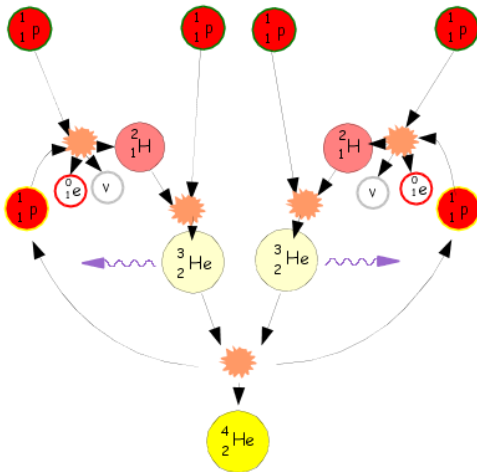


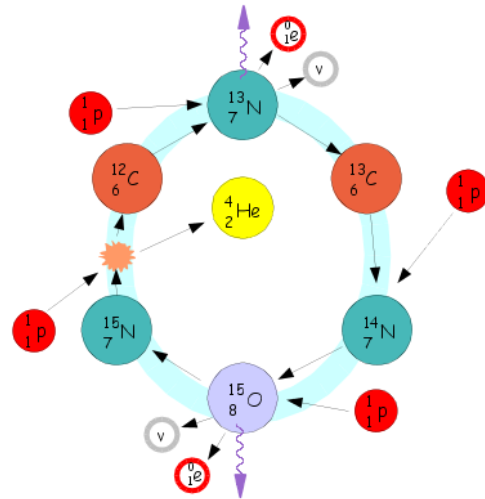
## Physik \* Jahrgangsstufe 9 \* Fusion in unserer Sonne

Die gesamte von der Sonne „erzeugte“ Energie stammt aus dem Kern, der sich bis zu etwa einem Viertel des Radius der Sonnenoberfläche erstreckt. Die Hälfte der Sonnenmasse ist in diesem Kern enthalten, obwohl dieser Kern nur ca. 1,6% des Sonnenvolumens ausmacht. Bei Temperaturen von etwa 15,6 Millionen Kelvin stammt die Energie zu etwa 98% aus dem so genannten **p-p-Zyklus** und nur zu 2% aus dem **CNO-Zyklus**. (Der CNO-Zyklus überwiegt erst ab etwa 20 Millionen Kelvin.) In beiden Zyklen wird im Prinzip aus 4 Protonen Helium 4 fusioniert.

### p-p-Zyklus



### CNO-Zyklus



### Aufgaben:

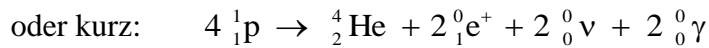
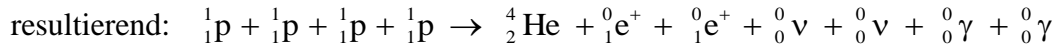
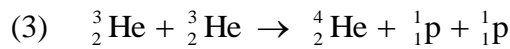
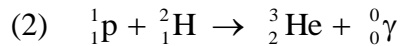
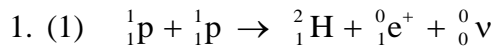
- Gib die einzelnen Kernreaktionsgleichungen des p-p-Zyklus an.  
Wie kann man alle Gleichungen zu einer „resultierenden“ Gleichung zusammenfassen?  
Welche Teilchen werden als „Brennmaterial“ benötigt, welche Teilchen entstehen dabei?
- Gib die einzelnen Kernreaktionsgleichungen des CNO-Zyklus an.  
Wie kann man alle Gleichungen zu einer „resultierenden“ Gleichung zusammenfassen?  
Welche Teilchen werden als „Brennmaterial“ benötigt, welche Teilchen entstehen dabei?  
Welche Bedeutung hat dabei der C12-Kern?
- Bestimme die Energie, die bei einem p-p-Zyklus bzw. einem CNO-Zyklus frei wird.  
Gib diese Energie in der Einheit J bzw. MeV an.
- Die Strahlungsleistung der Sonne beträgt  $3,82 \cdot 10^{26}$  W.  
Berechne, wie viele p-p-Zyklen pro Sekunde in der Sonne dafür stattfinden müssten.  
Welche Masse wird damit pro Sekunde in Energie umgewandelt?

