

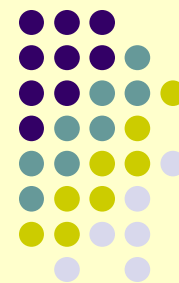


# Spolkne Slunce Zemi?

**Zdeněk Mikulášek,**

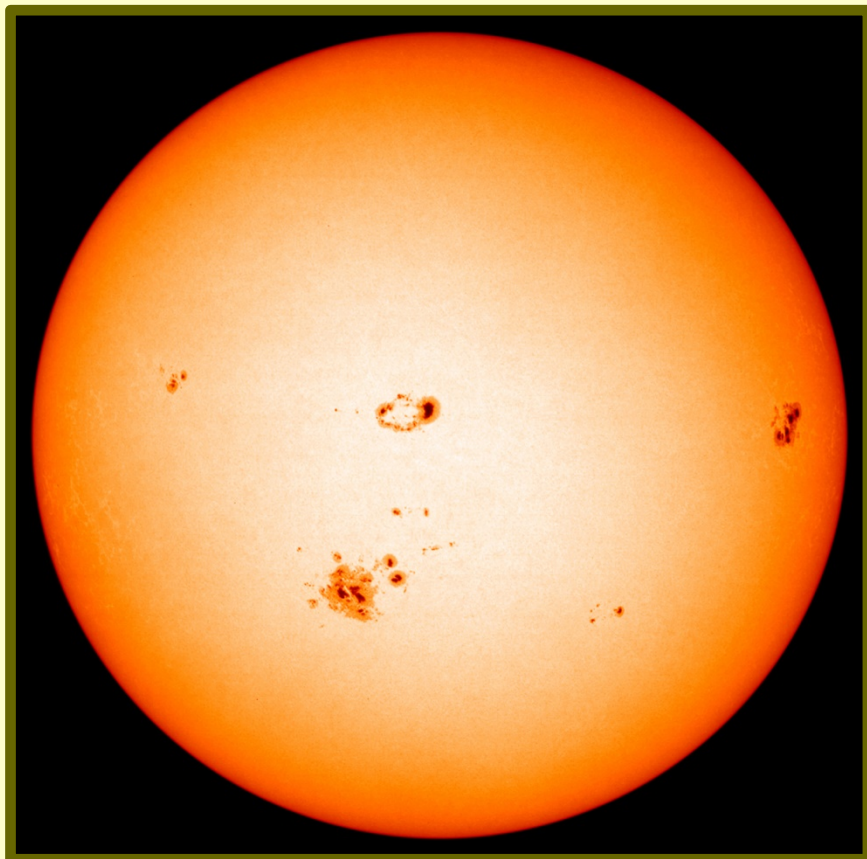
**Ústav teoretické fyziky a astrofyziky, Přírodovědecká  
fakulta Masarykovy univerzity, Brno**

# Dnešní Slunce

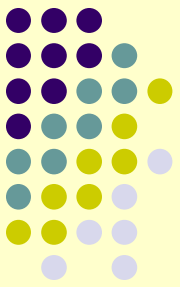


**Slunce** – nejsledovanější hvězda naší Galaxie.

- Bezprostředně můžeme pozorovat elektromagnetické záření jeho svrchních částí Slunce fotosféry, ale i chromosféry a koróny.



