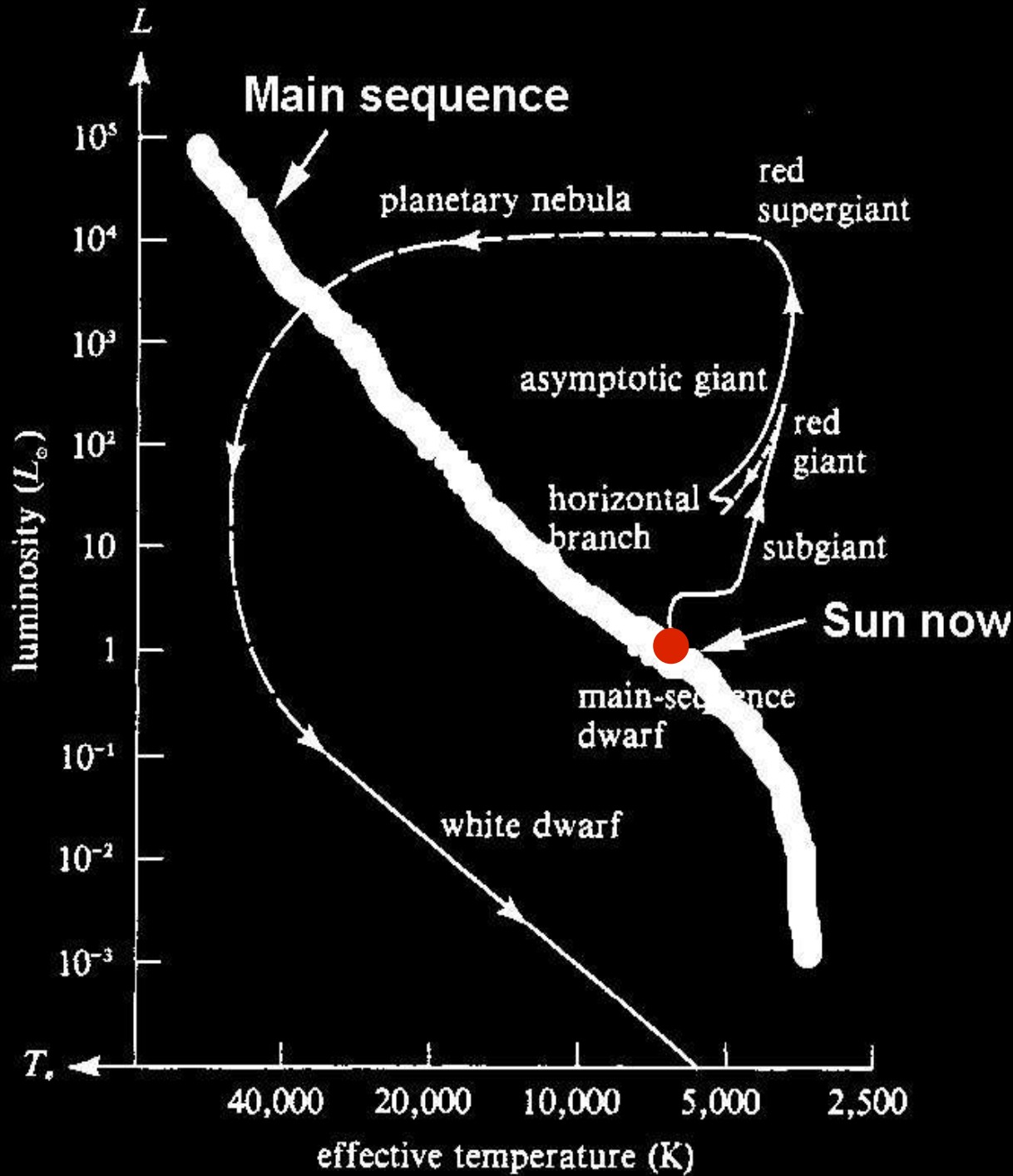
Promień: $1 R_{\text{sun}} = 700,000 \text{ km}$

Moc promieniowania:
 $1 L_{\text{sun}} = 3.83 \times 10^{26} \text{ W}$

Temperatura: 5779 K

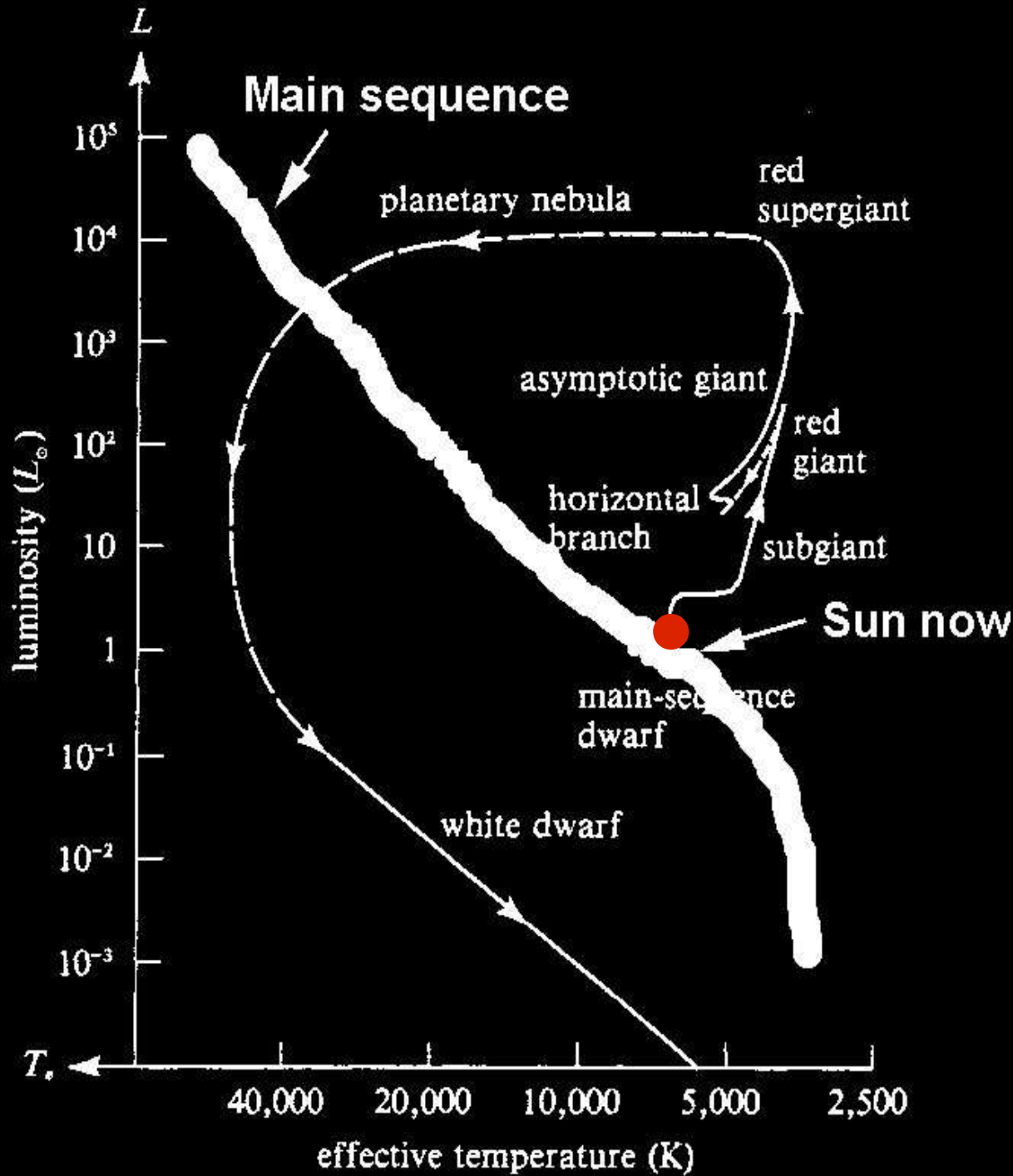
Zapas paliwa: 50% wodoru w jądrze
 zostało zużyte

Kryzys wieku średniego około $5.7 \cdot 10^9$ lat



- Słońce 10% jaśniejsze
- Efekt cieplarniany na ziemi, wysuszenie atmosfery.
- Większość gatunków na ziemi wyginie.

