

# Termojaderná fúze

Tomáš Kurtin, Martin Fibrich  
Jan Podmajerský

# Obsah

- Energetická situace v 21. století
- Princip jaderné fúze
- Čtvrté skupenství – plazma
  - Slunce – přírodní termojaderný reaktor
  - Vznik hvězdy
    - Historie výzkumu termojaderné fúze na Zemi
    - Řízená termojaderná fúze
    - Závěrečné zamyšlení

# Energetická situace v 21. století

- růst počtu obyvatel => zvýšená spotřeba energií
  - skleníkový efekt
  - docházejí fosilní paliva
    - obnovitelné zdroje energie mají svá omezení
      - není dořešeno ukládání vyhořelého jaderného paliva

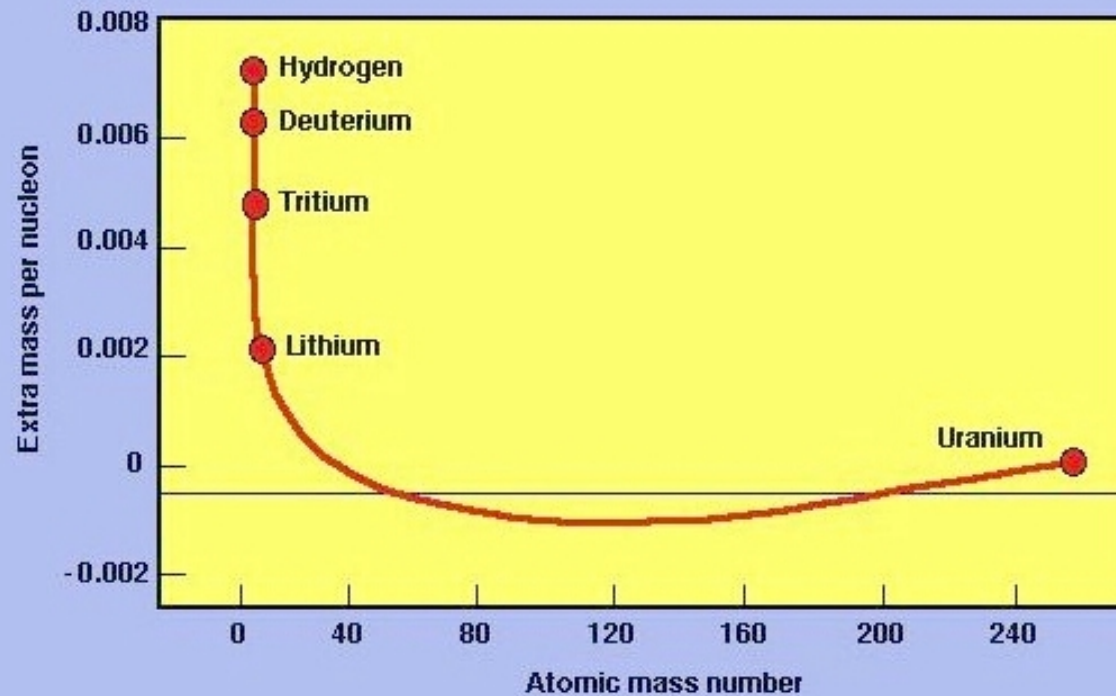
# Je nějaké východisko?

## Kritéria zdroje energie:

- bezpečnost
  - co nejmenší dopad na životní prostředí
    - vhodné geografické rozložení paliva
    - ekonomická dostupnost