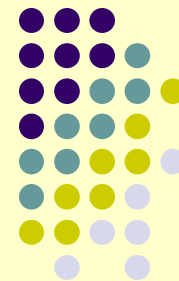
# Dnešní Slunce



**Slunce** – nejsledovanější hvězda naší Galaxie.

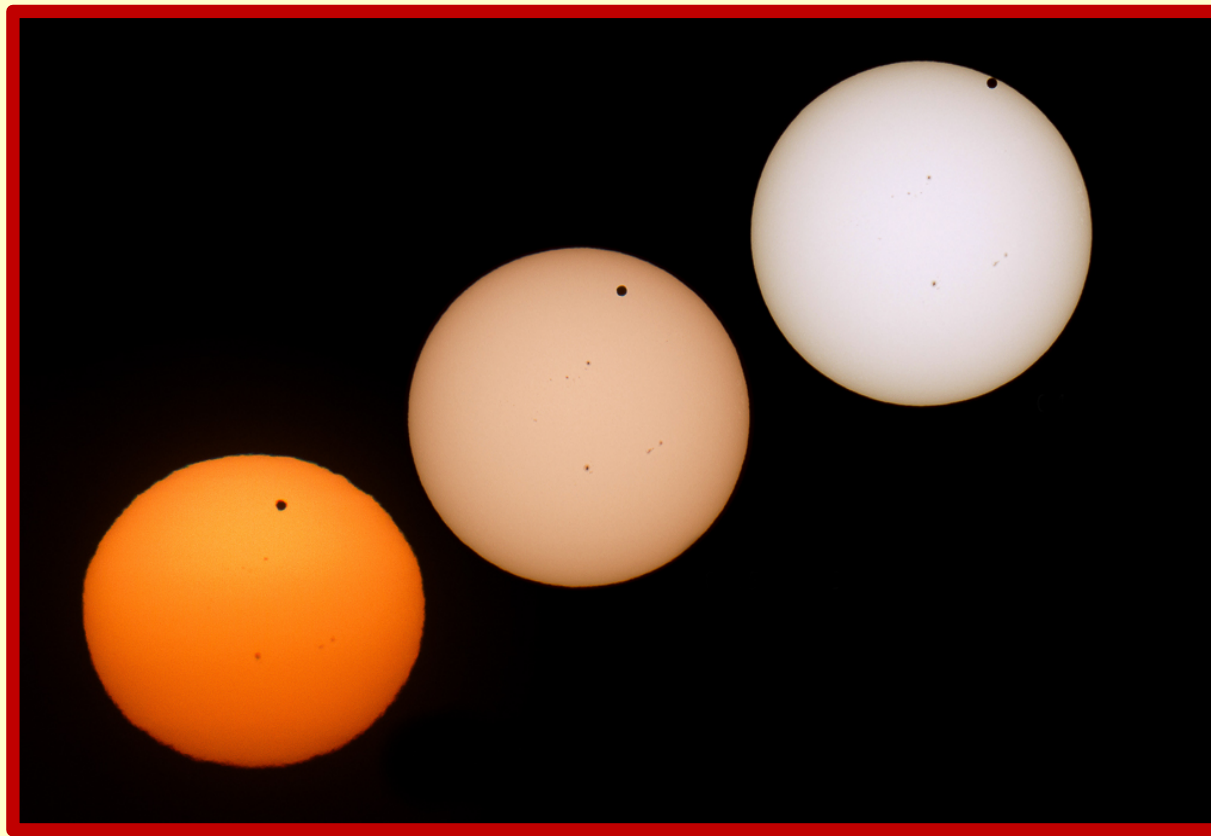
- Bezprostředně můžeme pozorovat elektromagnetické záření jeho svrchních částí Slunce fotosféry, ale i chromosféry a koróny.
- Vnitřek hvězdy studujeme pomocí modelů, helioseismologie a toku neutrin.
- Naše představy o fyzice dnešního Slunce jsou podepřeny teorií i měřeními v laboratořích.
- Je sféricky symetrická soustava gravitačně vázaných  $2 \cdot 10^{57}$  částic:  $e^-$ ,  $p$ ,  $He^{++}$ , ionizovaných atomů, C, O, N, Fe a dalších. Řidčeji se tam setkáváme s fotony rent. záření a neutrina. Fyzikálně – husté vysokoteplotní plazma, průměrná teplota  $7 \cdot 10^6$  kelvinů, hustota 1,4 hustoty vody.
- Proti gravitaci působí vztlak – tlak, hustota i teplota nabývají maxima v centru Slunce. Naopak tomu ve fotosféře je teplota pouhých 5700 K, hustota stejná jako hustota vzduchu ve stratosféře.
- Povrch Slunce se ochlazuje elmag. zářením – výkon Slunce  $4 \cdot 10^{26}$  wattů.
- Slunce se udržuje v rovnovážném stavu díky energii uvolňované při pomalých TNR  $4 H \rightarrow He$  v jádru – reaktoru hvězdy.