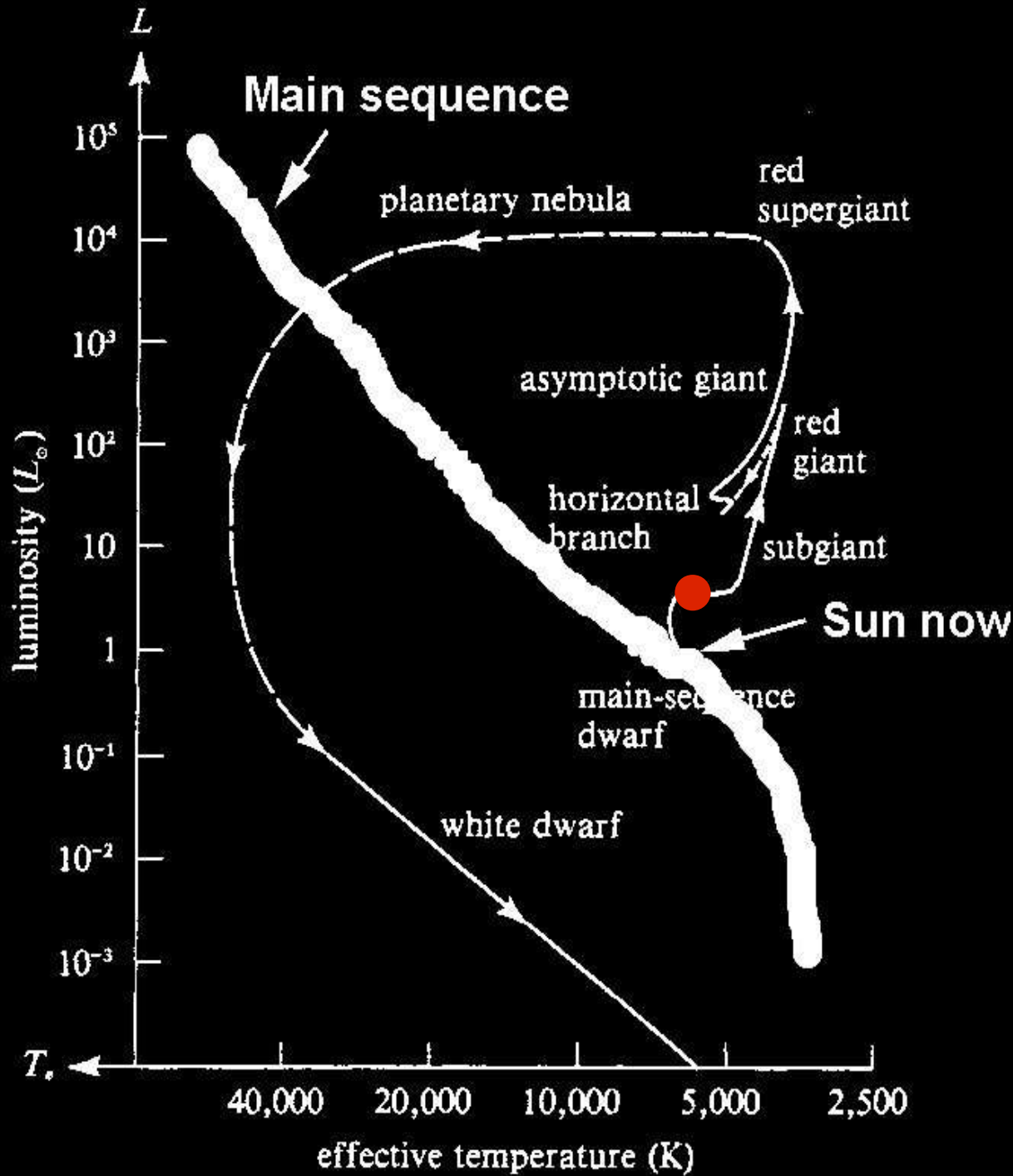
Wenus na Ziemi. $9 \cdot 10^9$ lat



- Słońce 40% jaśniejsze
- Oceany wyparują
- Koniec życia na Ziemi

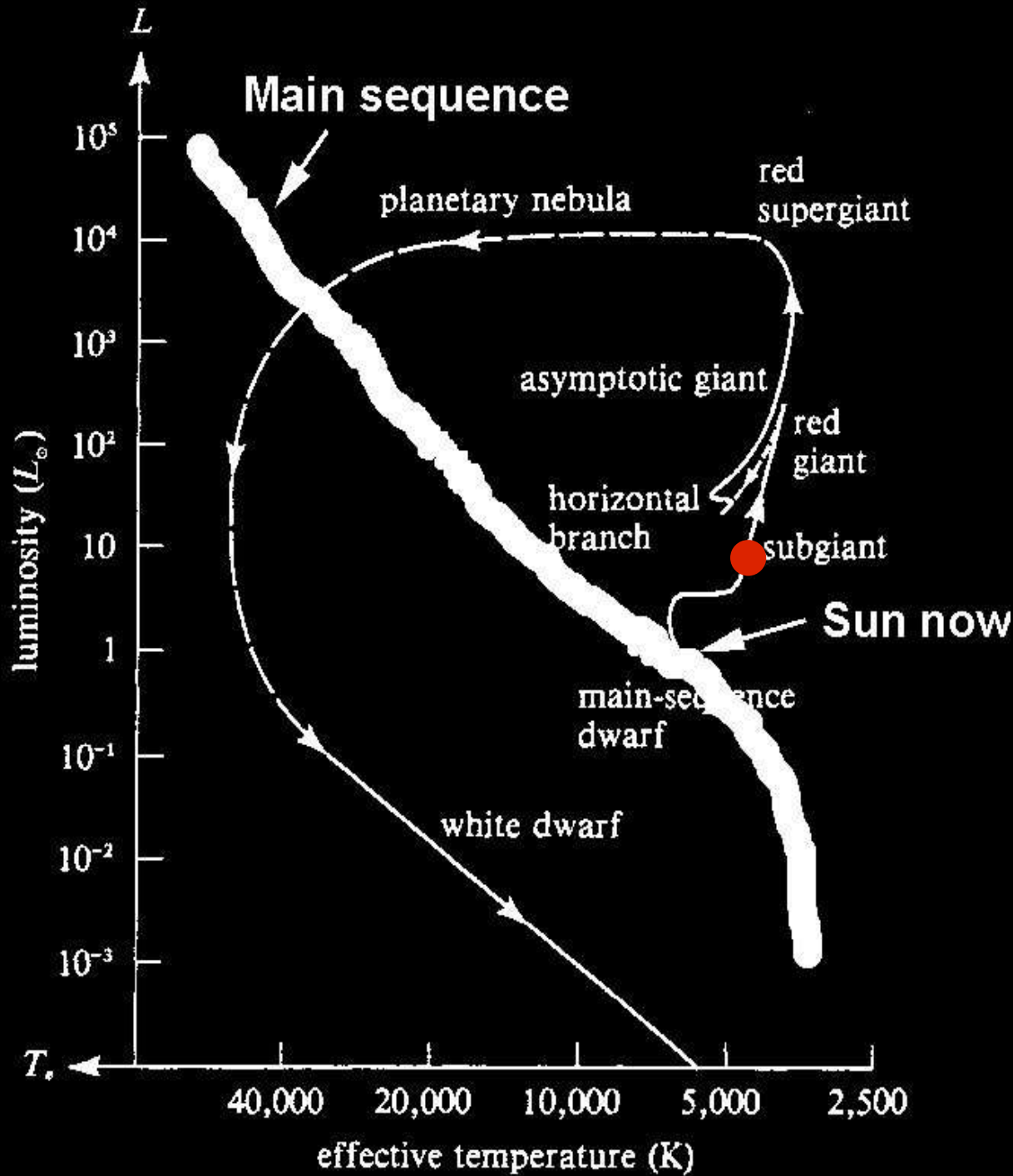


Wyczerpanie wodoru w jądrze $10.9 \cdot 10^9$ lat



-Palenie wodoru w otoczce
-1.58 R_{sun}
-2.21 L_{sun}

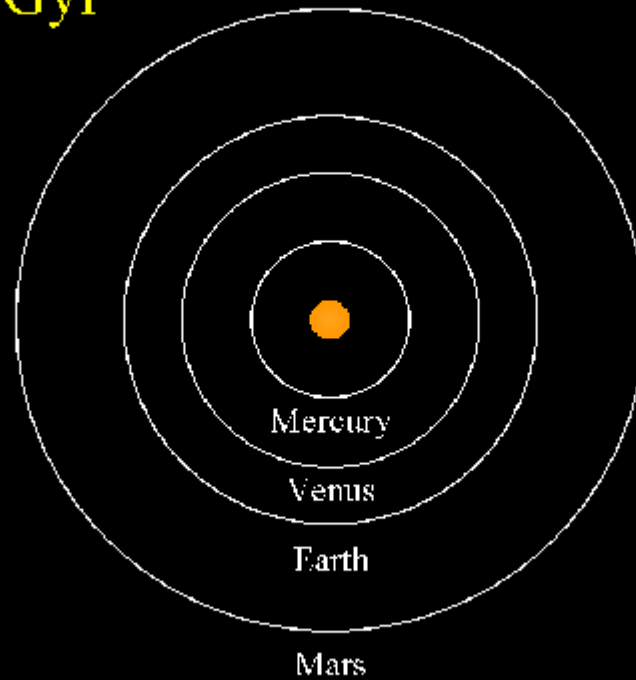
Podobrzym $11.6 \cdot 10^9$ lat



- Przesuwanie się warstwy palącej wodór bliżej powierzchni.
- 2.3 R_{sun}
- 2.21 L_{sun} utrzymuje się
- 4900K

