

Kernfusion

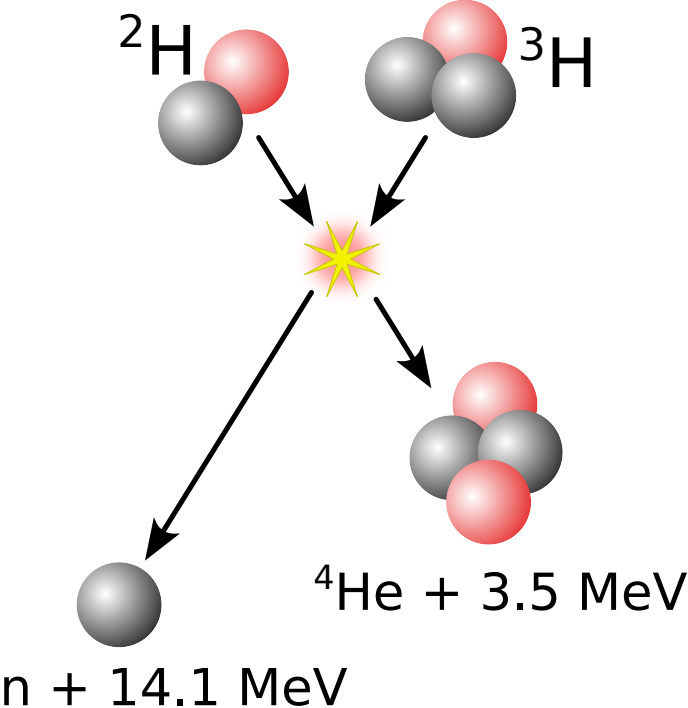
Zurück in die Zukunft II?



M. Anton Ertl, TU Wien

Qualifikation und Quellen

- Wie qualifiziert bin ich zu diesem Thema?
Kein Experte, aber besser informiert als die meisten
- englische und deutsche Wikipedia
- Referenzen in Kommentaren in
<https://www.complang.tuwien.ac.at/anton/fusion/slides.tex>

Grundlagen: Kernfusion



Proton 
Neutron 

Meilensteine

- Gewinnfaktor Q : Fusionsenergie/Startenergie
Scientific breakeven: $Q = 1$
- Engineering breakeven
Reaktor liefert mehr Strom als er braucht
Umwandlungsverluste
 $Q = 5 \dots 100$
- Zündung
Aus der Fusion kommende Energie verursacht weitere Fusion
- Commercial breakeven
Wenn das Fusionskraftwerk Strom zu konkurrenzfähigen Preisen erzeugt
- Nach 70 Jahren $Q < 1$
Engineering breakeven immer 20–50 Jahre entfernt
Noch kein Reaktor hat Stromerzeugungseinrichtungen

Ist Kernfusion sauber?

- 80% der Energie in Form von Neutronen (3% bei Kernspaltung)
≈ 5× mehr Neutronen pro erzeugter Energie
Hochenergieneutronen (14MeV) machen Strukturmaterialien radioaktiv
Strukturmaterialien kann man sich aussuchen
ideal: geringer Wirkungsquerschnitt, kurze Halbwertszeit
Versprechung: schon nach 500 Jahren kaum mehr radioaktiv
- Tritium (^3H) ist radioaktiv, bioaktiv, und sehr mobil

Ist Kernfusion sicher?

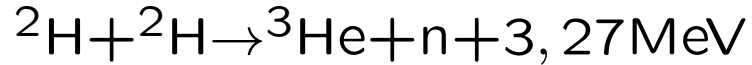
- + Zündung ist schwer aufrechtzuerhalten
Davonlaufen kaum möglich
- + wenig Treibstoff im Reaktor
- + kaum Nachwärme
- Beträchtliche Energie im Reaktor
- Radioaktivität kann entweichen

Wie bekommt man den Treibstoff?