# Dnešní Slunce a Země

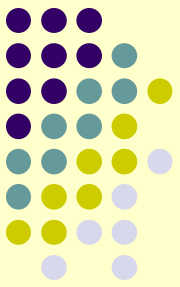


TNR – vysoce účinný energetický zdroj. Probíhají v časové škále mld let.

- Spojením 4  $H^+$  vznikají silně vázaná jádra  $He^{++}$  – počet částic na 1 kg se zmenšuje. To je příčinou pomalé vývojové změny – zahušťování jádra.
- Celková hmotnost Slunce  $1 M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg} = 1000 \text{ jupiterů}, 10^5 \text{ zemí}$ .  
Poloměr Slunce  $1 R_{\odot} = 696\,000 \text{ km} = 5 \text{ jupiterů}, 109 \text{ zemí}$ .



# Dnešní Slunce a Země



TNR – vysoce účinný energetický zdroj. Probíhají v časové škále mld let.

- Spojením 4  $H^+$  vznikají silně vázaná jádra  $He^{++}$  – počet částic na 1 kg se zmenšuje. To je příčinou pomalé vývojové změny – zahušťování jádra.
- Celková hmotnost Slunce  $1 M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg} = 1000 \text{ jupiterů}, 10^5 \text{ zemí}$ .  
Poloměr Slunce  $1 R_{\odot} = 696\,000 \text{ km} = 5 \text{ jupiterů}, 109 \text{ zemí}$ .

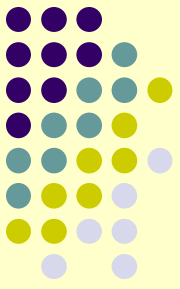
Astrofyzikálně je Slunce hvězdou hlavní posloupnosti třídy G2 V, ve srovnání s hvězdami v okolí je nadprůměrně jasné, teplé a husté. Dlouhodobě se mění jen velice pomalu.

I když Slunce má na pozemské obloze úhlový poloměr  $16'$  (5 milióntin její plošné výměry), stačí vyhřát Zemi (vzdálenou 150 miliónů km) na  $18^{\circ}$  Celsia, což stačí k udržení života.

Teplotu na Zemi zvyšuje přítomnost její atmosféry se skleníkovým efektem tvořeným tříatomovými molekulami  $CO_2$ , a  $H_2O$  aj., které zadržují teplo, jež by jinak uniklo zpět do kosmu.

Lidskou aktivitou se ale skleník posiluje – teplota na Zemi katastroficky roste.

# Minulost Slunce a Země

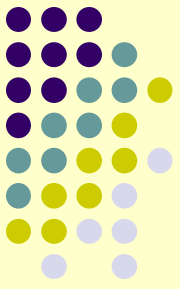


Slunce – pro nás nejdůležitější, mimořádně stabilní, klidná, optimálně hmotná hvězda – bez ní by se život na Zemi nerozvinul.

- Slunce i Země vznikly před 4,65 mld. Člověk – vzpřímený se na Zemi objevil před 2 milióny lety, planetu postupně zabydlel a podmanil si ji Homo sapiens před 150 tisíci let.