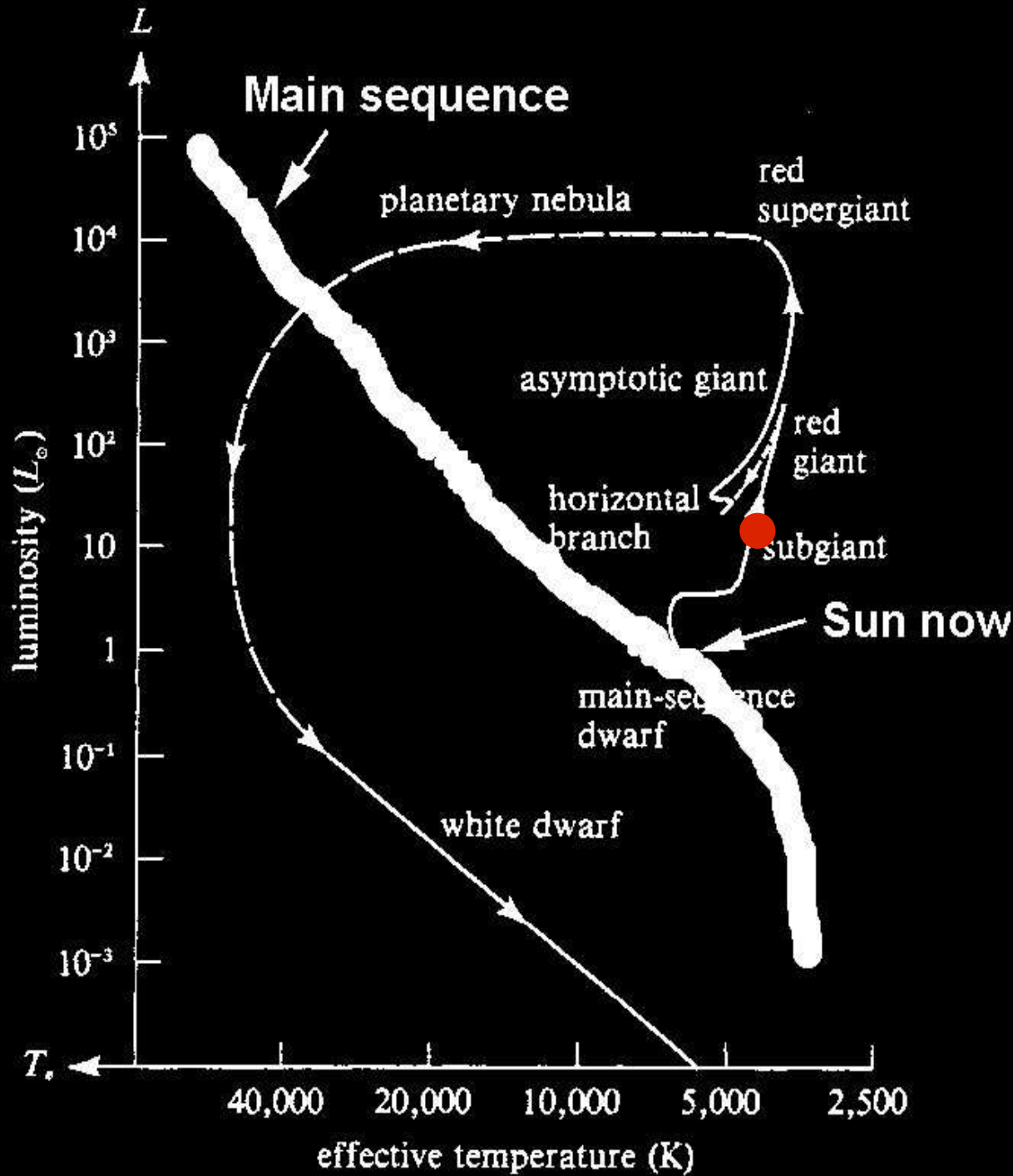
Podolbrzym $11.6 \cdot 10^9$ lat

Subgiant Phase
 $T=11.6$ Gyr



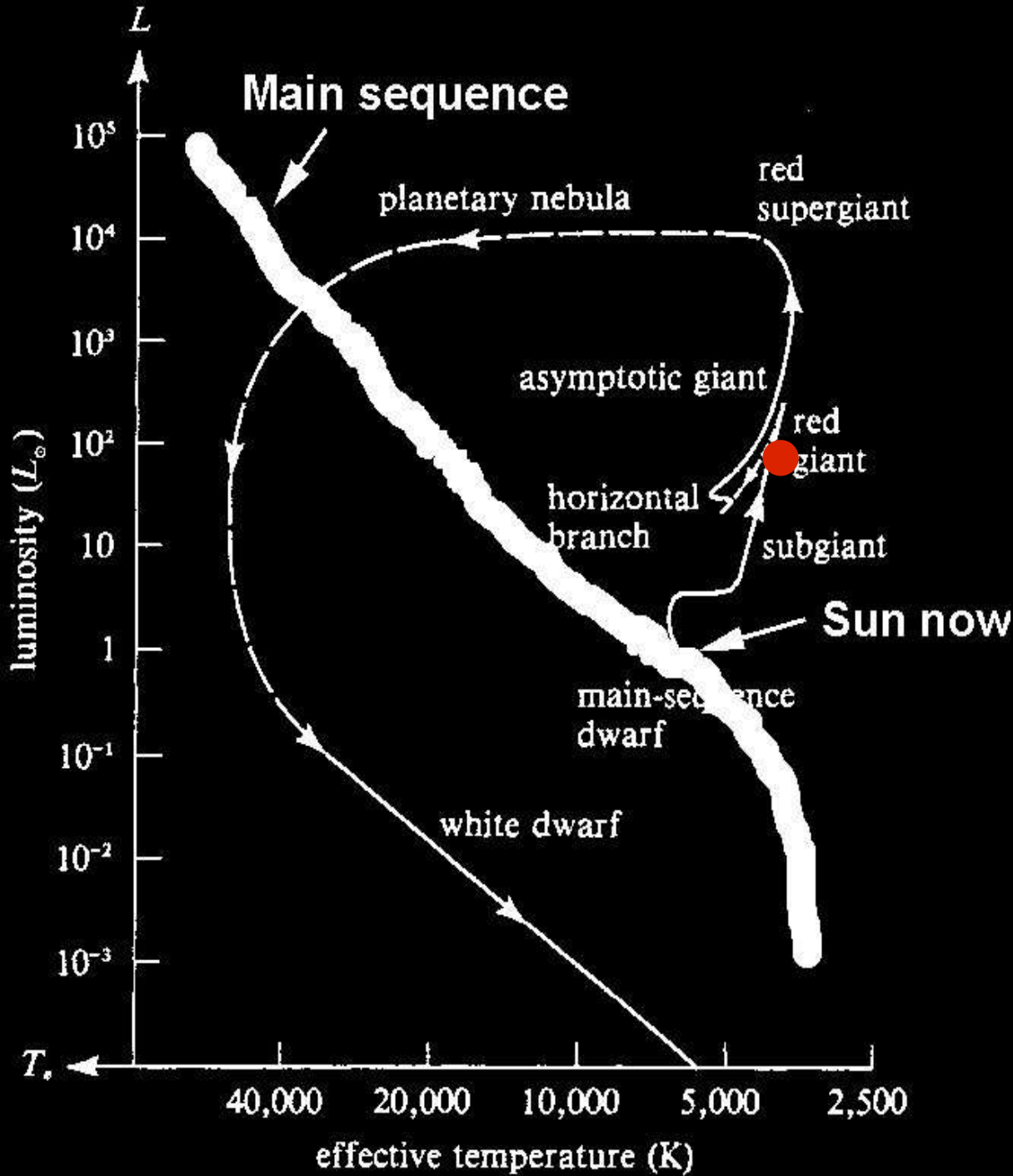
- Przesuwanie się warstwy palącej wodoru bliżej powierzchni.
- $R=2.3 R_{\text{sun}}$
- $R=2.21 L_{\text{sun}}$ utrzymuje się
- 4900K

Okres gwałtownego wzrostu $11.6-12.1 \cdot 10^9$ lat



- Około 28% masy unoszone przez silny wiatr gwiazdowy
- Orbita Wenus 1AU
- Orbita Ziemi 1.4 AU

Faza czerwonego olbrzyma $12.2 \cdot 10^9$ lat



- Transport energii ze
ze Słońca zdominowany
przez konwekcje.