- Deuterium aus Wasser gewinnbar
- Tritium: ${}^6\text{Li} + n \rightarrow {}^4\text{He} + {}^3\text{H} + 4,8\text{MeV}$
- benötigt 1 n/ ${}^3\text{H}$
- Neutronenvermehrung, z.B.: ${}^9\text{Be} + n + 1,57\text{MeV} \rightarrow 2{}^4\text{He} + 2n$
aber reicht das, um Verluste auszugleichen?
- Ansonsten: Herstellung in Kernreaktoren
Wozu dann überhaupt Fusionsreaktoren?
- Beispiel: Fusionsreaktor kann 80% seines Tritiums selbst herstellen
20% des Tritiums müssen von Kernreaktoren kommen
0,5n/Kernspaltung für Tritium (erfordert mehr Anreicherung)
dann kommen 18% der Energie aus der Kernfusion, 82% aus der Kernspaltung

Alternative Reaktionen

- $2\text{H} + 2\text{H} \rightarrow 3\text{H} + 1\text{H} + 4,03\text{MeV}$ und dann $2\text{H} + 3\text{H}$



kein Tritium als Treibstoff

30× höhere Anforderungen für Zündung

- $2\text{H} + 3\text{He} \rightarrow 4\text{He} + 1\text{H} + 18,3\text{MeV}$

≥ 5% der Energie in Neutronen

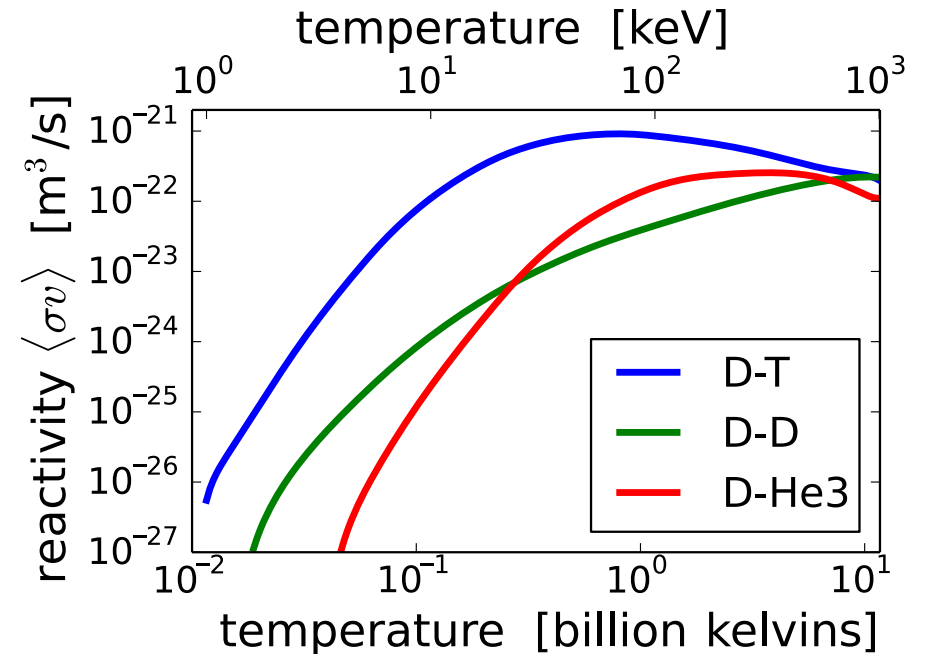
0,002% ^3He im Helium

16× höhere Anforderungen für Zündung

- $1\text{H} + 11\text{B} \rightarrow 3^4\text{He} + 8,7\text{MeV}$

< 0,2% der Energie in Neutronen („aneutronisch“)

500× höhere Anforderungen für Zündung, 9× höhere Temperatur



Zusammenfassung

- Kernfusion wird in absehbarer Zeit nur Geld und Energie verbrauchen
- wird vermutlich nie wirtschaftlich
- weniger schmutzig als Kernspaltung, aber nicht sauber
- weniger gefährlich als Kernspaltung
- Benötigt Tritium. Herstellung ohne Kernspaltung?
- Reaktionen ohne Tritium-Treibstoff noch weiter weg von Praktikabilität