# Minulost Slunce a Země

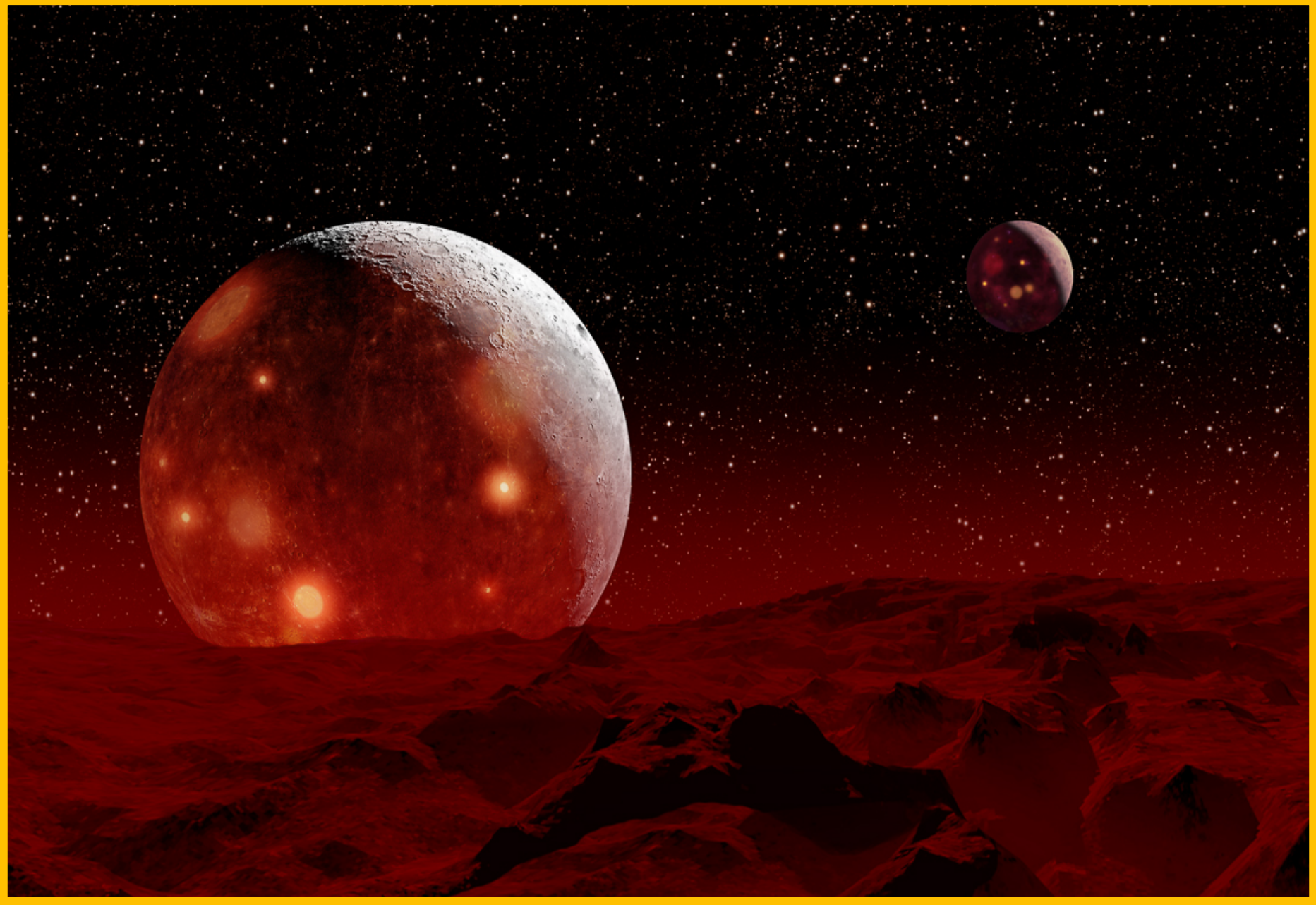


Slunce – pro nás nejdůležitější, mimořádně stabilní, klidná, optimálně hmotná hvězda – bez ní by se život na Zemi nerozvinul.

- Slunce i Země vznikly před 4,65 mld. Člověk – vzpřímený se na Zemi objevil před 2 milióny lety, planetu postupně zabydlel a podmanil si ji Homo sapiens před 150 tisíci let.

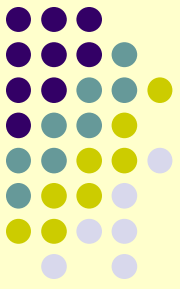
SS se utvořila kontrakcí zhustku v dnes již neexistujícím molekulovém oblaku. Šlo to ráz na ráz. V centru Slunce se v důsledku tepla uvolněného kontrakcí vytvořila teplota 10 miliónů K postačující ke vznícení vodíkových reakcí. Smršťování se zastavilo, hvězda vstoupila do éry hlavní posloupnosti.

