

Was bedeutet „ $E = m \cdot c^2$ “ ?

In unserer Sonne verschmelzen permanent Nukleonen zu Atomkernen, bei dieser sogenannten „Fusion“ wird Energie freigesetzt. Ohne diese Energie könnten wir hier auf der Erde nicht leben. In diesem Kapitel untersuchen wir die Vorgänge der Kernfusion genauer und berechnen die frei werdende Energie mithilfe der Formel von Einstein „ $E = m \cdot c^2$ “.

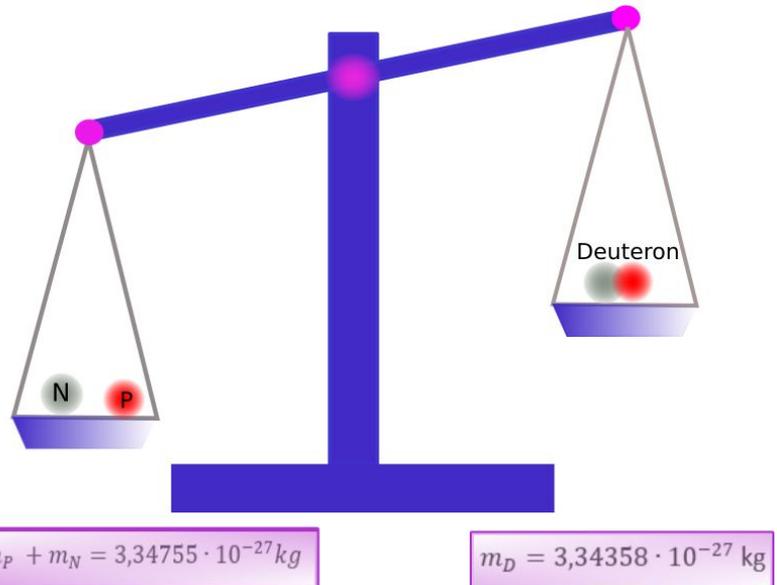
Masse „verschwindet“

Ein freies Proton hat die Masse von $m_p = 1,67262 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

Ein freies Neutron hat eine Masse von $m_n = 1,67493 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

Ein Deuteron ist der Kern eines Deuteriumatoms, dieses wird auch als schwerer Wasserstoff bezeichnet. Ein Deuteron besteht aus einem Neutron und einem Proton, die „fusioniert“ haben. Genaue Massenbestimmungen des Deuteriumkerns haben ergeben, dass seine Masse $m_D = 3,3475510 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ beträgt.

Die Summe aus der Masse des Protons (m_p) und des Neutrons (m_n) beträgt $1,67262 \cdot 10^{-27} \text{ kg} + 1,67493 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 3,3475510 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$. Das ist eindeutig eine größere Masse als die Masse des Deuterons.



Energie „entsteht“

Außerdem wurde beobachtet, dass bei der Verschmelzung der Nukleonen zum Deuteriumkern Energie freigesetzt wurde und zwar $E = 3,568 \cdot 10^{-13} \text{ J}$.

Masse „verschwindet“ und Energie „entsteht“?

Dieses Phänomen wird mit der berühmten Formel von Albert Einstein beschrieben: $E = \Delta m \cdot c^2$.

Δm entspricht hier der Massendifferenz (auch **Massendefekt** genannt) und $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ist die Lichtgeschwindigkeit.

Dies bedeutet, dass Masse in Energie umgewandelt werden kann.

Überprüfung mit Einsteins Formel:

Um mit der Formel $E = \Delta m \cdot c^2$ zu überprüfen, ob die „entstandene“ Energie der „verschundenen“ Masse entspricht, berechnen wir zuerst die Masse, die bei der Verschmelzung „verschwindet“. Diese bezeichnen wir mit Δm .

(Das Dreieck (Δ) ist der griechische Buchstabe DELTA und bedeutet so viel wie DIFFERENZ oder Unterschied.)

Zuerst berechnen wir die Massendifferenz

$$\Delta m = (m_P + m_N) - m_D = 3,3475510 \cdot 10^{-27} \text{ kg} - 3,342358 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 3,97 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$$

Die Massendifferenz setzen wir jetzt in die Formel von Einstein ein:

$$E = \Delta m \cdot c^2 = 3,97 \cdot 10^{-30} \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 3,568 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

und erhalten genau die Energie, die bei der Verschmelzung der Nukleonen zum Deuteron frei wird.

Der Massenverlust beim Verschmelzen des Protons und des Neutrons zum Deuteriumkern kommt also dadurch zustande, dass beim Zusammenschluss von Protonen und Neutronen zu einem Kern ein kleiner Teil ihrer Massen in Energie umgewandelt wird. Wollte man den Deuteriumkern wieder in seine Bestandteile zerlegen, müsste genau die umgewandelte Energie dem Kern wieder zugeführt werden. Der Massenverlust - und damit die abgegebene Energie - ist also für das Zusammenhalten der Kernteilchen verantwortlich.

Wie wird die Energie bei der Kernfusion abgegeben?

Die Energie, die beim Zusammenschluss der Nukleonen abgegeben wird, wird meist in Form von hochenergetischer elektromagnetischer Strahlung abgegeben, also als Röntgenstrahlen.

Übrigens:

Das beim Zusammenschluss von Nukleonen zu größeren Kernen Energie frei wird, gilt übrigens nur für kleine Kerne. Für große Kerne gilt die umgekehrte Regel: Große Kerne werden in kleinere gespalten und dabei tritt ein Masseverlust und eine Energieabgabe ein. Dieses Phänomen wird in Kernkraftwerken zur Energieerzeugung genutzt.