

3.5 Energieerzeugung im Inneren der Sonne

Bisherige Abstrahlung

Wir wissen aus fossilen Funden, dass die Erde seit mindestens 1 Mrd. Jahren von Lebewesen bevölkert ist.

Berechne die von der Sonne in diesem Zeitraum abgestrahlte Energiemenge.

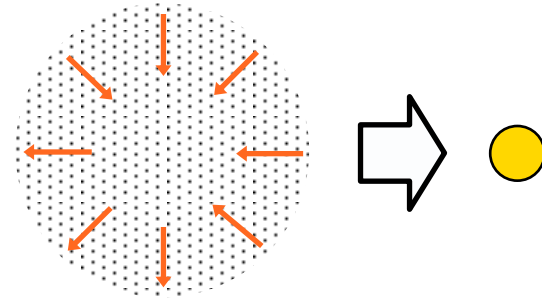
Die einfachste Möglichkeit wäre die Verbrennung fossiler Energieträger. **Berechne deren Menge bei einem Heizwert von $H = 50 \text{ MJ/kg}$.**

Ein anderes Modell basierte auf der Energie, die sich aufgrund der Gravitationswirkung bei der Kontraktion der vorsolaren Wolke ergab.

Berechne die freiwerdende Energie der Sonnenmasse bei Kontraktion aus einer unendlich großen Kugel.

Modell: Sonne als klassischer Ofen

Modell: Gravitationsenergie

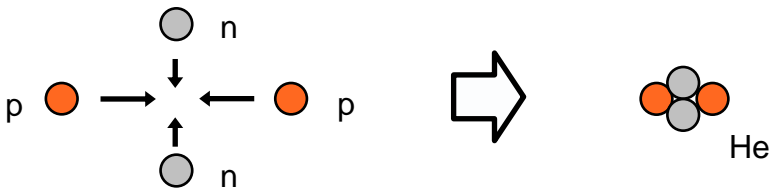


Ergebnis:

Die Spektralanalyse des Sonnenlichts ergibt einen hohen Wasserstoffgehalt der Sonne. Das legt die Fusion von Wasserstoffkernen als energieliefernde Reaktion nahe.

Berechne den Massendefekt (Differenz zwischen der Masse vor und nach der Reaktion) beim dargestellten Zusammenbau eines Heliumkerns.

Modell: Kernfusion - Prinzip



Massendefekt:

$m_p = 1,007277 \text{ u}$
 $m_n = 1,008665 \text{ u}$
 $m_{\text{He}} = 4,001506 \text{ u}$
 $1 \text{ u} = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Berechne die Fusionsenergie für einen Heliumkern und die Anzahl der Fusionen, die nötig sind, um die gesamte Energieabgabe der Sonne in 1 Mrd. Jahre zu erzeugen. Wie groß ist dabei der Massenverlust der Sonne?

freiwerdende Bindungsenergie:

Nach Einstein sind Masse und Energie äquivalent. Das Verschwinden von Masse bedeutet die Freisetzung von Energie gemäß der berühmten Formel

$E = mc^2$.

Fusionsenergie pro Heliumkern:

Anzahl der Fusionen in 1 Mrd. Jahren:

Massenverlust der Sonne in 1 Mrd. Jahren:

Tatsächlich erfolgt der Bau der Heliumkerne nicht durch die Kombination von Protonen und Neutronen, sondern durch die Verschmelzung von 4 Protonen unter Umwandlung von Protonen in Neutronen.

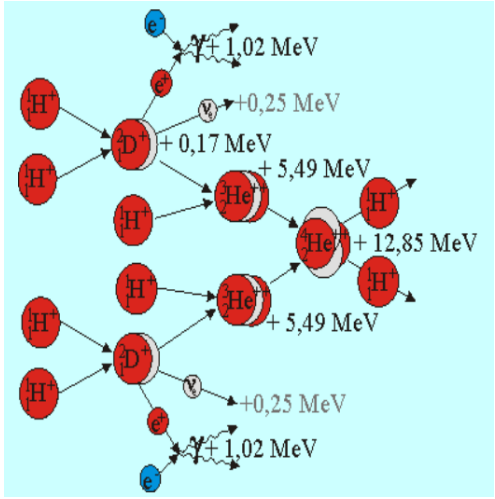
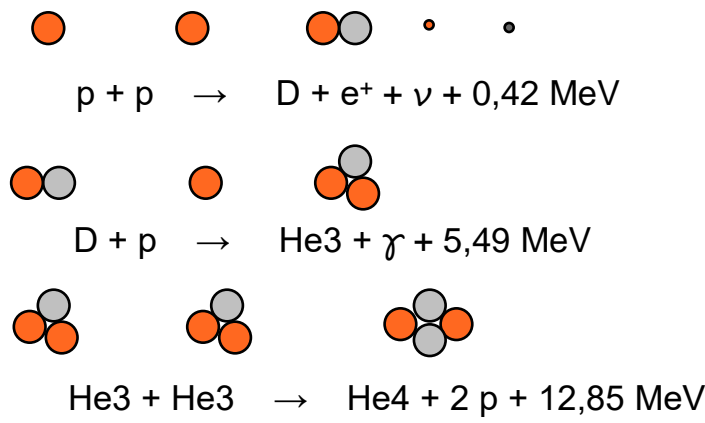
Finde den gelisteten Ablauf in der Graphik wieder. Erstelle eine Gesamtbilanz der dargestellten Reaktionskette.

Für eine schöne Animation dieses Vorganges Suchbegriff auf Leifiphysik: „proton-proton-i-kette“.

Berechne die freiwerdende Energie auf Basis der Gesamtbilanz und vergleiche mit den angegebenen Einzelwerten.

Die verfügbare Energie unterscheidet sich von der berechneten. Grund dafür sind die Paarvernichtung und der Energieverlust durch fliehende Neutrinos (siehe nächste Folie).

Proton-Proton-Reaktion (p-p-Zyklus)



Graphik aus leifiphysik.de

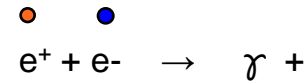
Jedes frei werdende Positron fängt sich ein Elektron und löst sich mit diesem in Strahlung auf. Dadurch entsteht zusätzliche Energie.

Berechne die freiwerdende Energie (Positronen haben dieselbe Masse wie Elektronen).

Berechne die letztlich für die Sonne verfügbare Energie aus einer Heliumfusion im p-p-Zyklus.

Verfügbare Energie aus der p-p-Reaktion

Paarvernichtung



Neutrino-flucht

Die Neutrinos, die in der Gesamtreaktion entstehen, flüchten aus der Sonne und tragen dabei eine Energie von $2 \cdot 0,26 \text{ MeV}$ davon.

Energiebilanz gesamt

Selbst-Check:

- Modelle zur Energieerzeugung der Sonne
- Kernfusion - Prinzip
- p-p-Reaktion
- Paarbildung und Neutrino-flucht

Aufgabe:

Die Abituraufgabe „Sonneninneres“ aus 2007 passt ab Teilaufgabe b) perfekt in den aktuellen Stoffbereich. Suchbegriff auf Leifiphysik: „sonneninneres 2007“.