- Kurczenie jądra
- warstwa paląca wodoru
cieńsza

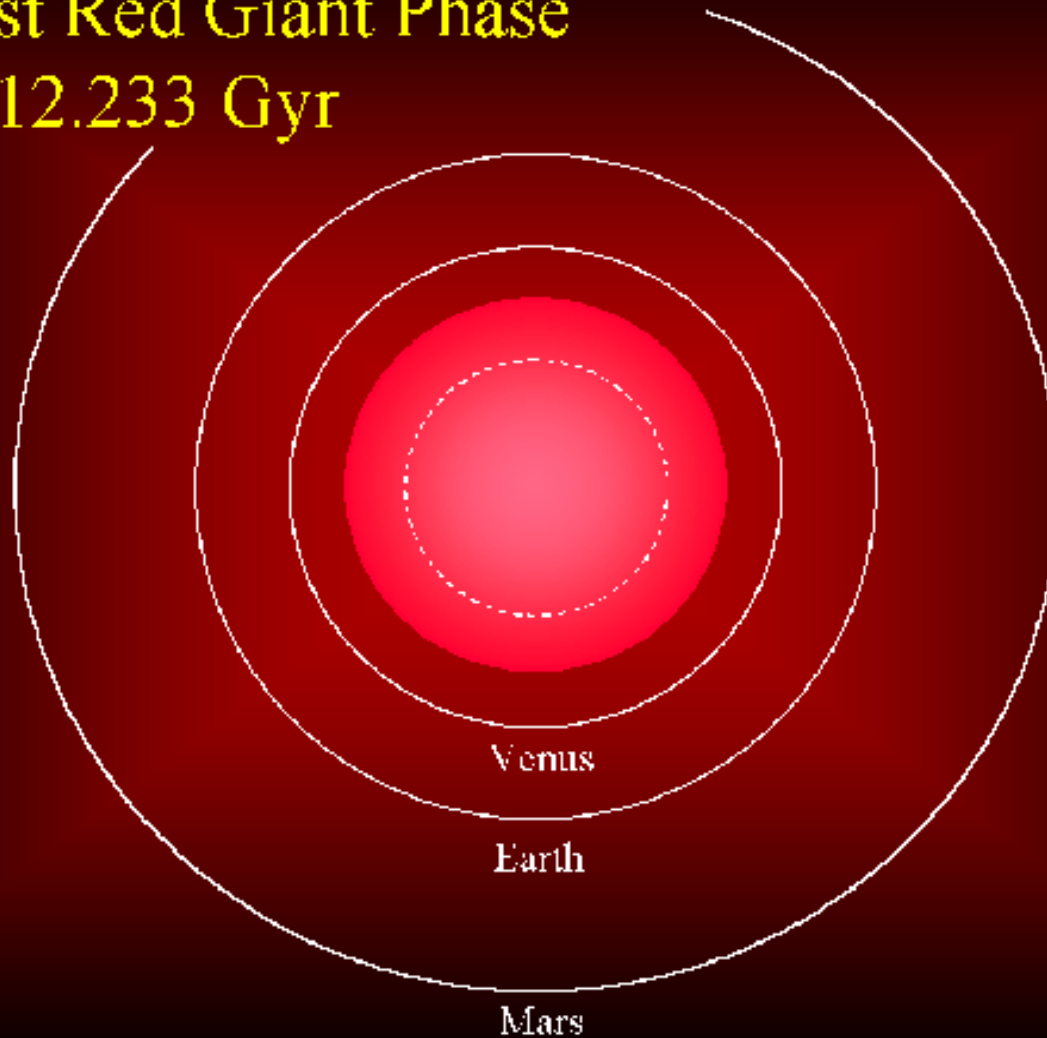
$R=166R_{\text{sun}}$ (0.77AU)

$L=2235 L_{\text{sun}}$

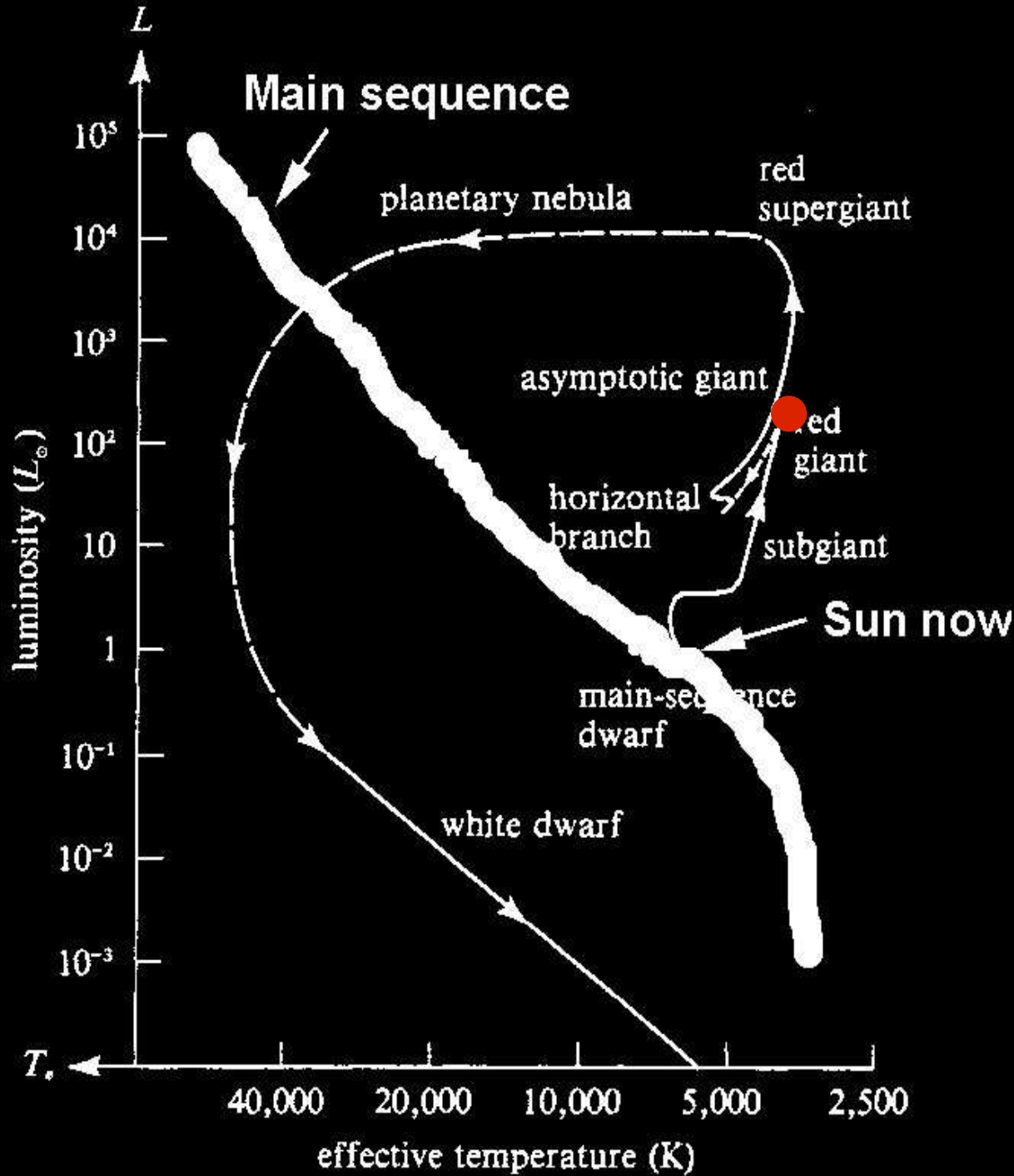
$T=3350\text{K}$

Merkury zniszczony przez Słońce.

First Red Giant Phase
T=12.233 Gyr

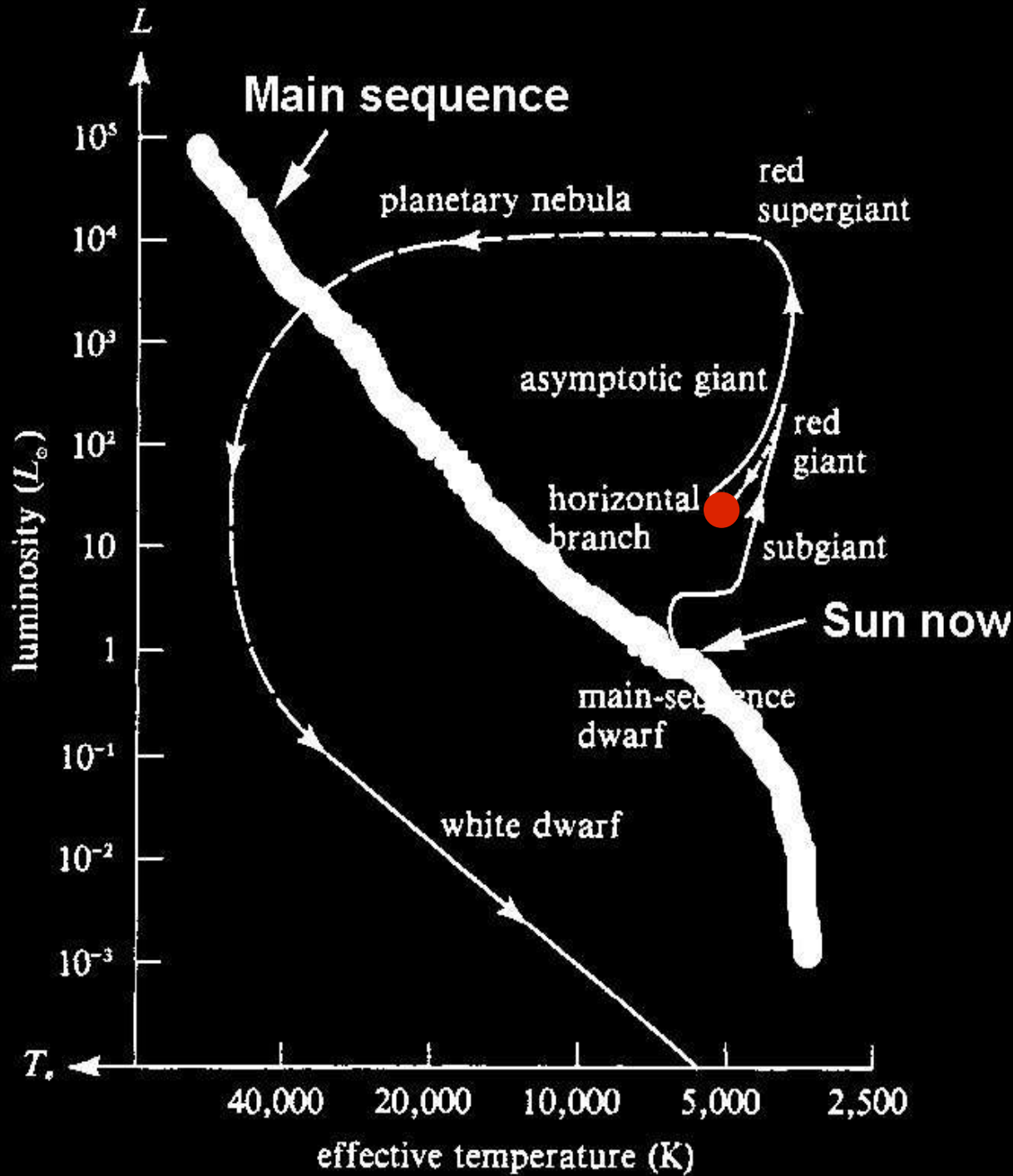


Błysk helowy (wiek Słońca $12.2 \cdot 10^9$ lat)