- Zamrzla na poloměru  $0,9 R_{\odot}$  se zářivým výkonem  $2/3$  toho dnešního.
- I Země vypadala jinak – měla hustou prvotní atmosféru, kterou rychle odvál silný sluneční vítr. Země se srážela s protoplanetami, z vysrážené hmoty se utvořily Protoměsíce, které se postupně sbalily v jeden.





# Minulost Slunce a Země



Slunce – pro nás nejdůležitější, mimořádně stabilní, klidná, optimálně hmotná hvězda – bez ní by se život na Zemi nerozvinul.

- Slunce i Země vznikly před 4,65 mld. Člověk – vzpřímený se na Zemi objevil před 2 milióny lety, planetu postupně zabydlel a podmanil si ji Homo sapiens před 150 tisíci let.

SS se utvořila kontrakcí zhustku v dnes již neexistujícím molekulovém oblaku. Šlo to ráz na ráz. V centru Slunce se v důsledku tepla uvolněného kontrakcí vytvořila teplota 10 miliónů K postačující ke vznícení vodíkových reakcí. Smršťování se zastavilo, hvězda vstoupila do éry hlavní posloupnosti.

- Zamrzla na poloměru  $0,9 R_{\odot}$  se zářivým výkonem  $2/3$  toho dnešního.
- I Země vypadala jinak – měla hustou prvotní atmosféru, kterou rychle odvál silný sluneční vítr. Země se srážela s protoplanetami, z vysrážené hmoty se utvořily Protoměsíce, které se postupně sbalily v jeden.

Ten zprvu obíhal blízko, devastoval hustou atmosféru a vzdaloval se od Země. Po vzniku života se do atmosféry dostával kyslík a dusík. Skleníkové efekty se snižovaly, Slunce svítilo více, ale teplota se neměnila. Život dostal zelenou.

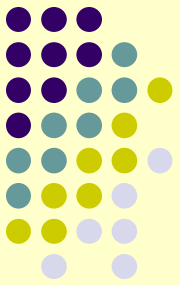


 SIDESHOW

THE  
SIDESHOW  
DINOSAURIA

© 2017 Sideshow, Inc.

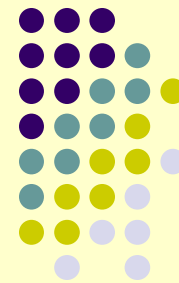
 BOB PALMER



- Pokud se lidstvu podaří definitivně vyřešit své problémy spojené se suchem a zvýšenou teplotou v důsledku spalování fosilních paliv a chovem skotu, čeká ho miliarda let prosperity.
- Slunce bude velkorysé a nebude rozvoji překážet.

Pravda vyvíjí se, ale jen velmi, velmi zvolna.

# Příčiny vývoje hvězd



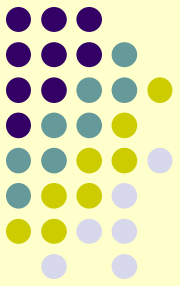
Hvězdy jsou gravitačně vázané soustavy tvořené materiálem rozžhaveným na teplotu miliónů kelvinů. Vně je kosmický prostor o teplotě mnohonásobně menší. Hranicí hvězdy je tzv. fotosféra – nejchladnější místo ve hvězdě, s teplotou několik tisíc kelvinů. Tudy do okolí unikají fotony – hvězdy září.

- Jsou to tedy otevřené systémy, které na svou otevřenost doplácí tím, že jejich vnitřní energie postupně klesá – hvězdy se tak musí měnit, tj. vyvíjet. Mění se jejich rozměry a v důsledku TNR i jejich chemické složení a vnitřní uspořádání.

Tempo vývoje je určeno především izolačními vlastnostmi hvězdného materiálu v obalu hvězdy, který chrání žhavé nitro hvězdy před vychladnutím.

