

Vesmír – laboratoř extrémních teplot(?)

Zdeněk Mikulášek

Univerzita třetího věku, PŘF Masarykova univerzita Brno

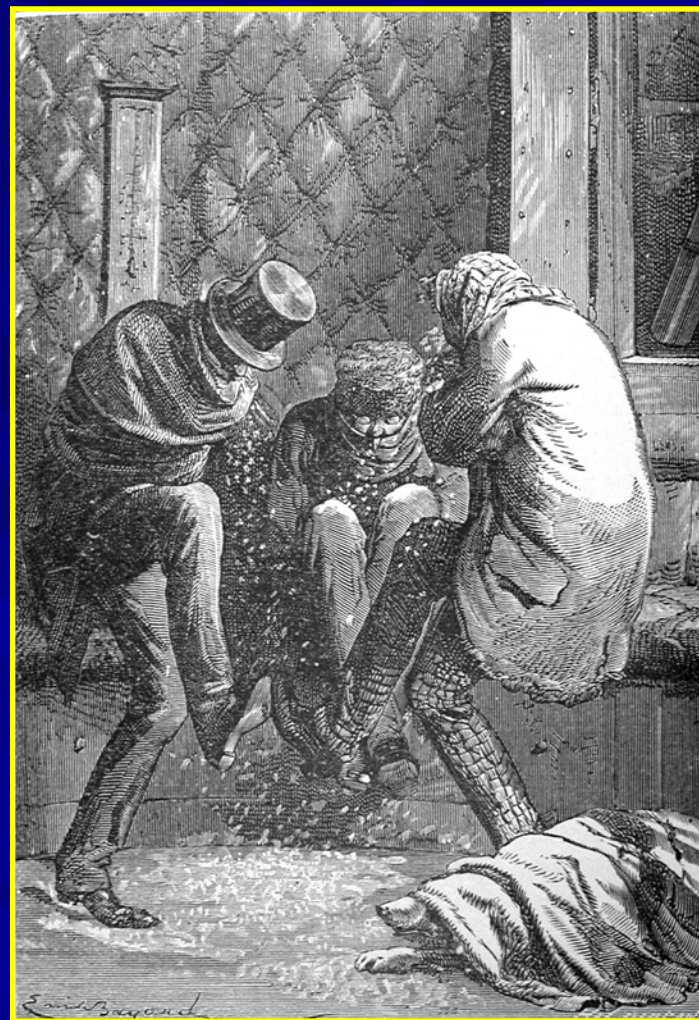
1. 3. 2018

Úvodem

- Teplota – jedno z nejfrekventovanějších slov – náš každodenní život se točí kolem teplot, sledujeme předpovědi počasí – teploty jsou tam skoro jediná čísla – zdá se, že všichni vědí, o co jde.
- Člověk žijící na jednom místě zemského povrchu vnímá změny teplot během dne, během roku. Pohybuje-li se po Zemi, zaznamenává ještě větší amplitudu, když pak putuje vzhůru nebo naopak dovnitř Země, jsou změny ještě větší.
- **Jenže co je to teplota?**

Teplota jako fyzikální veličina

- Je to měřitelná fyzikální veličina, ale patří k těm nenázorným – intenzívním veličinám, jako jsou hustota (čehokoli), tlak apod. Ty nelze ukázat jinak než nějakými ciferníky a číselnými údaji.
- Teplota souvisí s hustotou energie, je jejím popisem.

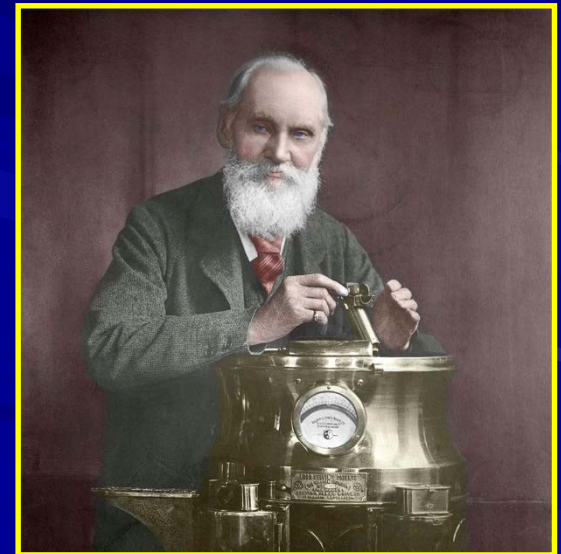


Teplota jako fyzikální veličina

- Makroskopický pohled – jde o stavovou veličinu. Budeme-li do systému přidávat energii, ohřívat je, jeho stav se bude měnit: v plynu poroste tlak, nestlačitelná kapalina či tuhá látka se bude rozpínat, těleso bude více zářit a rozložení energie v jeho spektru se bude posouvat, může docházet i ke změnám fáze – skupenství.
- To umožňuje kvantitativně určovat teplotu – vytvořit teplotní stupnice, různé teploměry kalibrovat.

Teplota jako fyzikální veličina

- **Celsiova stupnice** definována pomocí bodu tání a varu vody – dobře definovaný stav, kdy se teplota nemění. Značný pokrok sjednocení teplotních údajů.
- **Kelvinova stupnice** – termodynamická teplota – teplota vystupující třeba v stavové rovnici ideálního plynu. 0 kelvinů = $-273,3^{\circ}\text{C}$. Absolutní nula, nejnižší možná teplota. Teplota – míra pohybu mikročástic – při absolutní nule pohyb klesá na nulu.