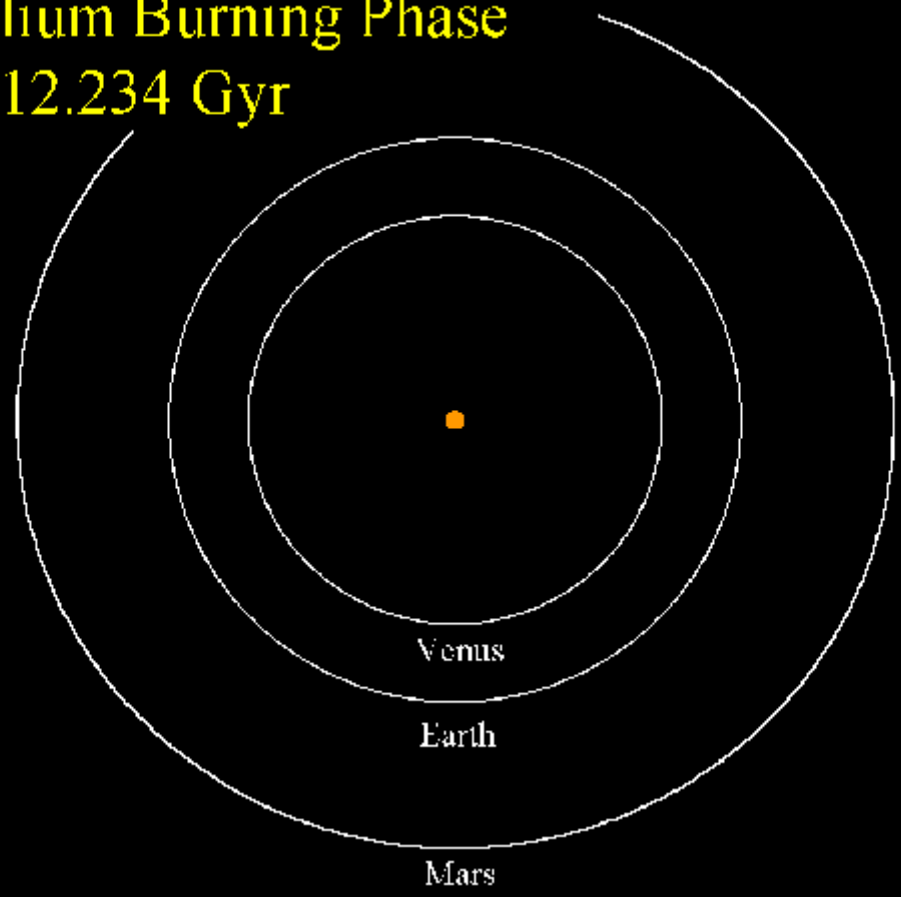
Czas trwania kilka min.
Produkowana energia
 $L=10^{11} L_{\text{sun}}$
Temp. jądra 10^8 K

Około milion lat po błysku helowym.

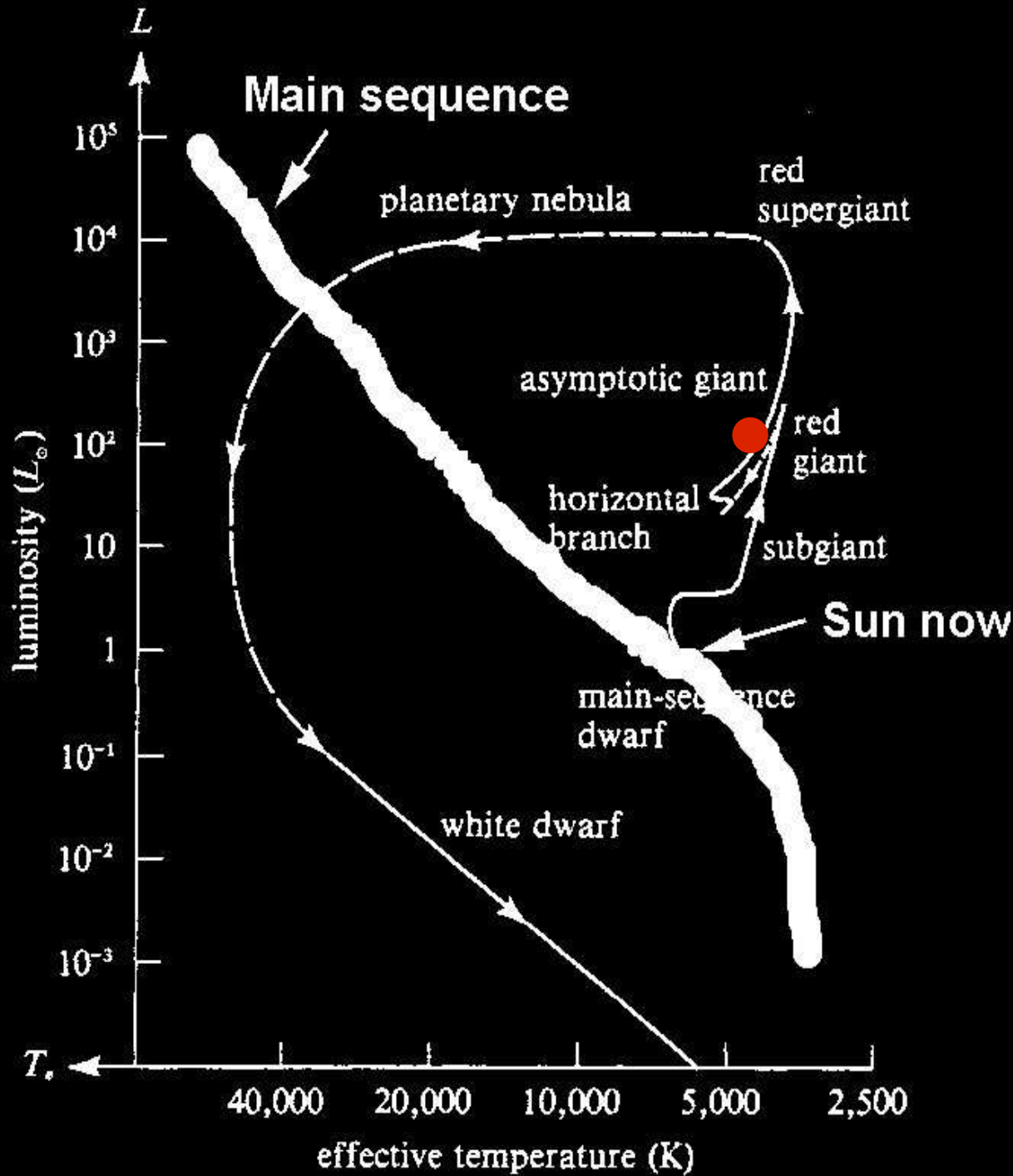


- Palenie helu w jądrze
- Palenie wodoru w otoczce
- $R = 9.5 R_{\text{sun}}$
- $L = 41 L_{\text{sun}}$
- $T = 4730 \text{ K}$
- Spokojny okres (110 Mlat) na HB

