

Luca Kiebe

Masse

Kermusio

Forschung

Bedingungen für d

Fusion Fusion in der Soi

Wasserstoffbomb

Fusionsreakto

Magnetische Fusion Trägheitsfusion

Reaktors

Erbrütung vo Tritium

Reaktoren

### Kernfusion und Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Hans-Böckler-Berufskolleg

17. Februar 2018

## Gliederung

Kernfusion und Fusionsreaktoren

## Energie aus

## Masse

Geschichte der Forschung Bedingungen für die

Fusion in der Sonn

### Fusionsreaktor

Trägheitsfusior Aufbau eines Reaktors

Erbrütung von Tritium Äquivalenz von Masse und Energie

- 2 Kernfusion
  - Geschichte der Forschung
  - Bedingungen für die Fusion
  - Fusion in der Sonne
  - Wasserstoffbombe
- Fusionsreaktor
  - Magnetische Fusion (Tokamak / Stellerator)
  - Trägheitsfusion
  - Aufbau eines Reaktors
  - Erbrütung von Tritium
  - Sicherheit der Reaktoren

## Äquivalenz von Masse und Energie

Kernfusion und Fusionsreaktoren

$$\bullet E = mc^2$$

• E => Ruheenergie (ohne Bewegung)

• hohe Effizienz => riesige Mengen Energie

## Äquivalenz von Masse und Energie

Kernfusion und Fusionsreaktoren

Luca Kieb

### Masse

Kernfusic

Geschichte der Forschung

Bedingungen für Fusion

Fusion in der Son

Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Trägheitsfusion

Aufbau eines Reaktors

Tritium

Reaktoren

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

## Äquivalenz von Masse und Energie

Kernfusion und Fusionsreaktoren

Luca Nie

### Masse

Kernfusio

Geschichte der Forschung Bedingungen für di

Fusion in der Sonr

Fusionsreaktor

Magnetische Fus

Trägheitsfusion
Aufbau eines
Reaktors

Erbrütung von

Reaktoren

hohe Effizienz => riesige Mengen Energie

- $\bullet \ E = mc^2$
- E => Ruheenergie (ohne Bewegung)

## Äquivalenz von Masse und Energie $E = mc^2$ vs. $E_{kin} = mgh$

Kernfusion und Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus Masse

Kernfusion

Geschichte der
Forschung

Fusion
Fusion in der Sonne
Wasserstoffbombe

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion Aufbau eines Reaktors Erbrūtung von Tritium

Sicherheit de Reaktoren

### Beispiel 1: Kugelschreiber im freien Fall

 $\sim$ 14g Gewicht 0.22 J

### Beispiel 2: Little Boy

< 1 kg genzündetes Reaktionsmaterial 5.4  $\pm$  10 $^{16}$  L

https://de.wikipedia.org/wiki/Little\_Boy

### Beispiel 3: Katze

~5kg Gewicht

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

b https://youtu.be/t-O-Qdh7VvQ?t=1

### Äquivalenz von Masse und Energie $E = mc^2$ vs. $E_{kin} = mgh$

Kernfusion und Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie aus

Masse

Beispiel 1: Kugelschreiber im freien Fall

~14g Gewicht 0.22 J

Beispiel 2: Little Boy

< 1 kg genzündetes Reaktionsmaterial<sup>a</sup>

 $5.4 * 10^{16}$  J

a https://de.wikipedia.org/wiki/Little\_Boy

# Äquivalenz von Masse und Energie $E = mc^2$ vs. $E_{kin} = mgh$

Kernfusion und Fusionsreaktoren

Energie aus

Masse

## Beispiel 1: Kugelschreiber im freien Fall

~14g Gewicht 0.22 J

### Beispiel 2: Little Boy

> 70 Kugelschreiber genzündetes Reaktionsmaterial  $^a$  5.4  $\star$  10  $^{16}$  I

a https://de.wikipedia.org/wiki/Little\_Boy

### Beispiel 3: Katze

~5kg Gewicht

 $.2 * 10^{17} \text{ J}^{D}$ 

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

# Äquivalenz von Masse und Energie $E = mc^2$ vs. $E_{kin} = mgh$

Kernfusion und Fusionsreaktoren

Energie aus

## Beispiel 1: Kugelschreiber im freien Fall

~14g Gewicht 0.22 J

### Beispiel 2: Little Boy

> 70 Kugelschreiber genzündetes Reaktionsmaterial<sup>a</sup>

 $5.4 * 10^{16} J$ 

a https://de.wikipedia.org/wiki/Little\_Boy

### Beispiel 3: Katze

~5kg Gewicht

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

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

## Gliederung

Kernfusion und Fusionsreaktoren Luca Kiebel

nergie aus lasse

Kernfusion

- Geschichte der Forschung
- Bedingungen für die Fusion
- Fusion in der Sonne
- Wasserstoffbombe
- Fusionsreaktor
  - Magnetische Fusion (Tokamak / Stellerator)
  - Trägheitsfusion
  - Aufbau eines Reaktors
  - Erbrütung von Tritium
  - Sicherheit der Reaktoren