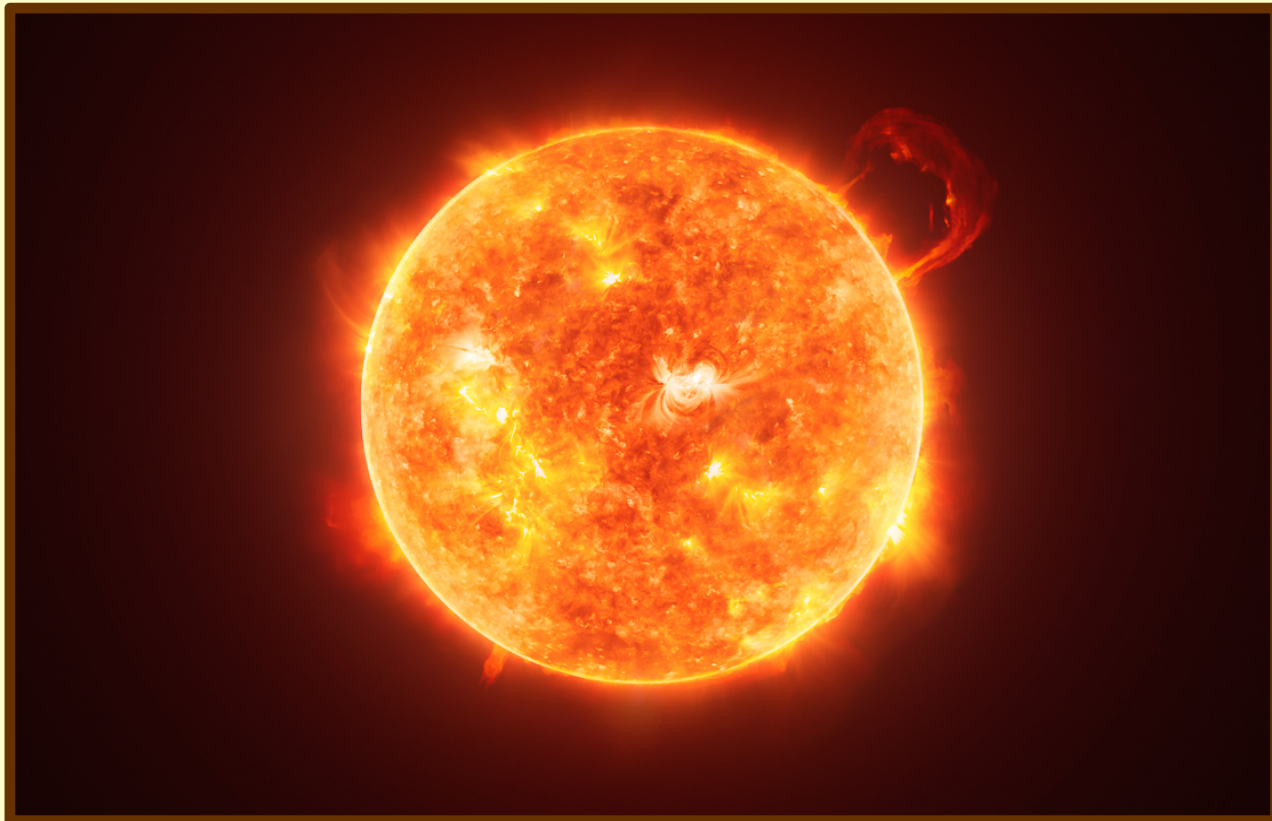
- V laboratořích Los Alamos (1992) proměřena neprůhlednost hvězdného materiálu. Nutné pro výpočet **vývoje** osamělé, chemicky homogenní hvězdy složené ze 70% z vodíku, 28% z hélia a 2% těžších prvků, s počáteční hmotností  $1 M_{\odot}$  – Sluncem na počátku jeho vývoje na hlavní posloupnosti.

# Slunce: dnešek a obří budoucnost

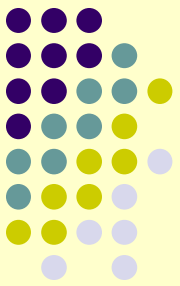


Ve shodě s předcházejícími modely nalezeno, že Slunce vstoupilo do etapy hvězdy hlavní posloupnosti před 4,65 mld, postupně se zvětšovalo a zjasňovalo, až dosáhlo dnešních parametrů.

- Vše souhlasí – jak stáří, tak i chemické složení, v okolí centra – tam už je spáleno 50% H na He – potvrzeno helioseismologicky.