Helium Burning Phase
T=12.234 Gyr

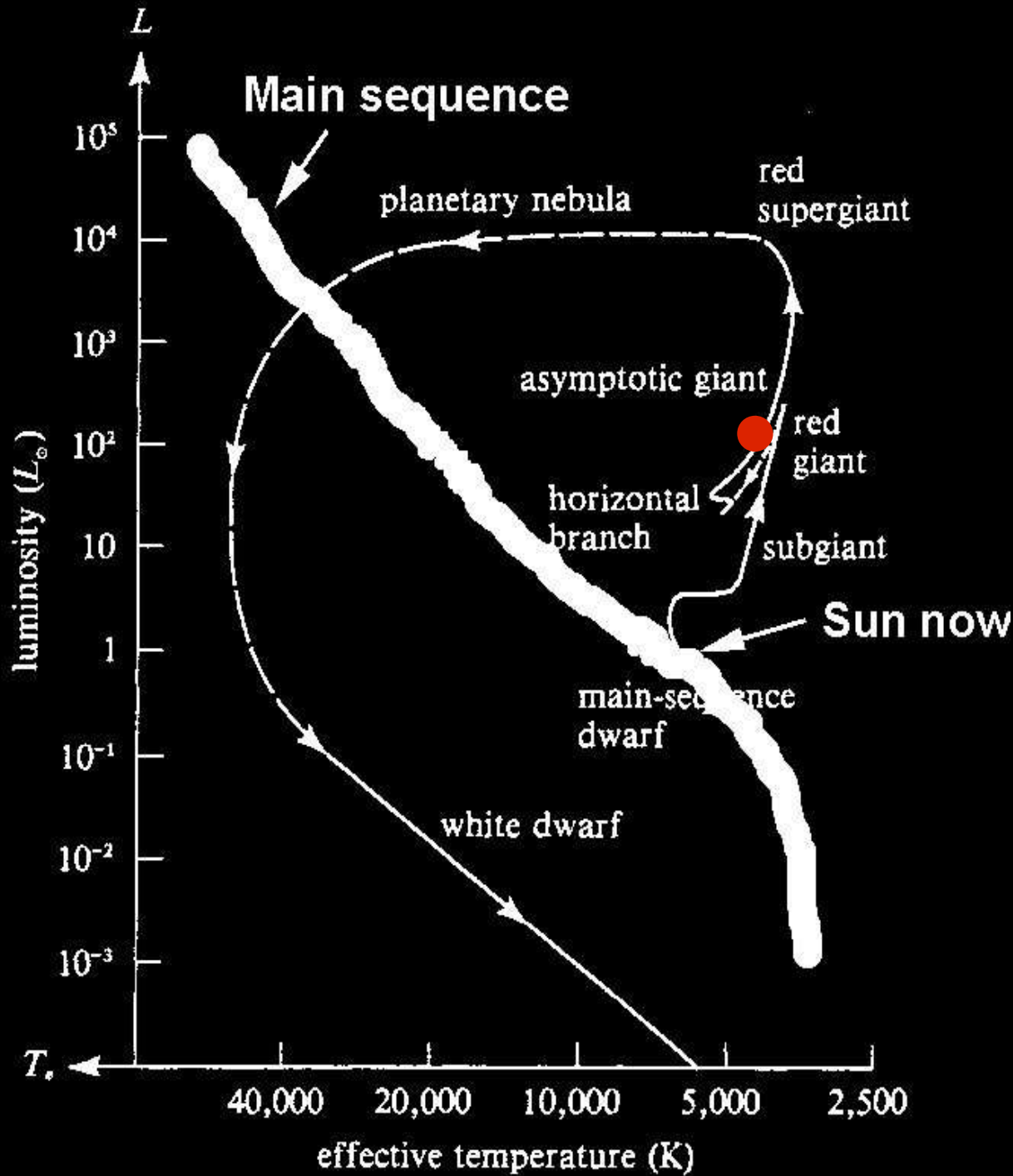


Droga do szybkiej emerytury



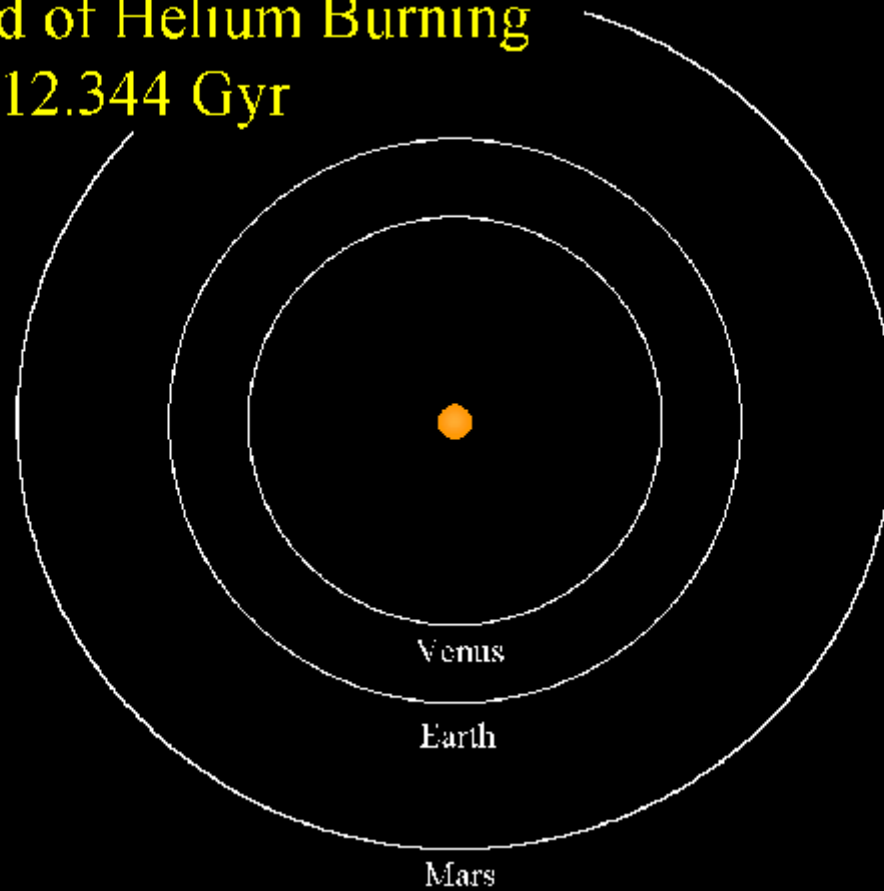
- Palenie helu w jądrze
- Palenie wodoru w otoczce
- $R = 18 R_{\text{sun}}$
- $L = 111 L_{\text{sun}}$
- $T = 4450$ K

Koniec ery palenie helu w jądrze, $12.34 \cdot 10^9$ lat

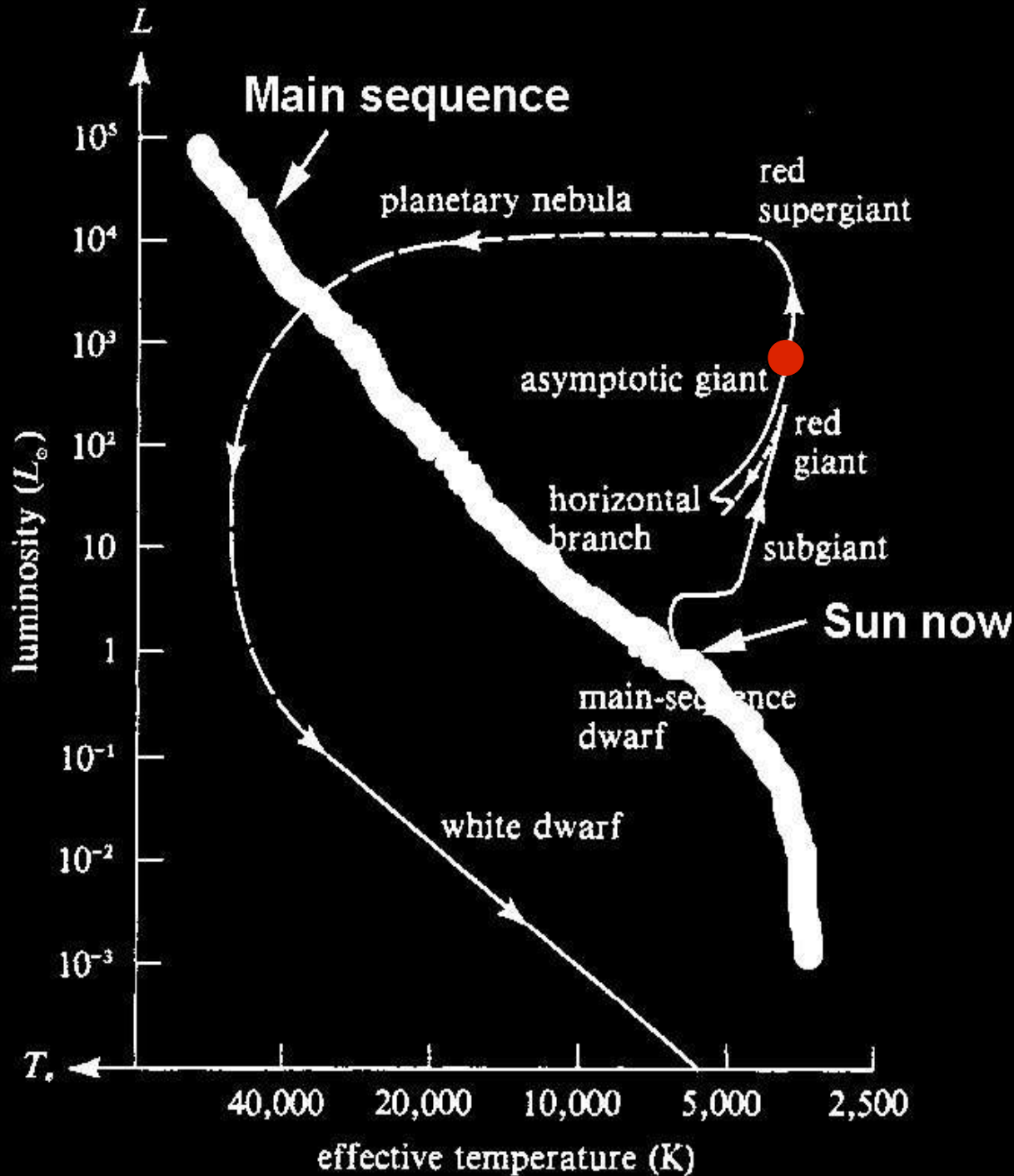


- Palenie helu w jądrze
- Palenie wodoru w otoczce
- wytwarzanie zdegenerowanego jądra węglowego
- $R = 18 R_{\text{sun}}$
- $L = 111 L_{\text{sun}}$
- $T = 4450 \text{ K}$