### Kernfusion

Geschichte der Forschung Bedingungen für die Fusion

Wasserstoffbombe

Magnetische Fusi

Aufbau eines Reaktors Erbrütung von Tritium

Sicherheit d

## Geschichte der Forschung Kernfusion

Kernfusion und Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

1917: Erste Kernreaktion (Rutherford)<sup>1</sup>

1920: Fusionsreaktion mögliche Energiequelle von Sternen<sup>2</sup>

1934: Erste Fusionsreaktion im Labor<sup>3</sup>

ab 1945: Erforschung der Nutzung von FR in Atombomben

1952: Zündung der ersten Wasserstoffbombe<sup>4</sup>

1991: Erste kontrollierte Kernfusion zur Energiegewinnung<sup>5</sup>

http://web.lemoyne.edu/~giunta/rutherford.html

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

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

http://nuclearweaponarchive.org/Usa/Tests/Ivy.html

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



Luca Kiebel

Kernfusio

Forschung

Bedingungen für die

Fusion in der Sonne Wasserstoffhombe

Fusionsreaktor

Trägheitsfusion Aufbau eines Reaktors

Reaktors Erbrütung von

Sicherheit d

• Hitze: 100 Millionen Kelvin

=> Wasserstoff ist Plasma

• Druck: Atomkerne ~1 Femtometer entfernt

• Sonne: Gravitation; Erde: Magnete



Luca Kiebe

Energie au Masse

Kernfusio

Geschichte der Forschung Bedingungen für di

Fusion in der Sonn

Fusionsreakto

Trägheitsfusio Aufbau eines Reaktors

Erbrütung von Tritium

Reaktoren

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



Luca Kiebe

Masse

Kernfusio

Forschung

Bedingungen für d

Wasserstoffbombe

Fusionsreakto

Magnetische Fusio Trägheitsfusion Aufbau eines Reaktors

Erbrütung von Tritium

Sicherheit

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

# Fusion in der Sonne Kernfusion

Kernfusion und Fusionsreaktoren Luca Kiebel

Energie aus

Kernfusio

Geschichte der Forschung

Bedingungen für

Fusion in der So

Fusionsreakto

Magnetische Fusio

Aufbau eine Reaktors

Erbrütung Tritium

Tritium Sicharbait dar

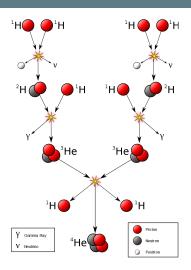


Abbildung: Fusion in der Sonne



## Fusion in der Sonne Kernfusion

Kernfusion und Fusionsreaktoren

Luca Kiebe

Masse

Kernfusi

Forschung Bedingungen für d

Fusion in der So

Wasserstoffbom

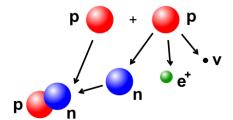
Fusionsreakto

Magnetische Fusio Trägheitsfusion

Reaktors

Tritium

 $\bullet$  <sup>1</sup>H + <sup>1</sup>H  $\to$  <sup>2</sup>H + e<sup>+</sup> +  $\nu_{\rm e}$  + 0,42 MeV



# Kernfusion und

# Fusion in der Sonne Kernfusion

Kernfusion und Fusionsreaktoren

Luca Med

Masse

### Kernfusio

Forschung Bedingungen für d

Fusion in der Son

### .....

Managainska Ford

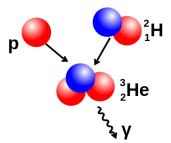
Trägheitsfusion

Aufbau eine Reaktors

Erbrütung

Sicherheit de

• 
$$^{2}\text{H} + ^{1}\text{H} \rightarrow ^{3}\text{He} + \gamma + 5{,}493 \text{ MeV}$$



## Fusion in der Sonne Kernfusion

Kernfusion und Fusionsreaktoren Luca Kiebel

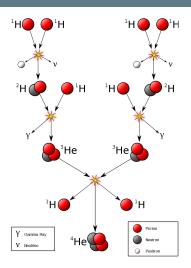


Abbildung: Fusion in der Sonne

# Kernfusion und

# Fusion in der Sonne Kernfusion

Fusionsreaktoren

Luca Kiebe

iviasse

Kernfusi

Forschung

Bedingungen für c

Fusion in der So

Wasserstoffbomb

Fusionsreakto

Magnetische Fu

Trägheitsfusion

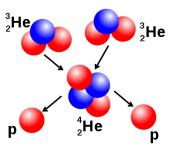
Reaktors

Erbrütung

Sicherheit der

Proton-Proton-I-Kette: 83,30 %

$$\bullet$$
  ${}^{3}\text{He} + {}^{3}\text{He} \rightarrow {}^{4}\text{He} + 2\,{}^{1}\text{H} + 12,86 \text{ MeV}$ 