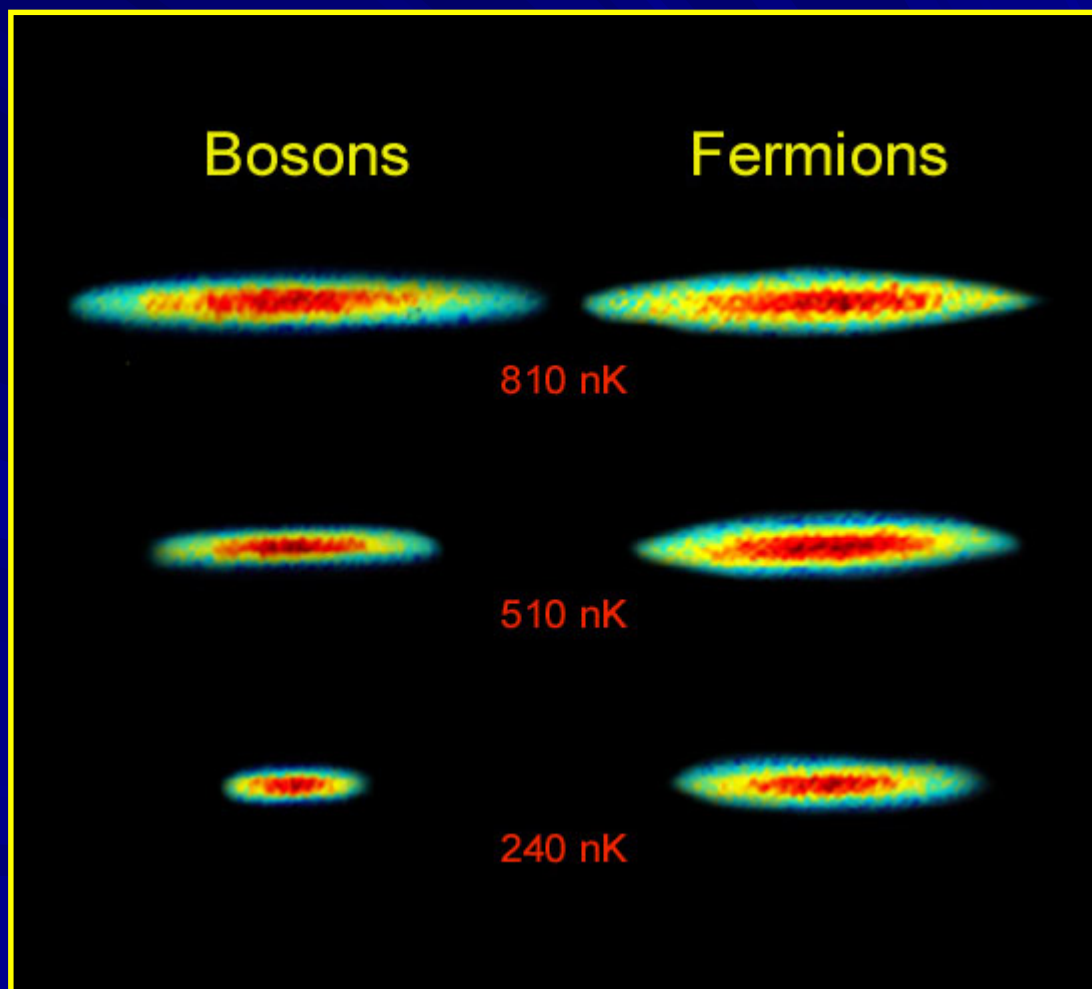


Teplota jako fyzikální veličina

- Při kontaktu těles s rozdílnou teplotou dochází k přenosu tepla od teplejšího tělesa k chladnějšímu → **vyrovnávání teplot.**
- **Termodynamika** – ideál izolované soustavy, uvnitř vznik termodynamické rovnováhy – vyrovnání teplot všech složek, veškerý pohyb převeden na teplo. Tepelná smrt.
- Pro TR odvozena spousta zákonů.
- **Statistická fyzika** – propojení makroskopického a mikroskopického pohledu.

Teplota jako fyzikální veličina

- **Kvantová mechanika:**
Pauliho vylučovací princip – vyloučeno, aby i při absolutní nule ustal veškerý pohyb, nezbytně nutný – nejmenší možný.