End of Helium Burning
T=12.344 Gyr



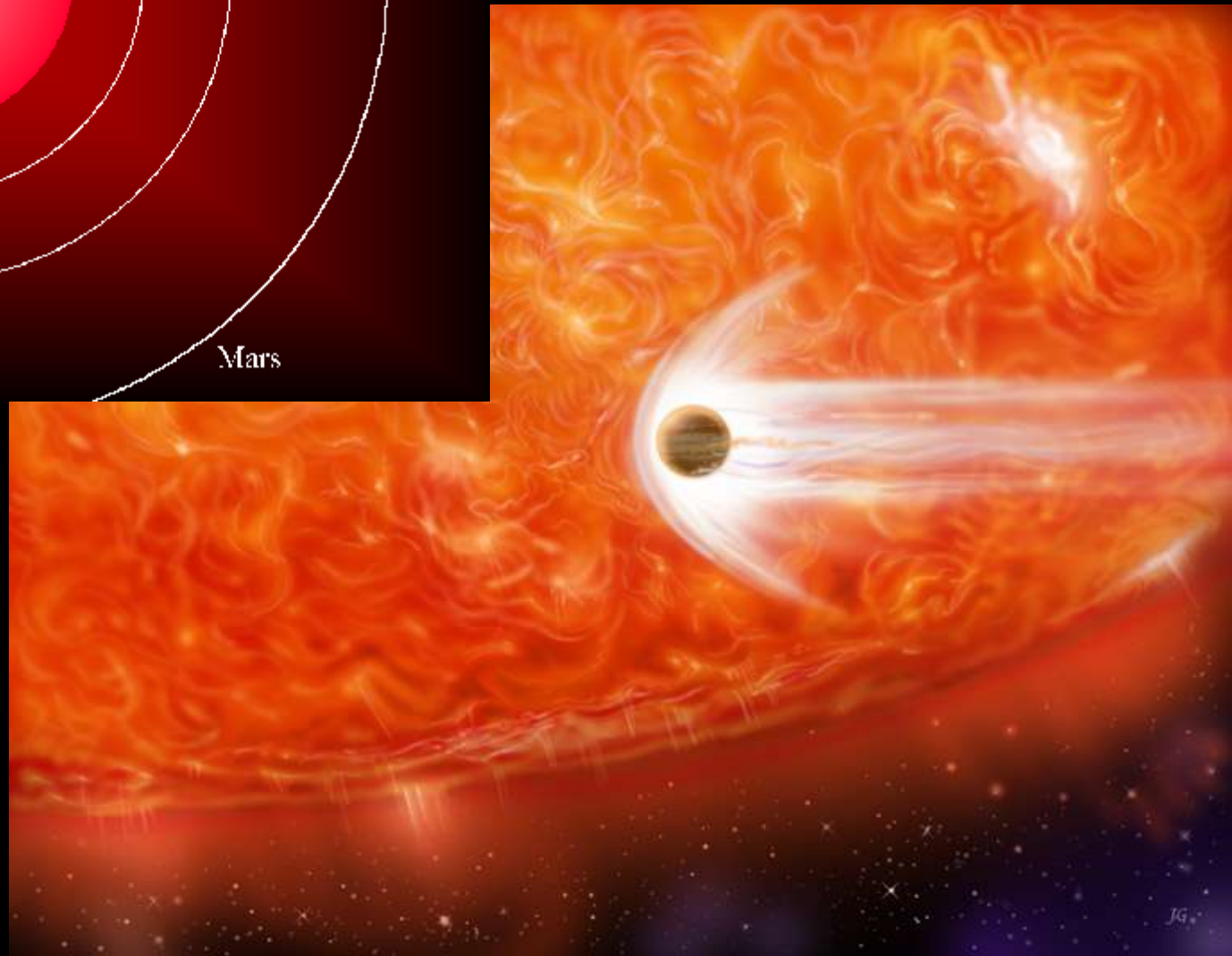
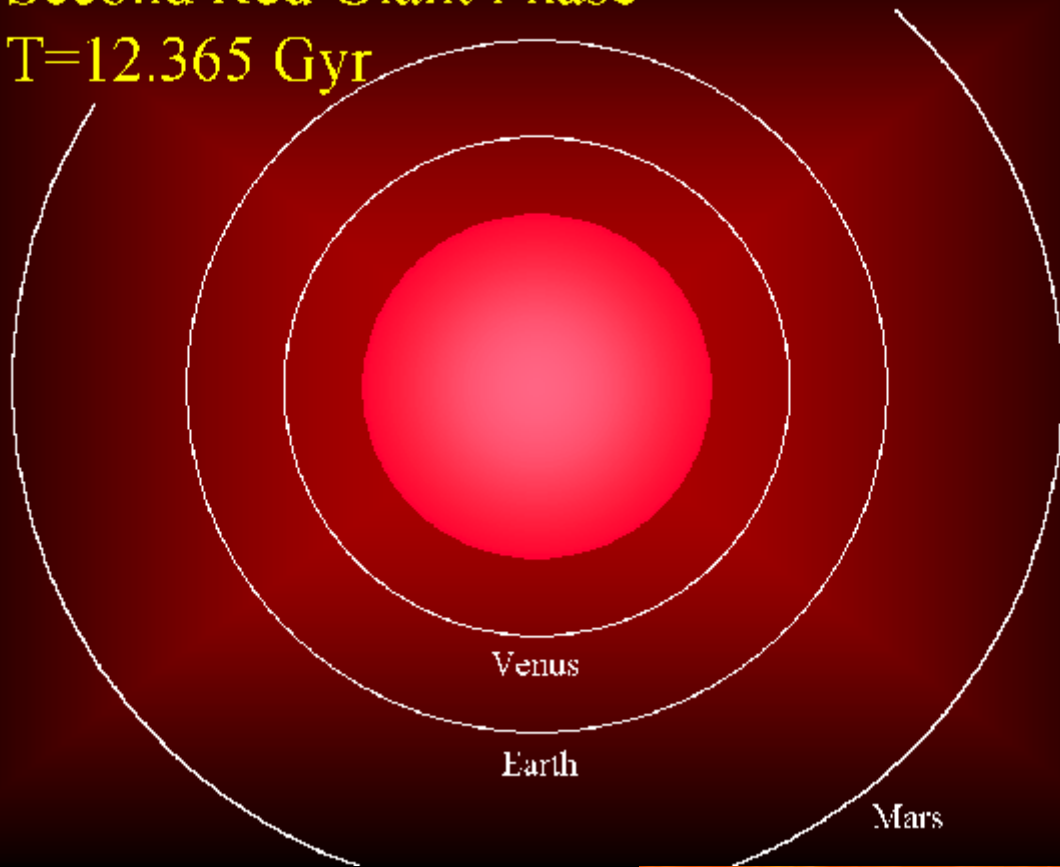
A po zaledwie 20 milionach lat – olbrzym raz jeszcze.



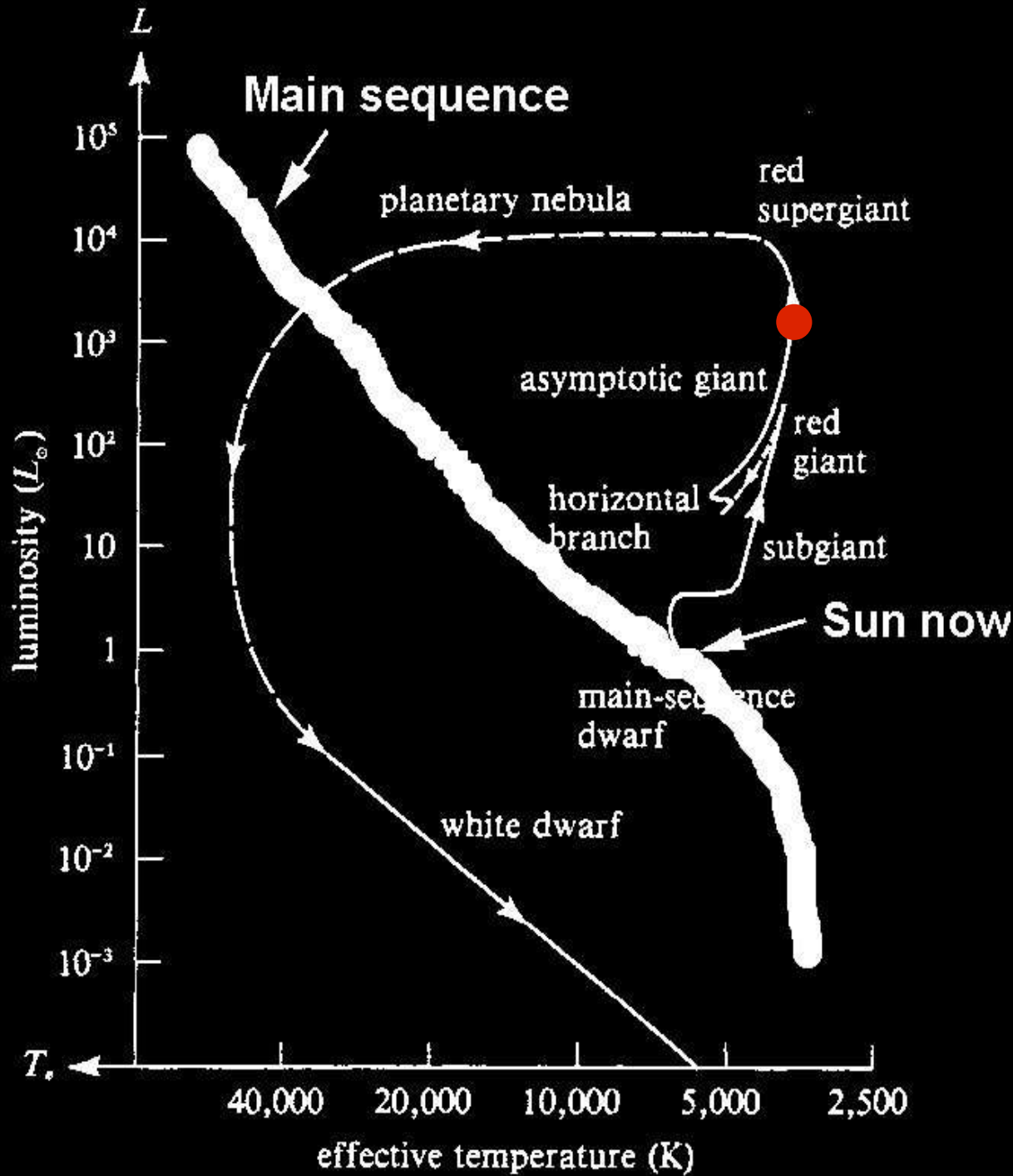
- Warstwa konwektywna sięgająca głęboko.
- Palenie helu i wodoru coraz bliżej pod powierzchnią.
- $R = 180 R_{\text{sun}}$ (0.84AU)
- $L = 3000 L_{\text{sun}}$
- $T = 3160 \text{ K}$
- Silny wiatr gwiazdowy usuwa około 46% masy.
- Wenus $a = 1.22 \text{ AU}$
- Ziemia $a = 1.69 \text{ AU}$