Die Sonne setzt sich gegenwärtig aus ca. 75 Prozent Wasserstoff, 23 Prozent Helium und 2 Prozent weiteren Elementen zusammen.

Wie lange dauert es, bis 10% des heute vorhandenen Wasserstoffs zu Helium fusioniert sind? ( $M_{\text{Sonne}} = 2,0 \cdot 10^{30}$  kg)

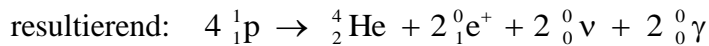
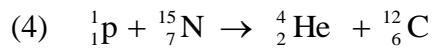
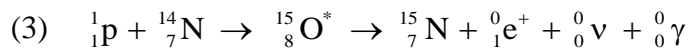
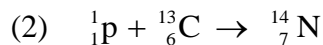
Angaben:  $u = 1,66 \cdot 10^{-27}$  kg,  $u \cdot c^2 = 931$  MeV  
 $m_{\text{He-Kern}} = 4,001506$  u,  $m_{\text{Proton}} = 1,007276$  u,  $m_{\text{Elektron}} = 0,000548580$  u

**Physik \* Jahrgangsstufe 9 \* Fusion in unserer Sonne \* Lösungen**



Brennmaterial: Protonen

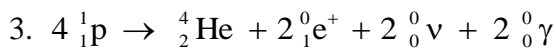
entstehende Teilchen: Helium 4, Positronen  $\text{e}^+$ , Neutrinos  $\nu$  und Gammaquanten



Brennmaterial: Protonen

entstehende Teilchen: Helium 4, Positronen  $\text{e}^+$ , Neutrinos  $\nu$  und Gammaquanten

Der Kohlenstoff 12 wirkt als Katalysator.



Massendefekt:

$$\Delta m = 4 \cdot m_{\text{Proton}} - m_{\text{He4}} - 2 \cdot m_{\text{e}} = 4 \cdot 1,007276 \text{ u} - 4,001506 \text{ u} - 2 \cdot 0,00054858 \text{ u} = 0,02650084 \text{ u} \approx 0,026501 \text{ u}$$

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 0,026501 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot (3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \approx 3,96 \cdot 10^{-12} \text{ J} = 24,7 \text{ MeV}$$

4.  $3,82 \cdot 10^{26} \text{ W} = 3,82 \cdot 10^{26} \frac{\text{J}}{\text{s}}$

Pro Sekunde müssen dafür  $\frac{3,82 \cdot 10^{26} \text{ J}}{3,96 \cdot 10^{-12} \text{ J}} = 9,65 \cdot 10^{37}$  p-p-Zyklen in der Sonne stattfinden.

Der Massenverlust der Sonne beträgt damit pro Sekunde

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{3,82 \cdot 10^{26} \text{ J}}{(3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2} = 4,2 \cdot 10^9 \text{ kg} = 4,2 \cdot 10^6 \text{ t}$$

Pro Zyklus wird eine Masse von  $4 \cdot m_{\text{Proton}} = 4 \cdot 1,007276 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 6,69 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  Wasserstoff zu Helium fusioniert.

Für die Fusion von 10% von 75% von  $2,0 \cdot 10^{30} \text{ kg} = 1,5 \cdot 10^{29} \text{ kg}$  Wasserstoff sind damit

$$\frac{1,5 \cdot 10^{29} \text{ kg}}{6,69 \cdot 10^{-27} \text{ kg}} = 2,24 \cdot 10^{55} \text{ p-p-Zyklen erforderlich.}$$

Dies entspricht einer Zeitdauer von  $\frac{2,24 \cdot 10^{55}}{9,65 \cdot 10^{37}} \text{ s} = 2,32 \cdot 10^{17} \text{ s} \approx 7,4 \cdot 10^9 \text{ Jahre}$