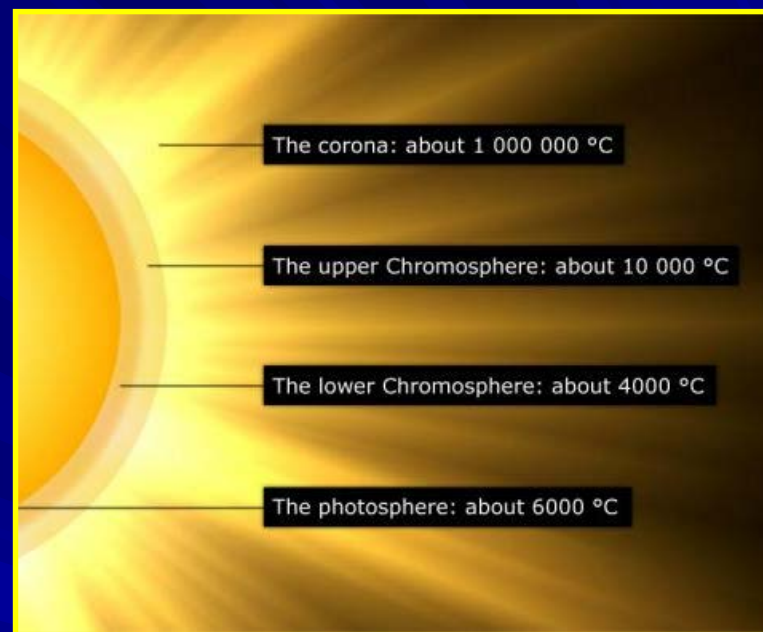


Teplota jako fyzikální veličina

- Jakkoli by se zdálo, že bychom měli mít vesmíru všechny teploty srovnané – neplatí to.
- Nikde (tedy ani na Zemi, ani ve vesmíru) se neseťkáváme se stavem podobným tepelné smrti, naopak, i v kontaktu tu jsou oblasti s rozdílnou teplotou. Rozdílnou teplotu mají i jednotlivé složky elektrony, atomy, fotony.

Teplota jako fyzikální veličina

- Například na Zemi nejsou nikdy teploty srovnané, během dne vidíme Slunce s teplotou 5500°C , ještě vyšší teplotu má v centru Země pouhých 6000 km pod nohama. Blesky mají teplotu až $28\,000^{\circ}\text{C}$.
- Rozdílné teploty složek – rozdílné výsledky závislé na metodě měření - je to stejné i v astronomii, kdy třeba u jedné a téže hvězdy získáváme velice odlišné teplotní odhady.
- Z hlediska termodynamiky vlastně ani nemáme právo o teplotě mluvit, ale jen o jakémisi teplotě podobném parametru, u něhož se musí uvádět způsob měření.



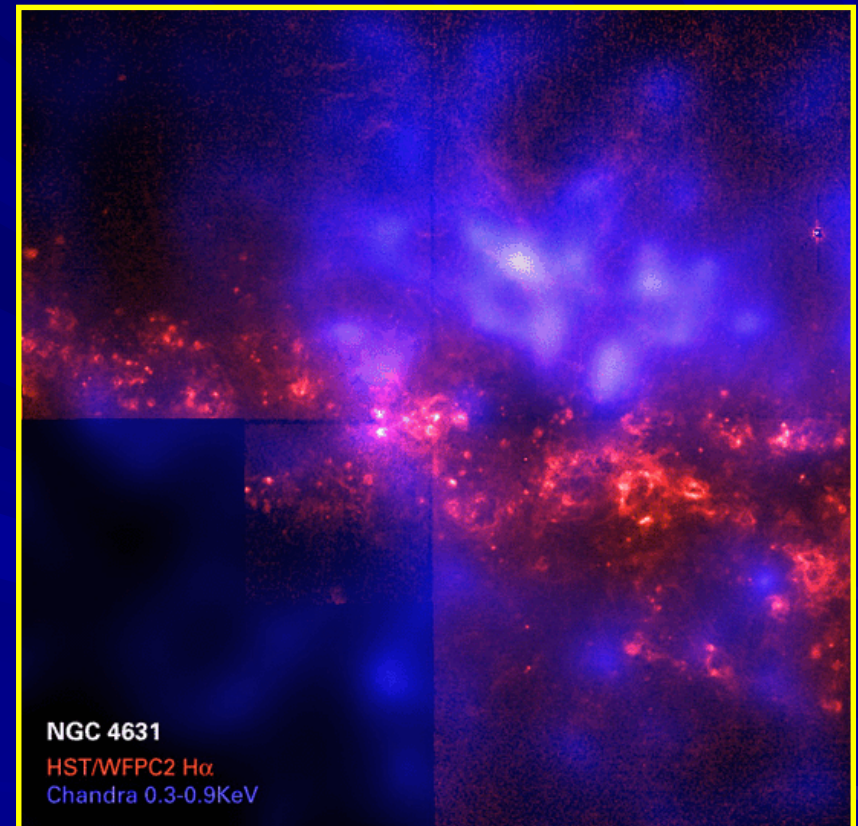
Vesmír – laboratoř nízkých teplot (?)

- Ve Sluneční soustavě jsou teploty těles určeny zejména jejich vzdáleností od Slunce. Směrem ven ze SS se už teploty blíží teplotě, kdy kapalní nejen kyslík (90 K), dusík (74 K), vodík (20 K), ale i hélium (4 K). I s takovými teplotami se setkáváme v mezihvězdném prostoru, daleko od hvězd.