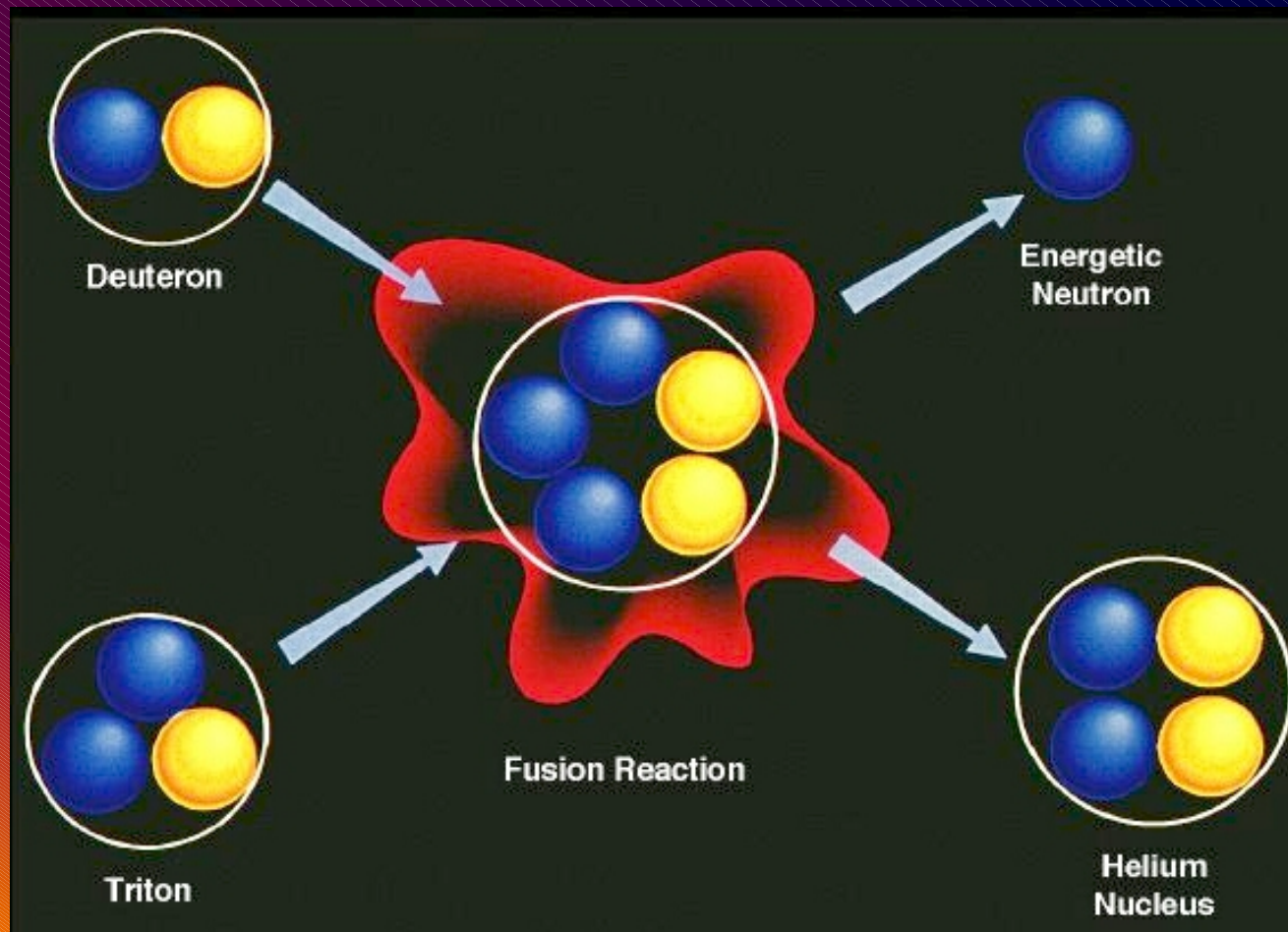
# Princip jaderné fúze

Energy Release  $E = mc^2$





# Nejdůležitější reakce jaderné fúze



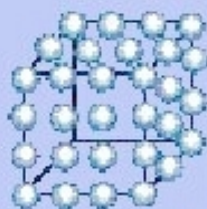
# Další významné reakce

- $D + D \Rightarrow T (1.01 \text{ MeV}) + p (3.03 \text{ MeV})$
- $D + D \Rightarrow {}^3\text{He} (0.82 \text{ MeV}) + n (2.45 \text{ MeV})$
- $D + {}^3\text{He} \Rightarrow {}^4\text{He} (3.67 \text{ MeV}) + p (14.67 \text{ MeV})$
- $p + {}^6\text{Li} \Rightarrow {}^4\text{He} + {}^3\text{He}$
  
- $n + {}^6\text{Li} \Rightarrow {}^4\text{He} (2.1 \text{ MeV}) + T (2.7 \text{ MeV})$
- $n + {}^7\text{Li} \Rightarrow {}^4\text{He} + T + n - 2.5 \text{ MeV}$

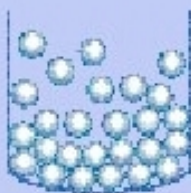
# Čtvrté skupenství – plazma

## Fusion Energy

Plasma is sometimes referred to as the fourth state of matter



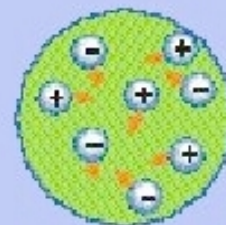
Cold  
Solid: Ice



Warm  
Liquid: Water



Hot  
Gas: Steam

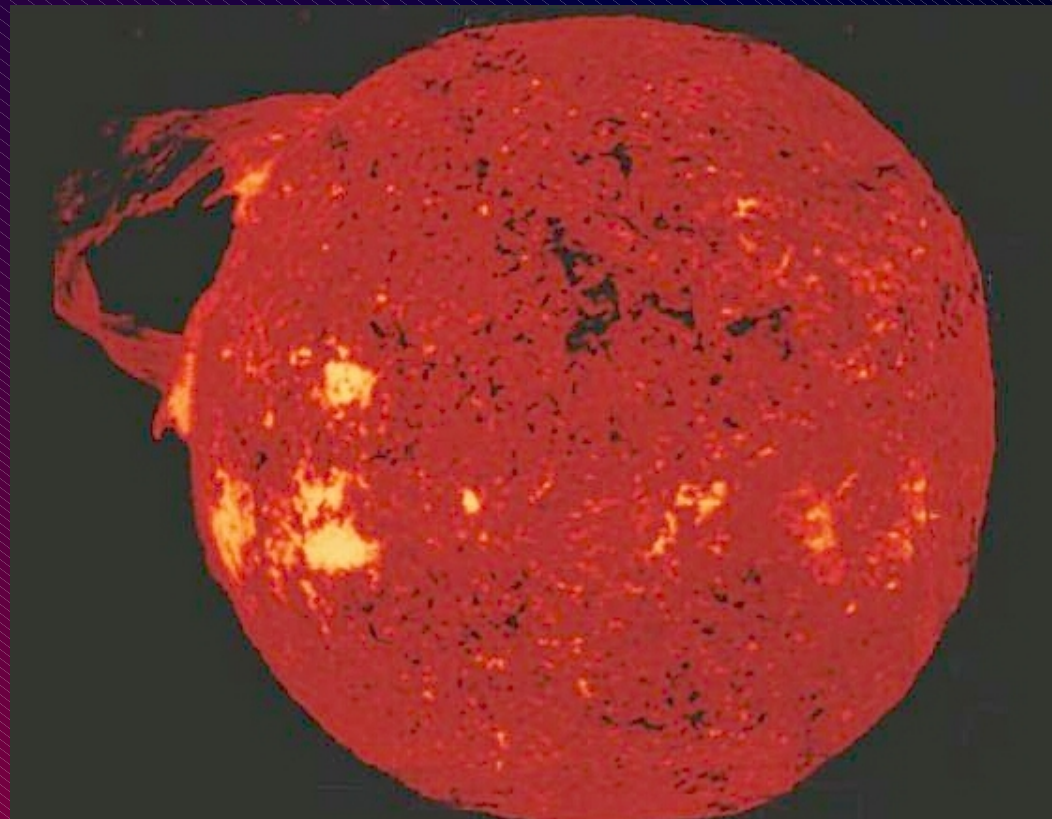


Hotter  
Plasma



# Slunce

přírodní  
termojaderný  
reaktor



# Slunce – přírodní termojaderný reaktor

- složení Slunce
  - podmínky ve středu Slunce
    - proton – protonový řetěz
      - vznik hvězdy

# Proton – protonový řetěz

- $p + p \Rightarrow D + e^+ + \nu$ 
  - $D + D \Rightarrow {}^3\text{He} + n$
  - $D + p \Rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$ 
    - ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \Rightarrow {}^4\text{He} + p + p$
- schematicky:  $4p \Rightarrow$  řetěz reakcí  $\Rightarrow$   
 ${}^4\text{He} + 2e^+ + 2\nu + 24.75\text{MeV}$

# Vznik hvězdy

- oblak mezihvězdné hmoty – globule
  - smršťování
    - stádia vývoje hvězdy

# Raná historie výzkumu (1929 – 58)

- 1927 – „Metoda výroby helia s využitelným uvolňováním reakční energie.“
- konec 20. let – Myšlenka, že Slunce „hoří“ v důsledku jaderných slučovací reakcí
  - 1934 – důkaz existence fúzní reakce
  - vojenský výzkum v USA a SSSR



# Raná historie výzkumu (1929 – 58)

- 1951 – TOKAMAK
- 1952 – výbuch vodíkové bomby = neřízené termojaderné slučování
  - výzkum v UK – Harwell (ZETA)
  - do roku 1958 utajování

# Současná historie (1958 – dnes)

- 1958 – Konference v Ženevě = konec utajování
- 60. léta – základní výzkum
  - 1968 – přelom na TOMAMAKu v Ústavu Atomové Energie v Moskvě (I. V. Kurčatov)
  - 70. léta – „Velká věda“, mezinárodní spolupráce, rozhodnutí o vybudování JETu

# Současná historie (1958 – dnes)

- 1978 – zahájení stavby JETu  
(1991 „breakeven“)  
„Princeton Large Torus“ – teplota  $> 6 \cdot 10^7$  °C
- 80. léta – TFTR
  - 1986 – experimenty na JT – 60  
(JT – 60U) v Japonsku

# Metody uskutečnění fúze

- teplotní podmínka, Lawsonovo kritérium
- fúze za pomoci magnetického udržení (MCF)
- fúze za pomoci inerciálního udržení (ICF)

# MCF

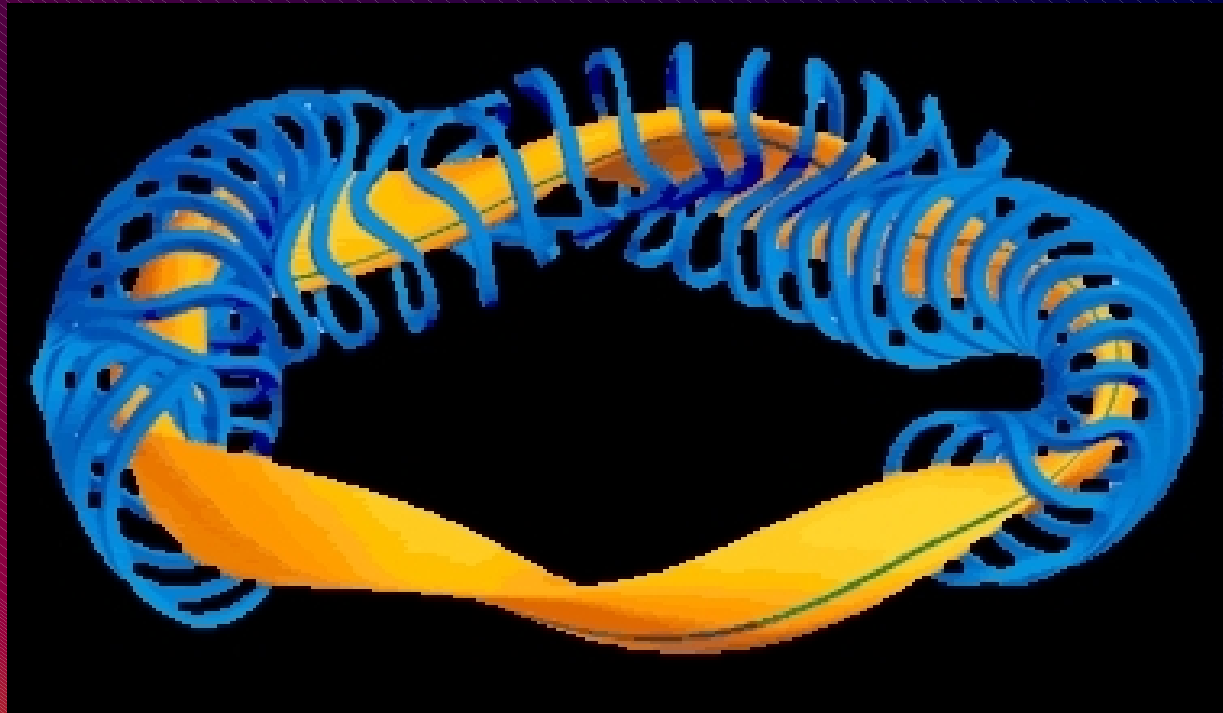
- lineární uspořádání
- toroidální uspořádání

## Toroidální uspořádání

- stelarátory
  - tokamaky
    - pinče se zpětným polem

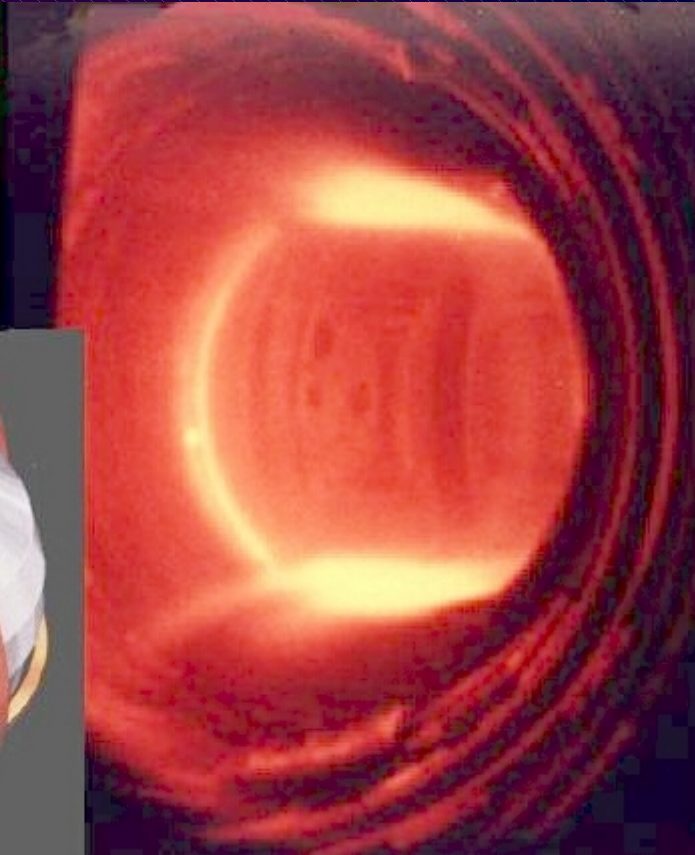


# Stelaratóry



# Tokamaky

**Toroidal Magnetic  
Confinement of  
Plasma**



# ITER

- poslání ITERu
- mezinárodní spolupráce
  - koncepční návrh
  - příprava konstrukce ITERu
    - provoz ITERu
    - výzkum a vývoj v projektu ITER

# Na zamyšlení...

- Mají fosilní paliva budoucnost ve výrobě primárních energií?
  - Mohou obnovitelné zdroje dosáhnout většího podílu na výrobě elektrické energie?
    - Je politicky a ekonomicky únosné provozování jaderných elektráren?
      - Bude termojaderná elektrárna konkurenceschopná?

# Zdroje informací

- Luděk Pekárek – Termonukleární energie
- František Žáček – Současný stav a perspektivy řízeného termojaderného slučování v tokamacích
- [www.ipp.cas.cz](http://www.ipp.cas.cz)
- dotazy: [jan.podmajersky@seznam.cz](mailto:jan.podmajersky@seznam.cz)  
[Kurtin.Tomas@seznam.cz](mailto:Kurtin.Tomas@seznam.cz)  
[FibrichM@seznam.cz](mailto:FibrichM@seznam.cz)