# Slunce: dnešek a obří budoucnost



Ve shodě s předcházejícími modely nalezeno, že Slunce vstoupilo do etapy hvězdy hlavní posloupnosti před 4,65 mld, postupně se zvětšovalo a zjasňovalo, až dosáhlo dnešních parametrů.

- Vše souhlasí – jak stáří, tak i chemické složení, v okolí centra – tam už je spáleno 50% H na He – potvrzeno helioseismologicky.

Další vývoj – vnitřek Slunce se zahušťuje, a ohřívá, výkon Slunce poroste.

- 1,1 mld let – výkon 110% - vlhký skleníkový efekt
- 3,5 mld let – výkon 140% - překotný suchý skleníkový efekt, který Zemi dokonale sterilizuje od zbytků života – Země mrtvá, vyprahlá planeta
- Po 7 mld letech – přestavba slunečního reaktoru – Slunce se nafukuje a rychle se stává červeným obrem. V jeho ohnivě náručí postupně zmizí Merkur a Venuše.
- Slunce – smrštěmi zmítaný červený obr – s poloměrem 1 a.u. Země bude brouzdat po okraji hvězdy – její osud bude brzy zpečetěn. Spirála smrti...

Země však, zdá se, o vlásek unikne – díky úbytku hmotnosti Slunce hvězdným větrem – cca 30%. Země odpluje do bezpečné vzdálenosti 1,2 a.u. Tehdy se ve Slunci vznítí He, to smrští a stane se malým, žlutým obrem

# Další vývoj Slunce a konečný osud Země

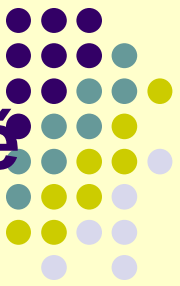
Po epizodě žlutého obra začne Slunce opět kynout – podruhé se stává červeným obrem, ještě větším a divočejším. Z povrchu hvězdy stoupá dým z uhlíkových sazí, hvězda čadí do prostoru.

Má ale na kahánku postupně se rozptýlí do prostoru a její poslední dějství je planetární mlhovina, ta se rozptýlí do prostoru, zbude jen nukleárně neaktivní CO jádro z degenerovaného plynu – budoucí bílý trpaslík.

- Pozorovatelé ze Země budou moci vše sledovat z bezprostřední blízkosti. Maximální poloměr Slunce jako rudého obra asymptotické větve bude 1,2 a.u., a Země díky dalšímu úniku hmoty zaparkuje na dráze 1,54 a.u. Kotouč Slunce bude mít na pozemské obloze průměr  $105^\circ$



# Další vývoj Slunce a konečný osud Země



Po epizodě žlutého obra začne Slunce opět kynout – podruhé se stává červeným obrem, ještě větším a divočejším. Z povrchu hvězdy stoupá dým z uhlíkových sazí, hvězda čadí do prostoru.

Má ale na kahánku postupně se rozptýlí do prostoru a její poslední dějství je planetární mlhovina, ta se rozptýlí do prostoru, zbude jen nukleárně neaktivní CO jádro z degenerovaného plynu – budoucí bílý trpaslík.

- Pozorovatelé ze Země budou moci vše sledovat z bezprostřední blízkosti. Maximální poloměr Slunce jako rudého obra asymptotické větve bude 1,2 a.u., a Země díky dalšímu úniku hmoty zaparkuje na dráze 1,54 a.u. Kotouč Slunce bude mít na pozemské obloze průměr  $105^\circ$

Jenže bohužel tentokrát nepřežije – uplatní se zde totiž efekt **slapového brzdění**. Země slapově vyboulí hvězdný povrch, vrcholek bude za nízko kroužící Zemí zaostávat. V pohybu bude planetu brzdit, a ta bude sestupovat stále níž a níž. Smyčka spirály smrti se tentokrát utáhne nadobro.

- Jak Země sestoupí do atmosféry, rozpustí se a stane se součástí umírající hvězdy.

Slunce Zemi tedy nakonec spolkne. Nestane se tak dřív než za 7,6 mld let.