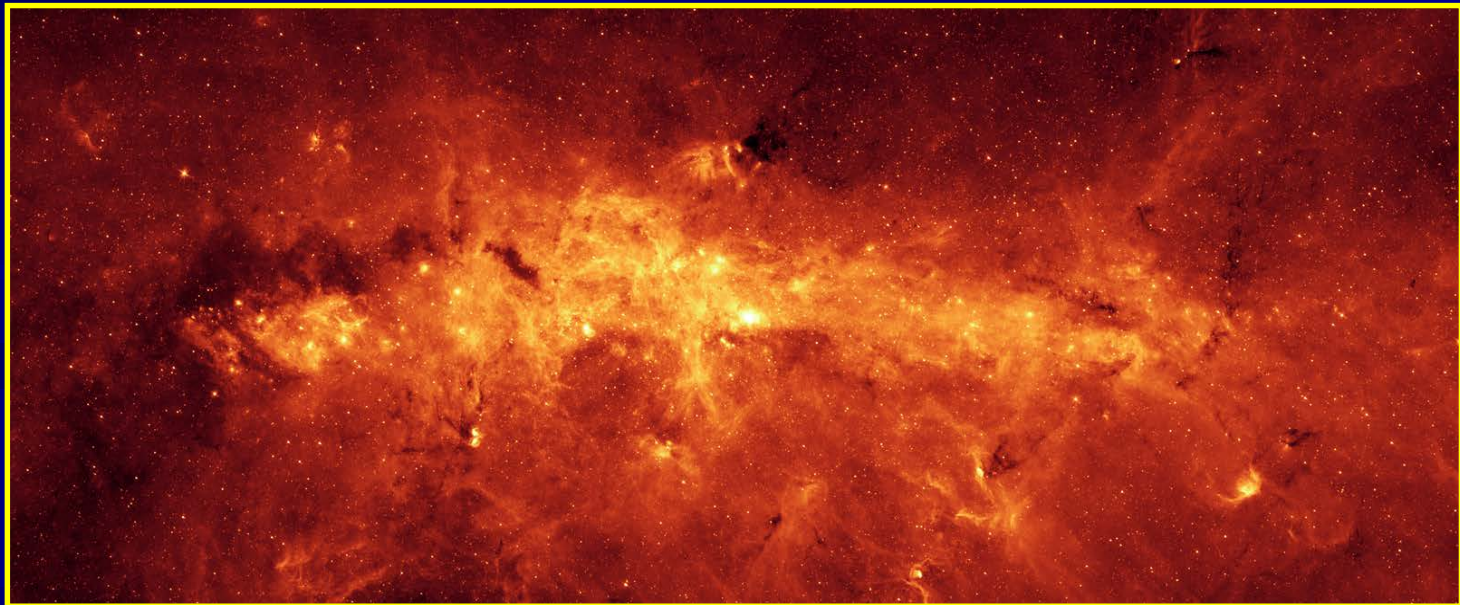
Vesmír – laboratoř nízkých teplot (?)

- Kupodivu to ale není v prostoru mezi galaxiemi. Zde je prostor vyplněn velmi horkým nesmírně zředěným plynem o teplotě několika miliónů kelvinů pocházejícím mj. i z výbuchů dávných supernov!
- V tomto zředěném plynu je v současnosti soustředěna většina hmoty tvořené atomy.



Vesmír – laboratoř nízkých teplot (?)

- Podobné je to i v Galaxii, kde ale jsou navíc i oblasti s látkou o mnoho řádů hustější a také chladnější. Jsou přímo v kontaktu, jejich tlakové síly jsou v rovnováze. Koronální plyn, oblasti H II, difuzní mlhoviny i „husté“ molekulové oblaky, kde je teplota několik Kelvinů. Vše se zbavuje energie jen nepatrně, horký plyn dokáže vydržet mnoho mld. let.

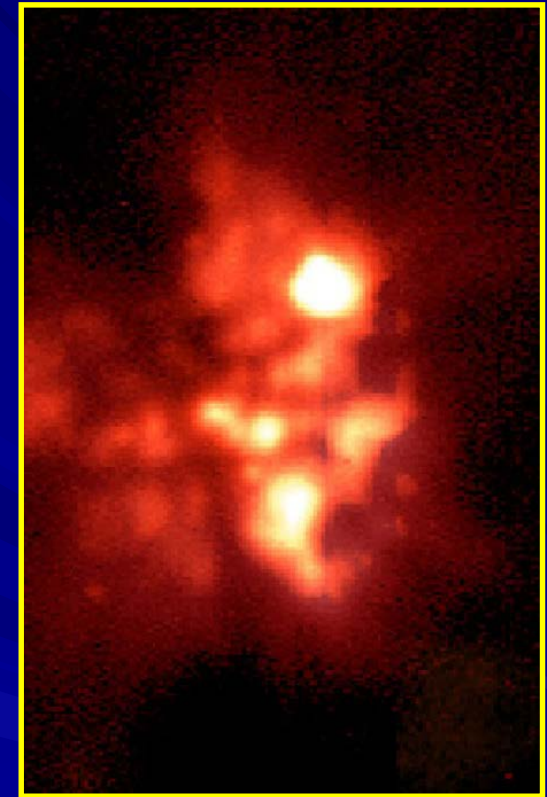


Vesmír – laboratoř nízkých teplot (?)

- Jaké nejnižší teploty v Galaxii může mhv látka dosáhnout? Odpověď vůbec není jednoduchá. Je tu všudypřítomné reliktní záření o teplotě 2,7 K. Jakkoli jsou fotony tohoto záření nízkoenergetické, je jich tolik, že co do energie překonají všechny fotony jiného původu. Je tedy teplota 2,7 K limitní?
- Nikoli – částice mhv látky (prach + adsorbované molekuly plynu) jsou s to jádra molekulových oblaků odstínit, reliktní záření navíc rozptýlit a vyzářit ven, mj. i maserovým mechanismem.
- Ty nejhustější části molekulových mračen mohou mít teplotu i jen 1 K!