Second Red Giant Phase

T=12.365 Gyr



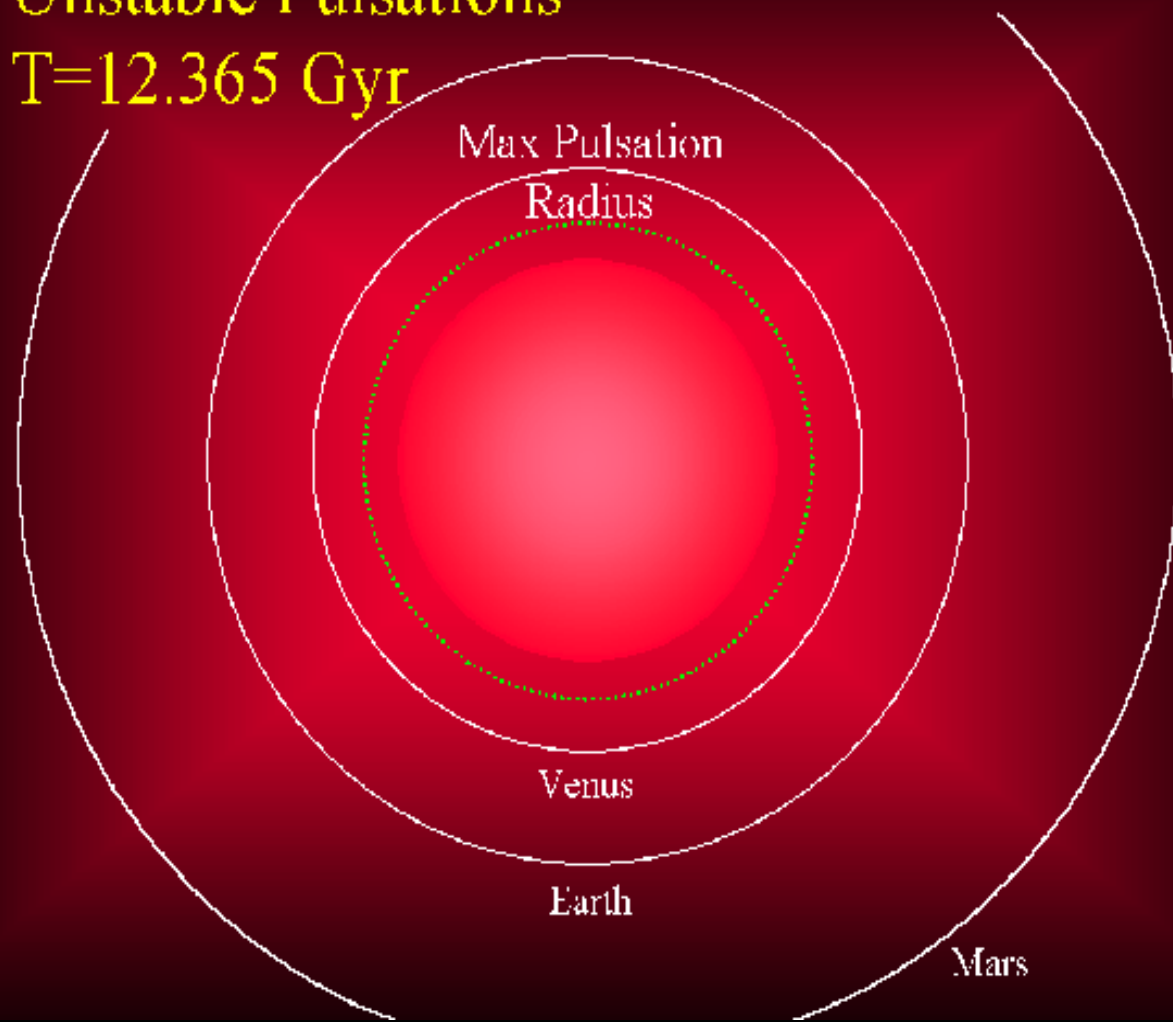
Ostatnie podrygi – niestabilne pulsacje.



- Niestabilne palenie helu otoczce.
- Kilka pulsów z okresem 100 000 lat i końcowe zdmuchnięcie otoczki.

Unstable Pulsations

$T=12.365$ Gyr





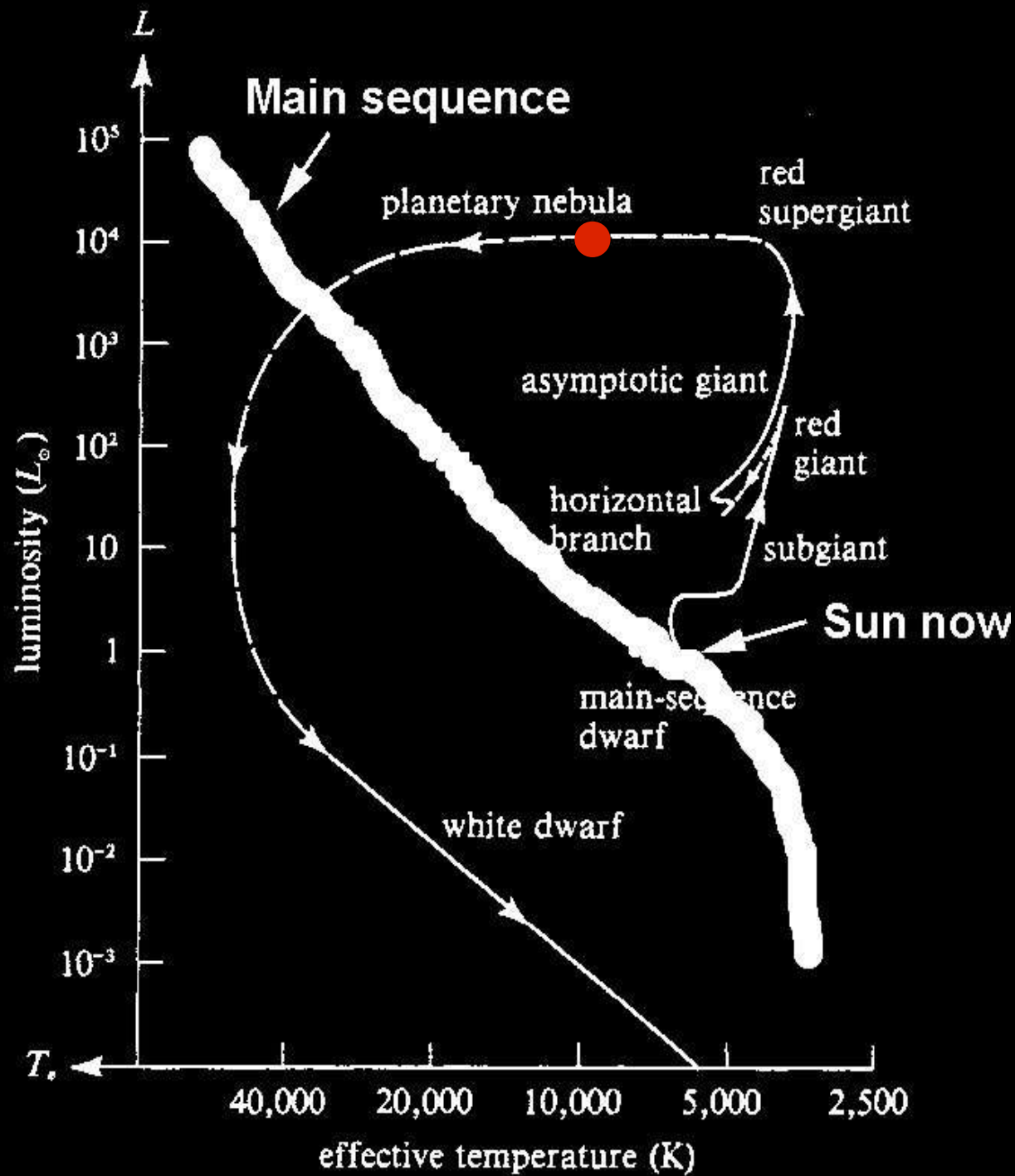
Temp. 50000K
Gęstość 1000kg/cm^3

Orbity planet:

Wenus $a=1.34(0.72)$ AU

Ziemia $a=1.85(1.0)$ AU

Mars $a=2.8(1.52)$ AU





Extending this to the end of the AGB:

