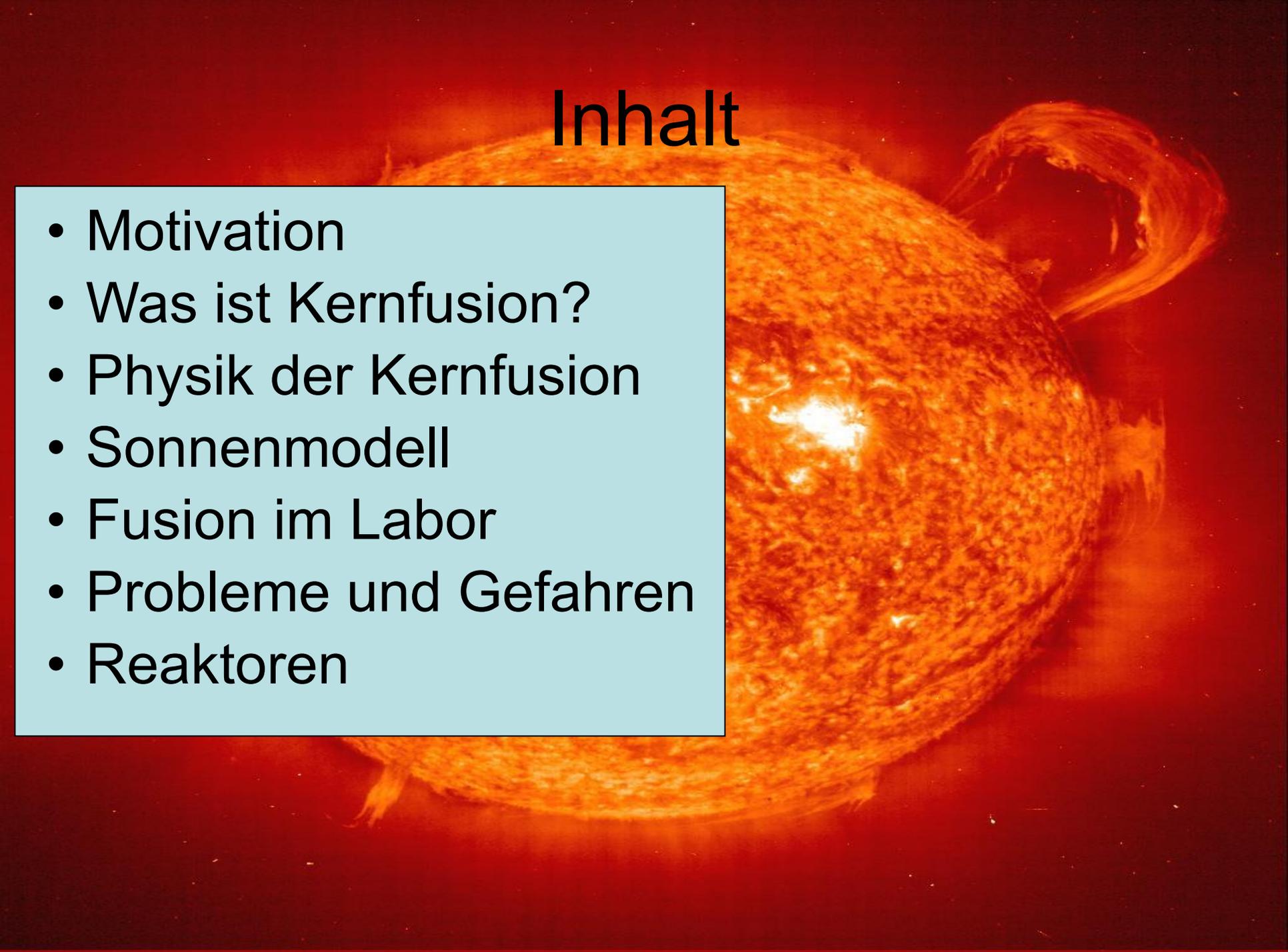


Kernfusion in der Sonne



← **Approx. size of Earth**

Inhalt

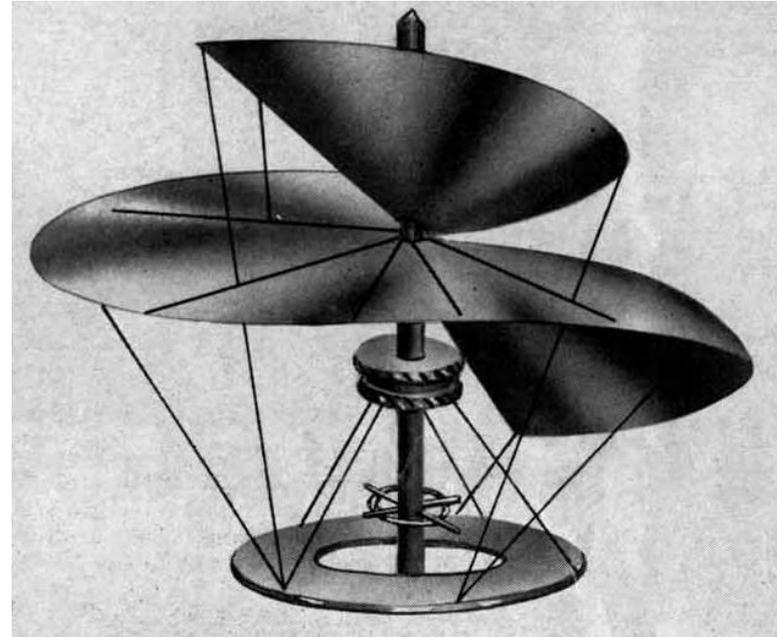


- Motivation
- Was ist Kernfusion?
- Physik der Kernfusion
- Sonnenmodell
- Fusion im Labor
- Probleme und Gefahren
- Reaktoren

Motivation

- Wir brauchen Energie
- Wir brauchen sehr viel Energie
- Wir brauchen immer mehr Energie
- Wir bauen Kraftwerke
- Baut die Natur auch Kraftwerke?
- Die Sonne ist das Kraftwerk schlechthin!
- Wo kommt die Energie der Sonne her?