Vesmír – laboratoř nízkých teplot (?)

- Velmi nízké teploty + relativně vysoké hustoty vedou ke kolapsu mhv látky a vzniku 1. generace hvězd. Chlad je tu brzy vystřídán extrémně vysokými teplotami.
- Schopnosti vesmíru vytvářet extrémně nízké teploty nejsou nijak velké, naproti tomu v pozemských laboratořích se už dokážeme přiblížit k teplotám o mnoho řádů menším, ke stovkám **piko** kelvinů. Vlastnosti látek za těchto teplot se zcela vymykají naší zkušenosti, setkáváme se tu se supravodivostí, supratekutostí aj. efekty.

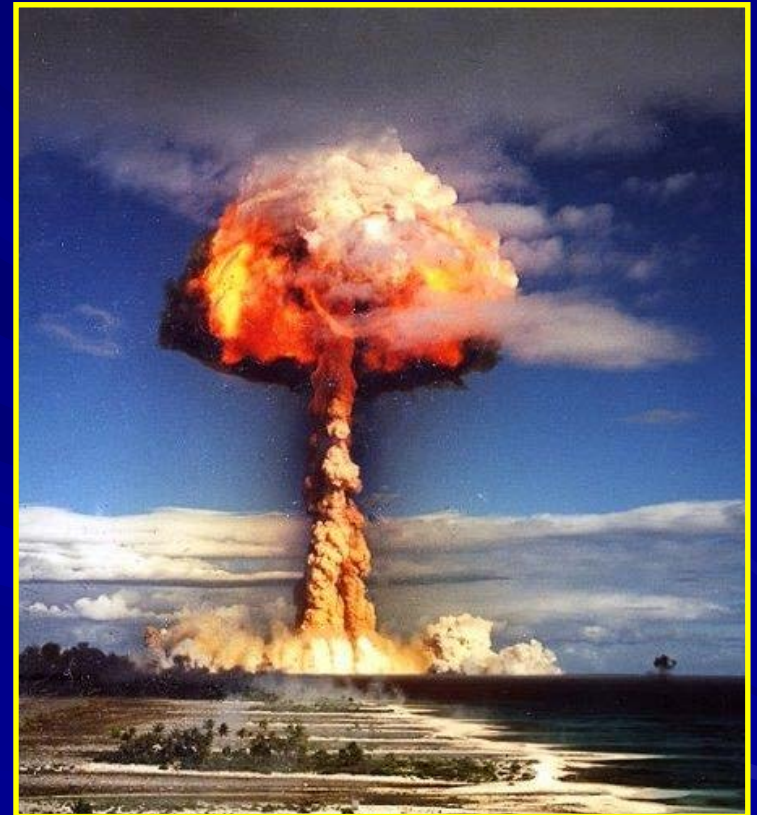


BN/KL objekt v Orionu

Vesmír – laboratoř vysokých teplot

oddělení hvězdy

- Jestli v realizaci nízkých teplot vesmírné laboratoře pokulhávají, ve vytváření vysokých teplot je vesmír nepřekonatelný.
- I na Zemi jsme schopni vytvořit a jistou dobu i udržet poměrně vysoké teploty. Vláknó žárovky má třeba 2200 °C, elektrické výboje i desetitisíce stupňů. Při výbuchu vodíkové pumy se na zlomek sekundy může zvýšit teplota na 300 MK.



Vesmír – laboratoř vysokých teplot

oddělení hvězdy

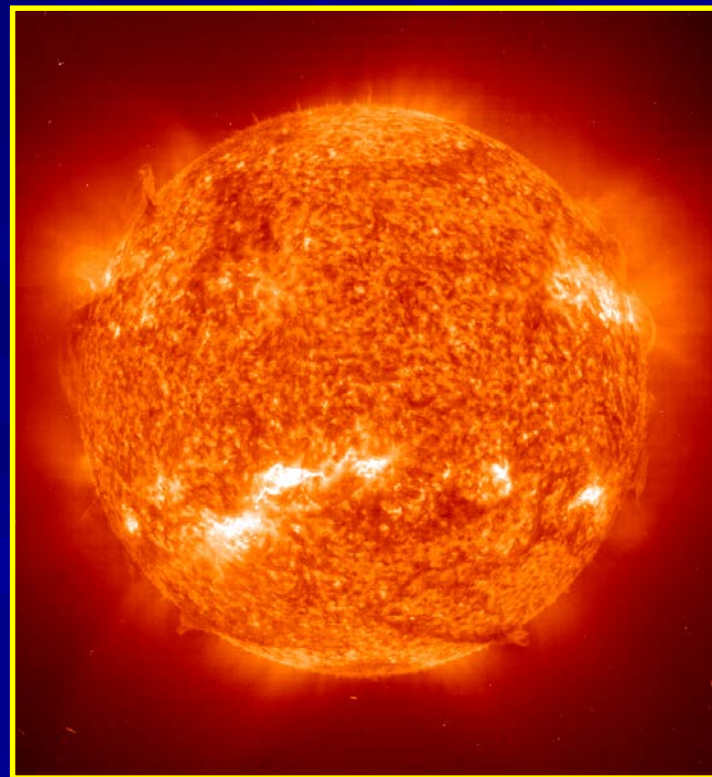
- **Termojaderná fúze** – vyřešila by veškeré energetické požadavky lidstva. K tomu je ovšem zapotřebí dlouhodobě udržet vysokoteplotní plazma na 100 MK. Držet ho může pohromadě silné magnetické pole. To se ale stále nedaří.



Vesmír – laboratoř vysokých teplot

oddělení hvězdy

- Hvězdy jsou tělesa tvořená vysokoteplotním plazmatem o teplotě několika milionů až několika set milionů K držené pohromadě vlastní gravitací, které jsou schopny tepelné ztráty způsobované zářením po miliardy let zajišťovat uvolňováním jaderné energie.
- Nejvýchřevnějším a též nejhojnějším hvězdným palivem je vodík, který obsahuje 70 % baryonové látky ve vesmíru.



Vesmír – laboratoř vysokých teplot

oddělení hvězdy

■ Jak funguje hvězda?

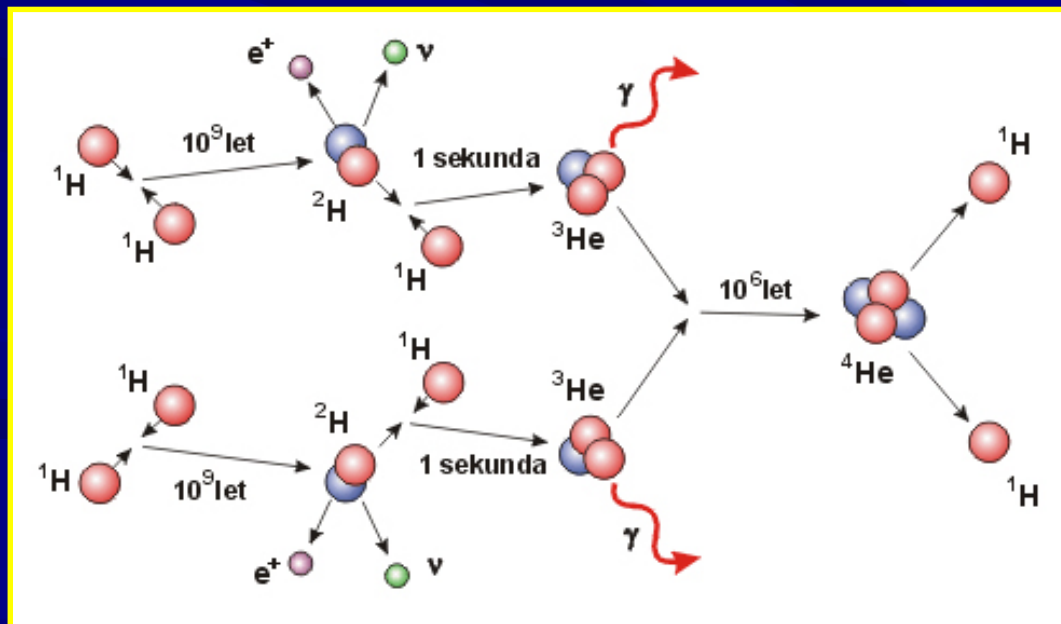
Ve hvězdě existuje teplotní spád z nitra na povrch, který je absolutně nejchladnější částí hvězdy, ale dost horkou na to, aby hvězdy svítily. Jedna z nich, Slunce, pak zajišťuje i většinu našich energetických potřeb. V centrálních částech hvězdy, při teplotě alespoň 10 MK probíhá syntéza hélia z vodíku a tento zdroj hvězdám slunečního typu vystačí po miliardy let. Jaderné reakce tam neprobíhají nijak rychle, ale uvolňování energie je právě tak rychlé, jak je zapotřebí.

- Reaktor v centru hvězdy je přesně regulován tělesem hvězdy. Pokud by se plamének termojaderných reakcí rozhořel, vedlo by to k expanzi oblasti a následnému ochlazení. Tempo reakcí se zvolní na původní stav.

Vesmír – laboratoř vysokých teplot

oddělení hvězdy

- Kde ale hvězdy přišly k tak vysokým teplotám v nitru? Mohou za to jaderné reakce?
- To rozhodně ne, naopak, energie uvolněná jadernou syntézou paradoxně udržuje hvězdné nitro na relativně nízké hodnotě. Kdyby jich nebylo, ve hvězdách by bylo mnohem tepleji.

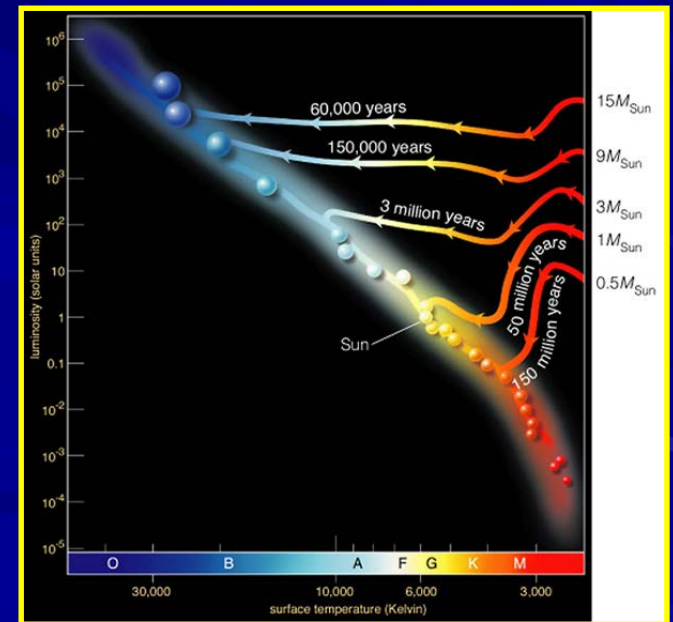


Vesmír – laboratoř vysokých teplot

oddělení hvězdy

- Hvězdy se zahřály na svou teplotu prostým smršťováním a uvolňováním potenciální energie. Ta se jen z poloviny vyzáří ven z hvězdy, druhá polovina zůstává uvnitř a vede k postupnému zahřívání vnitřku, zejména pak centrálních oblastí hvězdy.

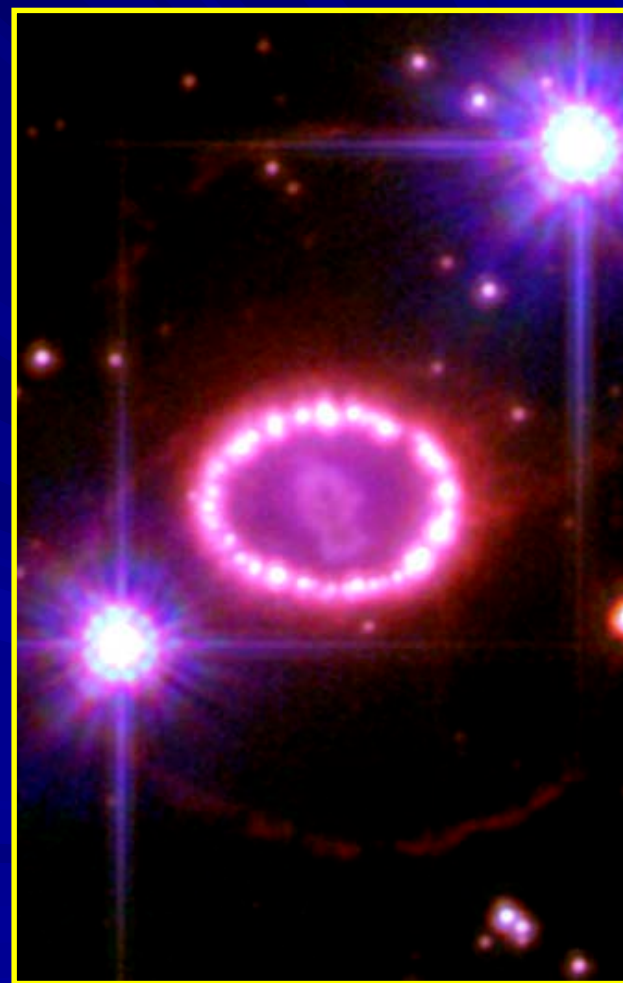
Ty by měly během vývoje stále vyšší teplotu, a to až do té doby, kdy se v nich zapálí a dostatečně rozhoří jaderné reakce. Ty pak další zahřívání hvězdy značně zpomalí a hvězda přejde do nejdelšího období svého života, hvězdy hlavní posloupnosti.



Vesmír – laboratoř vysokých teplot

oddělení hvězdy

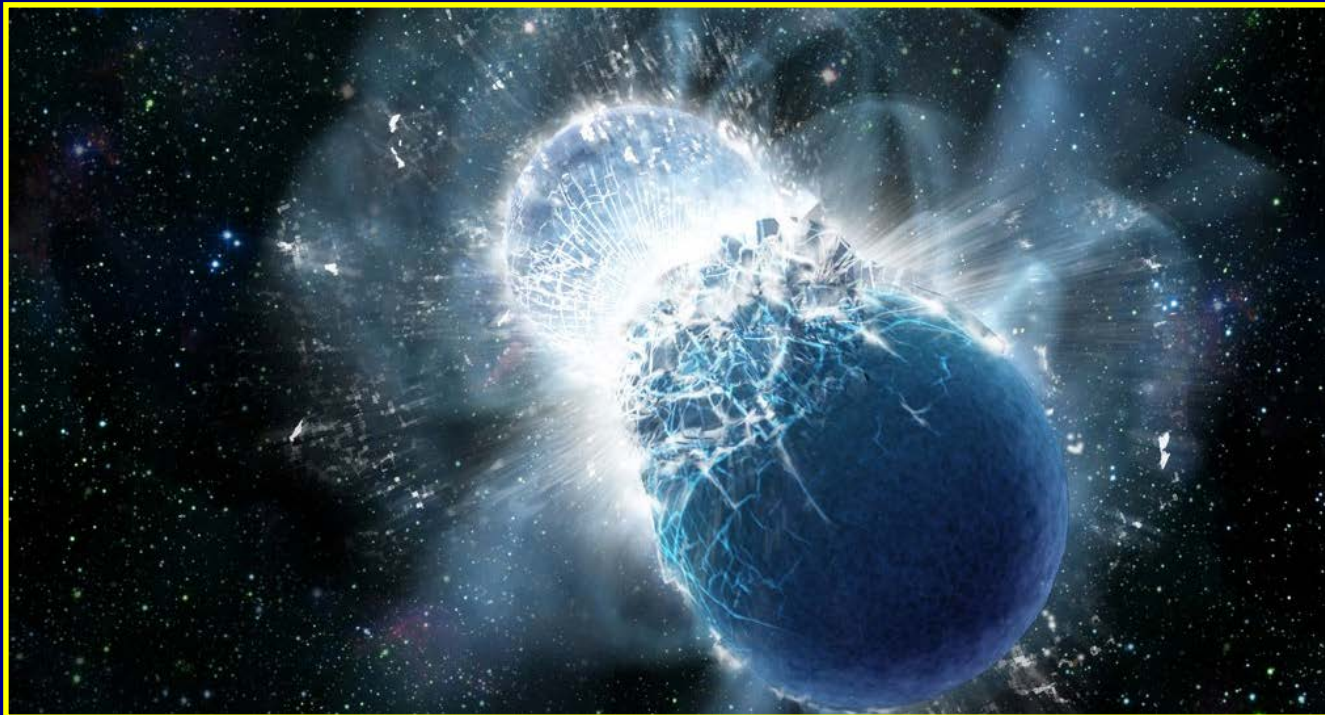
- S tím, jak se v centru hromadí odpad vodíkových reakcí – hélium, roste zde hustota i teplota. Po vyhoření vodíku v centru se zažehují další jaderné zdroje. Jestliže na počátku vývoje na hlavní posloupnosti činila centrální teplota cca 10MK, ke konci je tato teplota i několikanásobná a během dalšího vývoje se stále zvyšuje.
- Teplota centra závisí na hmotnosti hvězdy. Těsně před vzplanutím supernovy se tam může krátkodobě vytvořit teplota až 3 GK.



Vesmír – laboratoř vysokých teplot

oddělení hvězdy

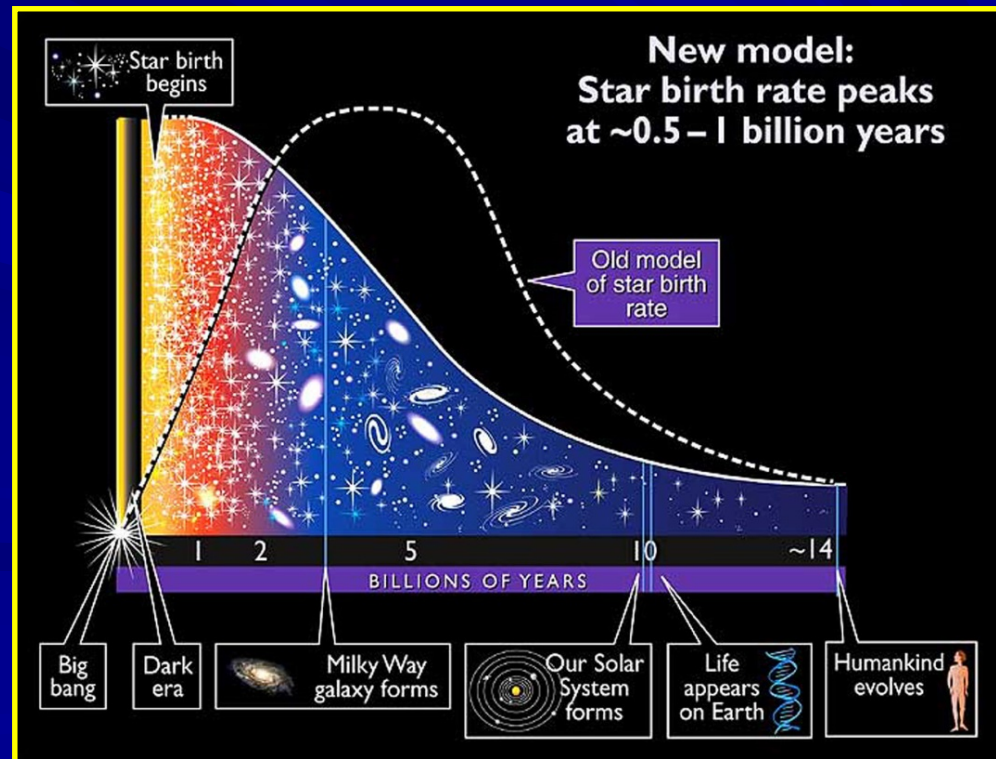
- Při nepružné srážce neutronových hvězd, které po výbuchu supernovy zbydou, může ovšem nastat teplota 350 GK. Ta se pak projeví sprškou záření gama registrovatelnou po celém vesmíru. Nukleogeneze vytvoří jádra všech těžkých prvků.



Vesmír – laboratoř vysokých teplot

oddělení raný vesmír

- Dokážeme v našich laboratořích, byť krátkodobě vytvořit ještě vyšší teploty? Dokážeme. V urychlovačích jsou to řádově desítky terrakelvinů. Jde však jen velice lokální záležitost.
- V raném vesmíru jsme se mohli setkat i s teplotami o mnoho řádů vyššími, které panovaly v období krátce po velkém třesku. Tehdy, za extrémních teplot se formoval svět, v němž nyní žijeme.



Děkuji za pozornost