

Kernfusion und Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Hans-Böckler-Berufskolleg

17. Februar 2018

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren

1 Äquivalenz von Masse und Energie

2 Kernfusion

- Geschichte der Forschung
- Bedingungen für die Fusion
- Fusion in der Sonne
- Wasserstoffbombe

3 Fusionsreaktor

- Magnetische Fusion (Tokamak / Stellerator)
- Trägheitsfusion
- Aufbau eines Reaktors
- Erbrütung von Tritium
- Sicherheit der Reaktoren

Äquivalenz von Masse und Energie

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren

- hohe Effizienz => riesige Mengen Energie
- $E = mc^2$
- $E \Rightarrow$ Ruheenergie (ohne Bewegung)

Äquivalenz von Masse und Energie

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren

- hohe Effizienz => riesige Mengen Energie
- $E = mc^2$
- $E \Rightarrow$ Ruheenergie (ohne Bewegung)

Äquivalenz von Masse und Energie

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren

- hohe Effizienz => riesige Mengen Energie
- $E = mc^2$
- $E \Rightarrow$ Ruheenergie (ohne Bewegung)

Äquivalenz von Masse und Energie

$$E = mc^2 \text{ vs. } E_{kin} = mgh$$

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren

Beispiel 1: Kugelschreiber im freien Fall

~14g Gewicht

0.22 J

Beispiel 2: Little Boy

< 1 kg gezündetes Reaktionsmaterial^a

$5.4 * 10^{16}$ J

^a https://de.wikipedia.org/wiki/Little_Boy

Beispiel 3: Katze

~5kg Gewicht

$\sim 4.2 * 10^{17}$ J^b

^b <https://youtu.be/t-O-Qdh7VvQ?t=10>

Äquivalenz von Masse und Energie

$$E = mc^2 \text{ vs. } E_{kin} = mgh$$

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren

Beispiel 1: Kugelschreiber im freien Fall

~14g Gewicht

0.22 J

Beispiel 2: Little Boy

< 1 kg gezündetes Reaktionsmaterial^a

$5.4 * 10^{16}$ J

^a https://de.wikipedia.org/wiki/Little_Boy

Beispiel 3: Katze

~5kg Gewicht

$\sim 4.2 * 10^{17}$ J^b

^b <https://youtu.be/t-O-Qdh7VvQ?t=10>

Äquivalenz von Masse und Energie

$$E = mc^2 \text{ vs. } E_{kin} = mgh$$

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren

Beispiel 1: Kugelschreiber im freien Fall

~14g Gewicht

0.22 J

Beispiel 2: Little Boy

> 70 Kugelschreiber gezündetes Reaktionsmaterial^a

$5.4 * 10^{16}$ J

^a https://de.wikipedia.org/wiki/Little_Boy

Beispiel 3: Katze

~5kg Gewicht

$\sim 4.2 * 10^{17}$ J^b

^b <https://youtu.be/t-O-Qdh7VvQ?t=10>

Äquivalenz von Masse und Energie

$$E = mc^2 \text{ vs. } E_{kin} = mgh$$

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren

Beispiel 1: Kugelschreiber im freien Fall

~14g Gewicht

0.22 J

Beispiel 2: Little Boy

> 70 Kugelschreiber gezündetes Reaktionsmaterial^a

$5.4 * 10^{16}$ J

^a https://de.wikipedia.org/wiki/Little_Boy

Beispiel 3: Katze

~5kg Gewicht

$\sim 4.2 * 10^{17}$ J^b

^b <https://youtu.be/t-O-Qdh7VvQ?t=10>

1 Äquivalenz von Masse und Energie

2 Kernfusion

- Geschichte der Forschung
- Bedingungen für die Fusion
- Fusion in der Sonne
- Wasserstoffbombe

3 Fusionsreaktor

- Magnetische Fusion (Tokamak / Stellerator)
- Trägheitsfusion
- Aufbau eines Reaktors
- Erbrütung von Tritium
- Sicherheit der Reaktoren

Geschichte der Forschung

Kernfusion

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne
Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren

- ❶ 1917: Erste Kernreaktion (Rutherford)¹
- ❷ 1920: Fusionsreaktion mögliche Energiequelle von Sternen²
- ❸ 1934: Erste Fusionsreaktion im Labor³
- ❹ ab 1945: Erforschung der Nutzung von FR in Atombomben
- ❺ 1952: Zündung der ersten Wasserstoffbombe⁴
- ❻ 1991: Erste kontrollierte Kernfusion zur Energiegewinnung⁵

¹ <http://web.lemoyne.edu/~giunta/rutherford.html>

² Hans Bethe: *Energy Production in Stars*, Phys. Rev. 55, 1939, S. 434–456

³ M.L.E. Oliphant, Lord Rutherford: *Transmutation effects Observed with Heavy Hydrogen*, Rev. 144, 1934, S. 692

⁴ <http://nuclearweaponarchive.org/Usa/Tests/Ivy.html>

⁵ P-H Rebut: *The JET preliminary tritium experiment*, Rev. 34, 1992

Bedingungen für die Fusion

Kernfusion

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren

- Hitze: 100 Millionen Kelvin
- \Rightarrow Wasserstoff ist Plasma
- Druck: Atomkerne ~ 1 Femtometer entfernt
- Sonne: Gravitation; Erde: Magnete

Fusion in der Sonne

Kernfusion

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren

- Licht und Wärme der Sonne entstehen in Fusionsreaktionen
- Genauer: Proton-Proton-Reaktion:

Fusion in der Sonne

Kernfusion

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren

- Licht und Wärme der Sonne entstehen in Fusionsreaktionen
- Genauer: Proton-Proton-Reaktion:

Fusion in der Sonne

Kernfusion

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren

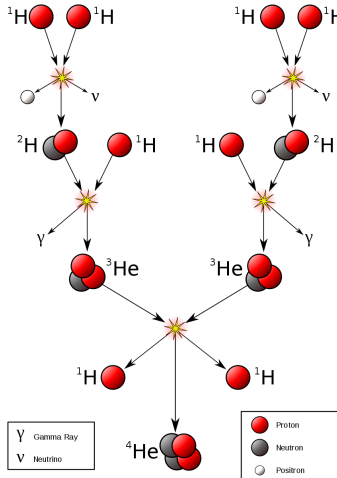


Abbildung: Fusion in der Sonne

Fusion in der Sonne

Kernfusion

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

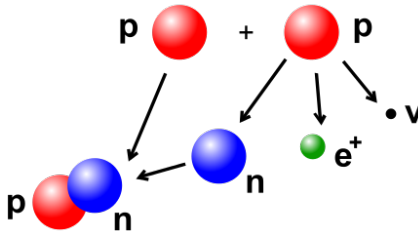
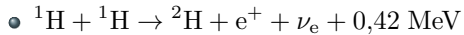
Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren



Fusion in der Sonne

Kernfusion

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

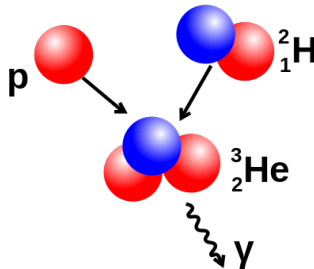
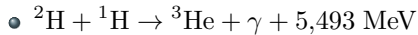
Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren



Fusion in der Sonne

Kernfusion

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren

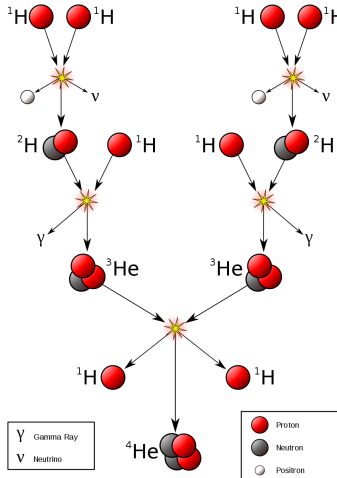


Abbildung: Fusion in der Sonne

Fusion in der Sonne

Kernfusion

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

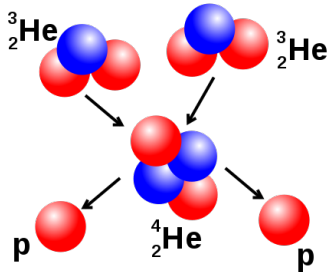
Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren

- Proton-Proton-I-Kette: 83,30 %
- ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2 {}^1\text{H} + 12,86 \text{ MeV}$



Fusion in der Sonne

Kernfusion

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren

- Proton-Proton-I-Kette: 83,30 %
- Proton-Proton-II-Kette: 16,68 %
 - $2x \text{}^4\text{He}$
- Proton-Proton-III-Kette: 0,02 %
 - $2x \text{}^4\text{He}$

Atombombe:

- Sprengstoff verdichtet Spaltmaterial
- => Kettenreaktion wird ausgelöst

Wasserstoffbombe:

- Atombombe verdichtet Spaltmaterial
- => Fusionsreaktionen beginnen

Atombombe:

- Sprengstoff verdichtet Spaltmaterial
- \Rightarrow Kettenreaktion wird ausgelöst

Wasserstoffbombe:

- Atombombe verdichtet Spaltmaterial
- \Rightarrow Fusionsreaktionen beginnen

Wasserstoffbombe

Kernfusion

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren

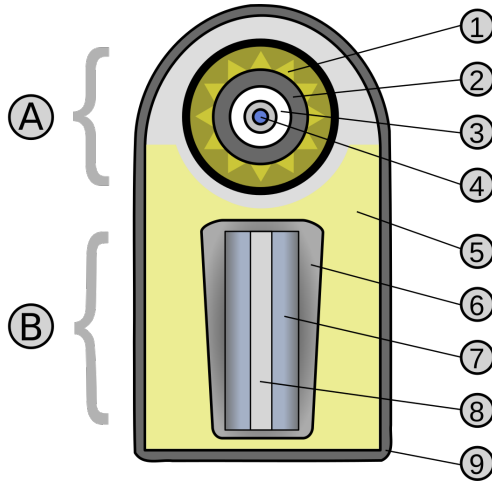


Abbildung: Wasserstoffbombe

Wasserstoffbombe

Kernfusion

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren

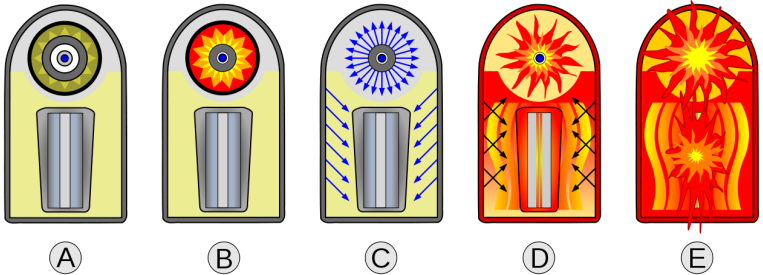


Abbildung: Explosion einer Wasserstoffbombe

Gliederung

Kernfusion und Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus Masse

Kernfusion

Geschichte der Forschung

Bedingungen für die Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines Reaktors

Erbrütung von Tritium

Sicherheit der Reaktoren

1 Äquivalenz von Masse und Energie

2 Kernfusion

- Geschichte der Forschung
- Bedingungen für die Fusion
- Fusion in der Sonne
- Wasserstoffbombe

3 Fusionsreaktor

- Magnetische Fusion (Tokamak / Stellarator)
- Trägheitsfusion
- Aufbau eines Reaktors
- Erbrütung von Tritium
- Sicherheit der Reaktoren

Magnetische Fusion (Tokamak / Stellerator)

Fusionsreaktor

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren



Trägheitsfusion

Fusionsreaktor

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren

Aufbau eines Reaktors

Fusionsreaktor

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

**Aufbau eines
Reaktors**

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren



Erbrütung von Tritium

Fusionsreaktor

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

**Erbrütung von
Tritium**

Sicherheit der
Reaktoren

Sicherheit der Reaktoren

Fusionsreaktor

Kernfusion und
Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus
Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Bedingungen für die
Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von
Tritium

Sicherheit der
Reaktoren

Kernfusion und Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Hans-Böckler-Berufskolleg

17. Februar 2018