Erfinderische Natur

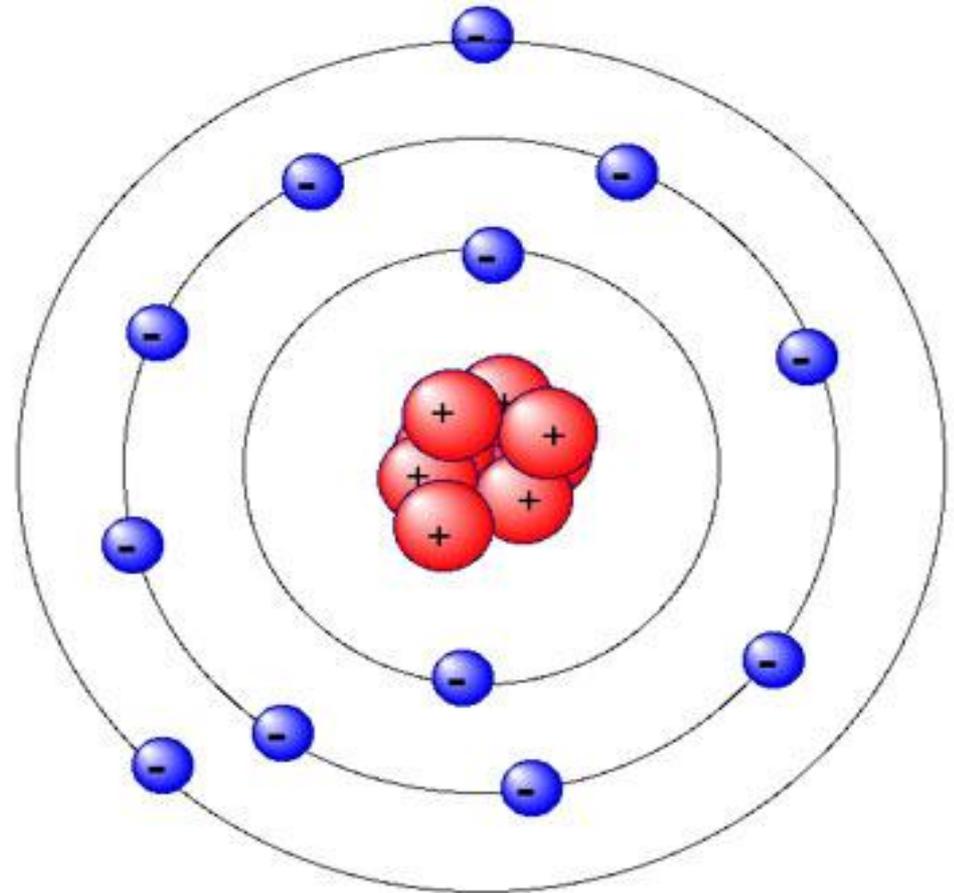


Was ist Kernfusion?

- Wie ist ein Atom aufgebaut?
- Was passiert bei einer Kernfusion?
- Was entsteht bei einer Kernfusion?
- Wie macht die Sonne das?
- Können wir das auch?
- Was brauchen wir dafür?

Der Atomaufbau

- Kern und Hülle
- Größenordnung
- Coulombkraft
- Orbitale

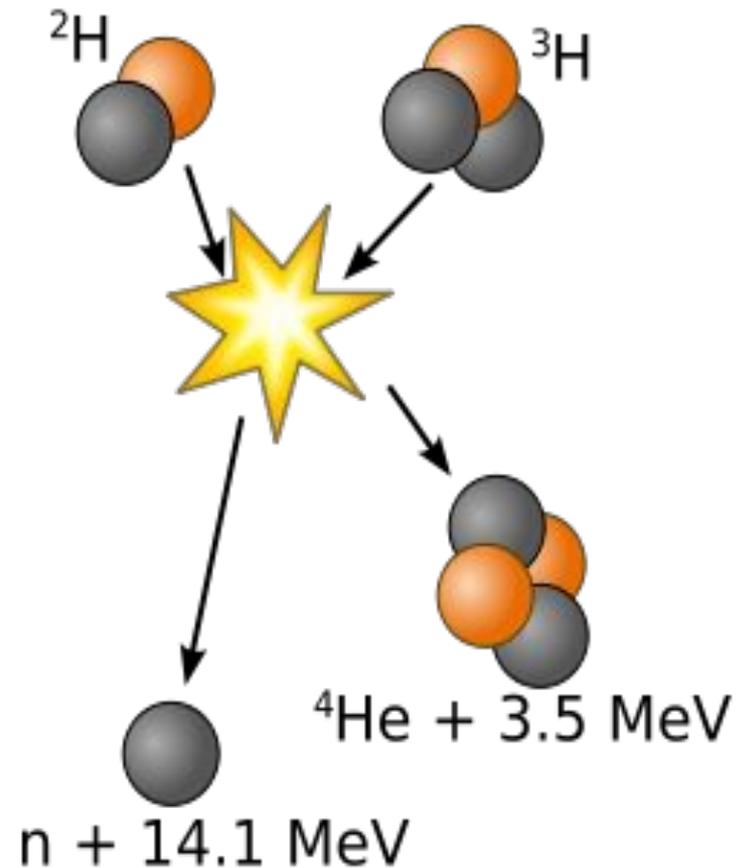


Der Atomkern

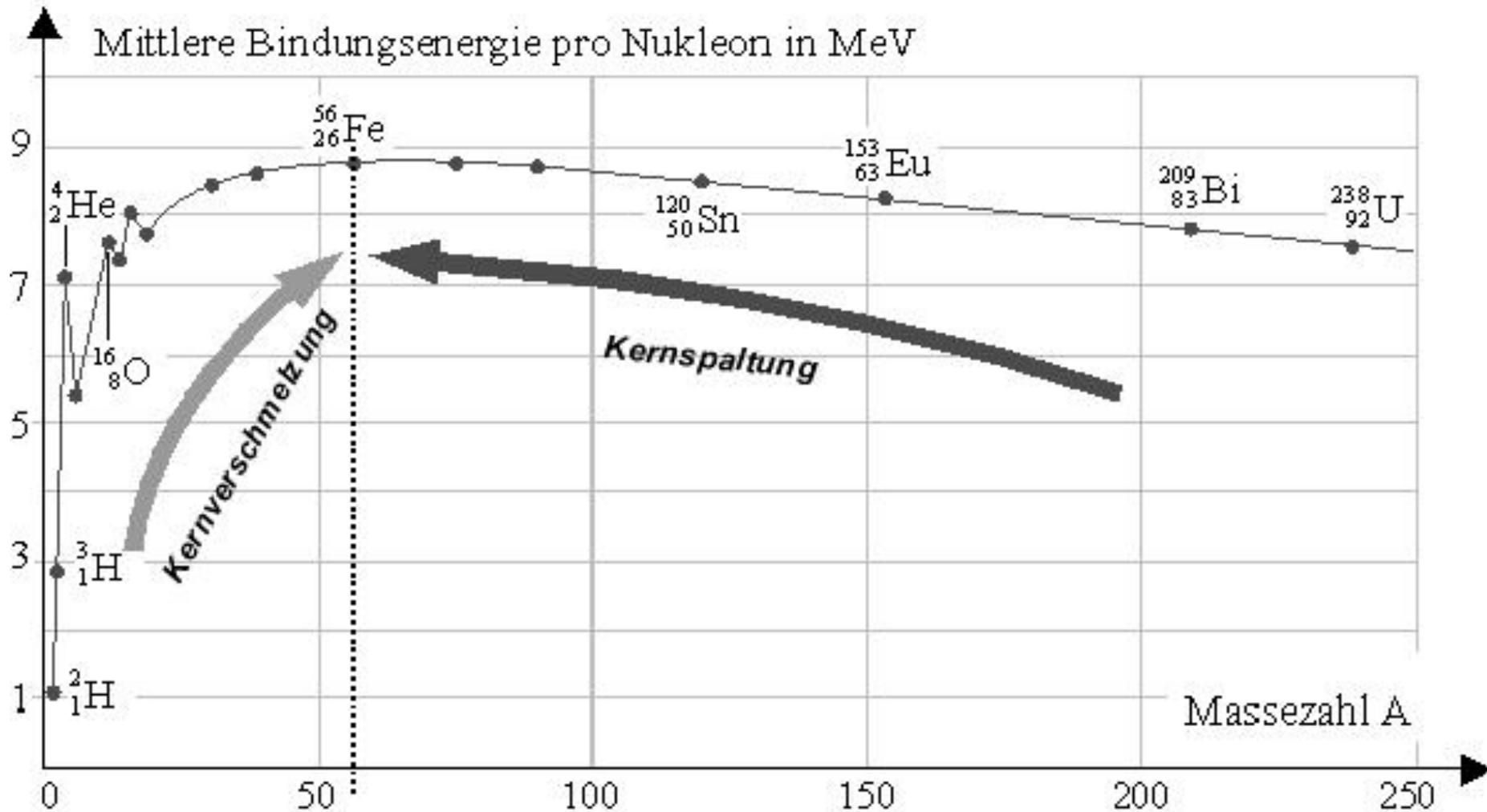
- Besteht aus Protonen und Neutronen
- Nukleonen werden durch die Starke Wechselwirkung zusammengehalten
- Die Starke Wechselwirkung ist sehr kurzreichweitig
- Austauscheteilchen (Gluonen) haben kurze Lebensdauer

Physik der Kernfusion

- Ausgangsstoffe und Produkte
- Plasma
- Coulombbarriere
- Tunneleffekt
- Massendefekt
- $E = m \cdot c^2$



Bindungsenergien



Sonnenmodell

- Daten zur Sonne
- Reaktionen in Sternen
- Reaktionen in unserer Sonne
- Wasserstoffbrennen
- Proton-Proton-Reaktion
- CNO-Zyklus

Unsere Sonne

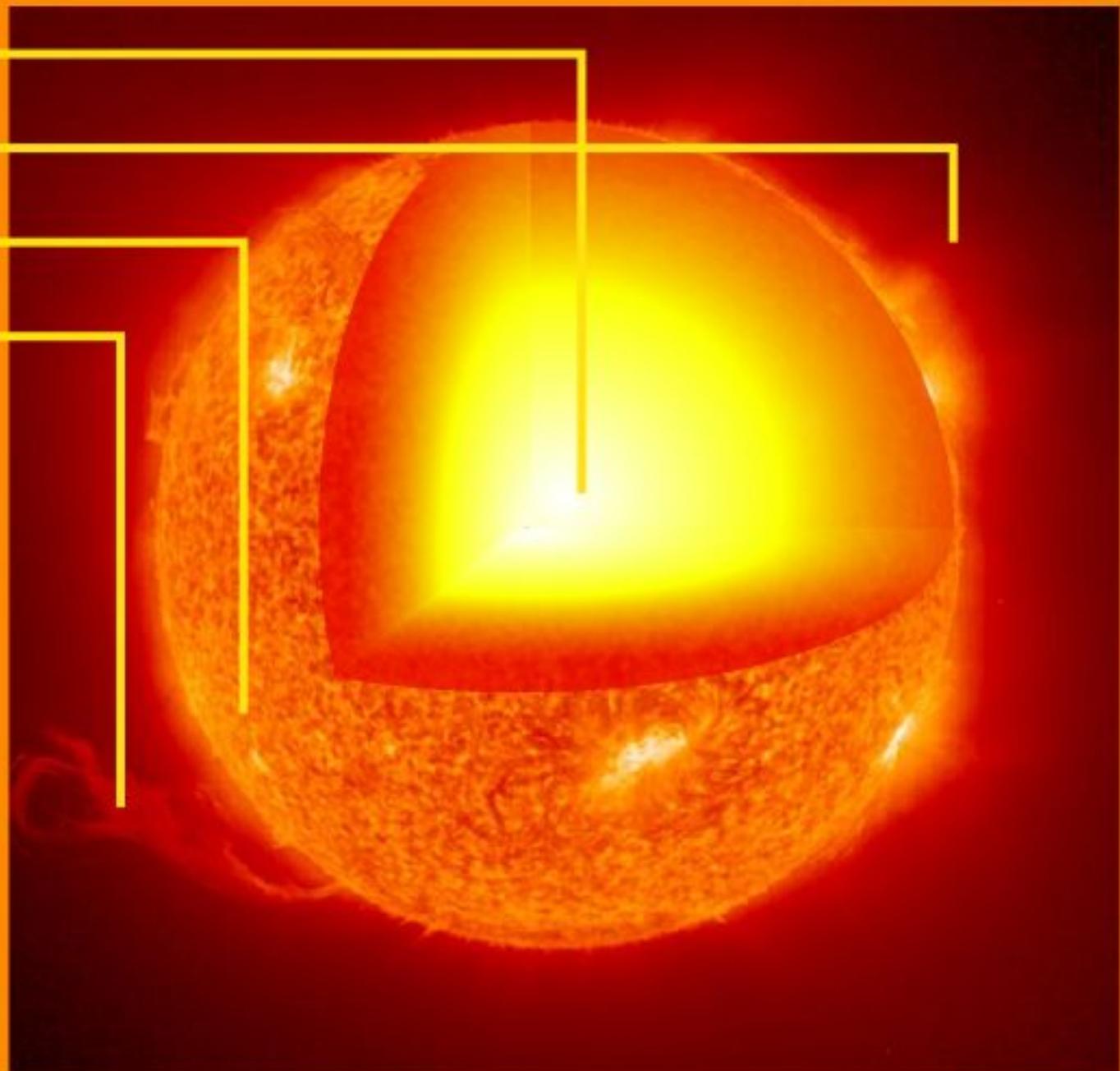
- Enthält 99,9% der Gesamtmasse unseres Sonnensystems.
- Hat den 109-fachen Erddurchmesser.
- Ist 150 Millionen Kilometer von der Erde entfernt (ca. 8 Lichtminuten)
- Besteht aus 73% Wasserstoff, 25% Helium

Sonnenkern

Korona

Photosphäre

Protuberanzen

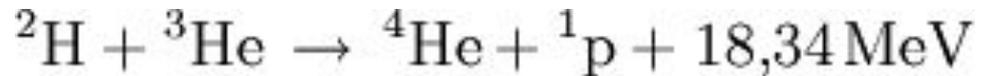
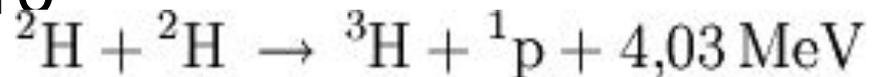
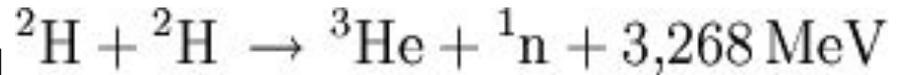
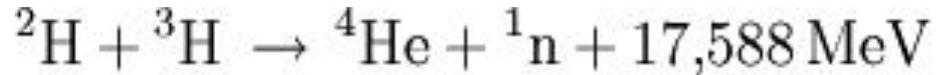


Der Sonnenkern

- Ist der Reaktor der Sonne
- Macht nur 1,6% des Sonnenvolumens aus
- beinhaltet aber 50% der Sonnenmasse
- Hat Temperatur von 15,6 Millionen Kelvin
- Verbrennt Wasserstoff zu Helium
- 564 Millionen Tonnen Wasserstoff->
- 560 Millionen Tonnen Helium
(Massendefekt)

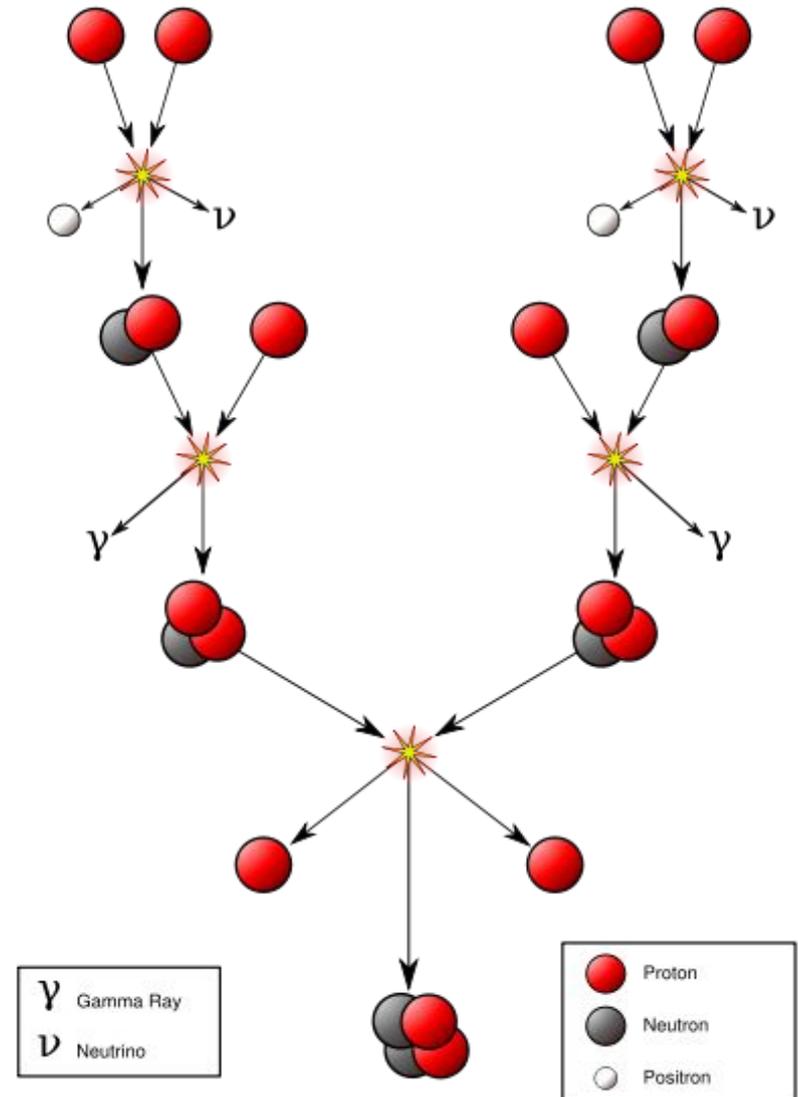
Reaktionen in Sternen

- Wasserstoffbrennen
- Nötige Temperatur: Millionen Kelvin
- Auf der Erde: 100 Millionen Kelvin
- Proton-Proton-Reaktion
- CNO-Zyklus



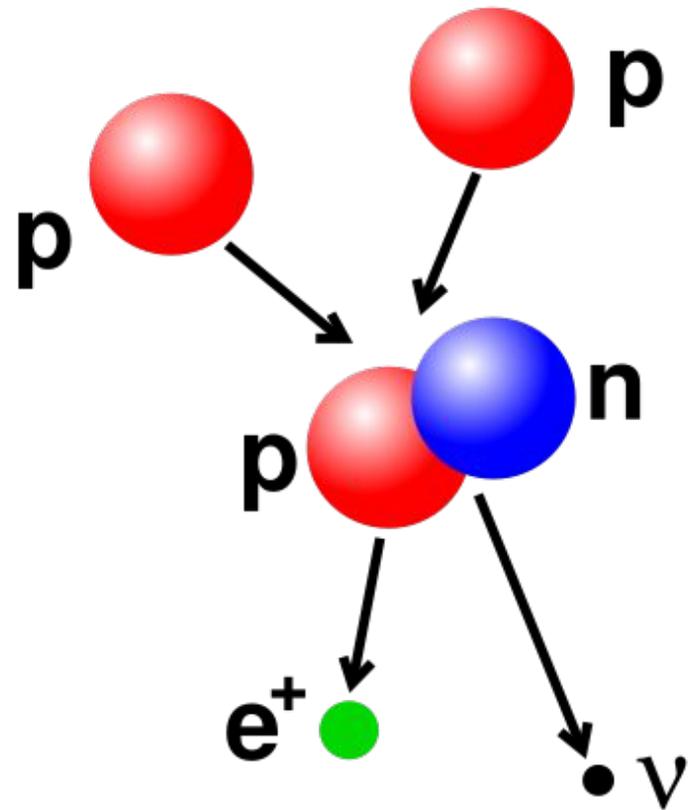
Proton-Proton-Fusion

- Macht den Großteil der Reaktionen in der Sonne aus
- Exotherm wegen 1% Massendefekt



Schritt 1

- Ausgangsstoff: 2 Protonen
- Produkte: 1 Deuteriumkern, 1 Positron, 1 Neutrino
- Problem: Coulombbarriere, hohe Energie



Coulombbarriere

- Die Energie um 2 Protonen auf einen Abstand von 1 fm zu bringen ist:

$$E = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{1}{r} = 10^{-13} J = 1,44 MeV$$

X Die thermische Energie ist aber

$$E_{therm} = k_b \times T$$

$$k_b = 1,38 * 10^{-23} J/K$$

$$\Rightarrow T = 10^{10} K$$

Der Tunneleffekt

- Teilchen haben keinen genauen Ort
- Es gibt nur Aufenthaltswahrscheinlichkeiten (Orbitale)
- Teilchen haben keine genaue Energie
- Sie können sich für kurze Zeit Energie „leihen“
- Teilchen durch Potentialberge „tunneln“ (Rastertunnel-Mikroskopie)

Folgereaktionen

- Die leichten Helium-Isotope haben nun mehrere Möglichkeiten zum schwereren Helium zu fusionieren
- Insgesamt wird bei der Proton-Proton-Reaktion in Sonnen 26,2 MeV frei
- Bei der Spaltung eines Urankerns werden ca. 200MeV frei.
- Uran ist 117 mal schwerer als 2 Protonen

$$E = m \cdot c^2$$

- 1% Massendefekt
- 1 kg Ausgangsmaterial

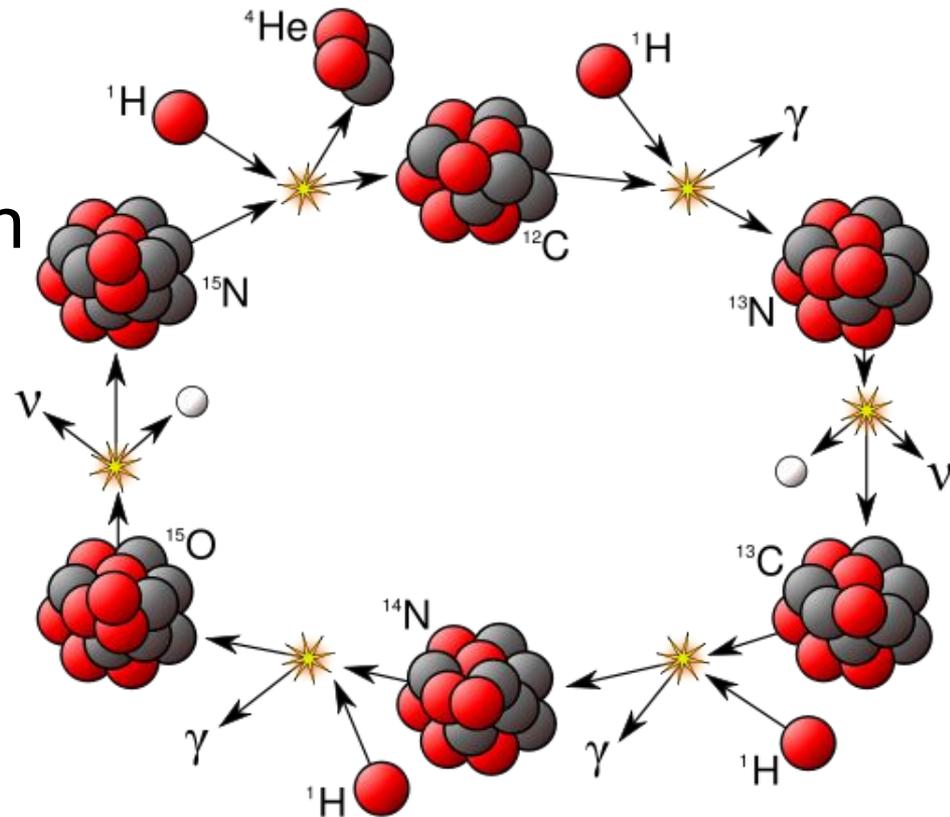
$$E = m \cdot c^2 = 0,01 \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2$$

$$E \approx 10^{15} \text{ J} \approx 10^9 \text{ kWh}$$

- 1 kg Ausgangsmaterial gibt ungefähr 1 Petajoule Energie
- Deutschland verbraucht im Jahr 2640 Petajoule Energie

CNO-Zyklus

- Schwere Sterne
- 30 Millionen Kelvin
- Kohlenstoff als Katalysator
- Energieausbeute: 25,03 MeV



	Proton	γ	Photon
	Neutron	ν	Neutrino
	Positron		

Kalte Fusion

- Myon-katalysierte Fusion
- Bläschenfusion
- Energiebilanzen
- Aussichten

Probleme und Gefahren

- Fusionskonstante
- Deuterium und Tritium
- Laborbedingungen
- Neutronenstrahlung