## Fusion in der Sonne Kernfusion

Kernfusion und Fusionsreaktoren Luca Kiebel

Proton-Proton-I-Kette: 83,30 %

Proton-Proton-II-Kette: 16,68 %

• 2x <sup>4</sup>He

Proton-Proton-III-Kette: 0,02 %

• 2x <sup>4</sup>He



Luca Kiebel

Masse

Geschichte der Forschung Bedingungen für die

Fusion in der Sor

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion

Trägheitsfusion

Aufbau eines

Aufbau eines Reaktors Erbrütung von Tritium Atombombe:

- Sprengstoff verdichtet Spaltmaterial
- => Kettenreaktion wird ausgelöst

Wasserstoffbombe:

- Atombombe verdichtet Spaltmateria
- => Fusionsreaktionen beginner



Kernfusion und Fusionsreaktoren Luca Kiebel

Energie au

Kernfusion

Geschichte der Forschung

Bedingungen für die Fusion

Fusion in der Sonne

Wasserstoffbombe Fusionsreaktor

Magnetische Fusion Trägheitsfusion Aufbau eines Reaktors Erbrütung von

Sicherheit de Reaktoren

## Atombombe:

- Sprengstoff verdichtet Spaltmaterial
- => Kettenreaktion wird ausgelöst

## Wasserstoffbombe:

- Atombombe verdichtet Spaltmaterial
- => Fusionsreaktionen beginnen

## Wasserstoffbombe Kernfusion

Kernfusion und Fusionsreaktoren

Luca Kiebe

Energie aus Masse

Kernfus

Geschichte der Forschung

Bedingungen für d

Fusion in der Si

Wasserstoffbom

Magnetische Fusio

Aufbau eines

Reaktors

Tritium Sicherheit der

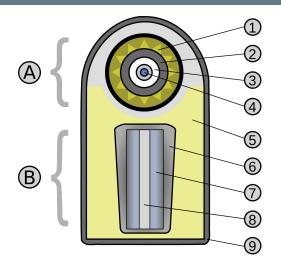


Abbildung: Wasserstoffbombe

# Wasserstoffbombe Kernfusion

Kernfusion und Fusionsreaktoren

Luca Kiebe

Energie Masse

Kernfus

Geschicht

Bedingungen für o

Fusion in der So

Wasserstoffbor

Fusionsreaktor

Magnetische F

Aufbau eines

Reaktors

Tritium

A A











## Gliederung

Kernfusion und Fusionsreaktoren Luca Kiebel

Aquivalenz von Masse un

2 Kernfusion

- Geschichte der Forschung
- Bedingungen f
  ür die Fusion
- Fusion in der Sonne
- Wasserstoffbombe
- Section Fusion Fusio
  - Magnetische Fusion (Tokamak / Stellerator)
  - Trägheitsfusion
  - Aufbau eines Reaktors
  - Erbrütung von Tritium
  - Sicherheit der Reaktoren

Kernfusion

Forschung Bedingungen für die Fusion

Wasserstoffbombe

### rusionsreaktoi

Magnetische Fusion
Trägheitsfusion
Aufbau eines
Reaktors
Erbrütung von
Tritium



### Magnetische Fusion (Tokamak / Stellerator) Fusionsreaktor

Kernfusion und Fusionsreaktoren



L.... Kishal

Energie au

Kernfusio

Geschichte d

Bedingungen für o Fusion

Fusion in der Soni

Fusionsreakto

Magnetische Fu

Trägheitsfusio

Aufbau eines

Erbrütung vo

Sicherheit d



# Aufbau eines Reaktors Fusionsreaktor

Kernfusion und Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie au Masse

Kernfusio

Geschichte d

Bedingungen für

Fusion in der Sonn

Fusionsreakto

Magnetische Fusi

Trägheitsfusion

Erbrütung voi

Tritium

Sicherheit der



## Erbrütung von Tritium Fusionsreaktor

Kernfusion und Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Energie a

Kernfusio

Geschichte c

Bedingungen für

Fusion in der Sonn

Fusionsreakto

Magnetische Fus

Aufbau eines

Erbrütung vo

Sicherheit der



## Sicherheit der Reaktoren Fusionsreaktor

Kernfusion und Fusionsreaktoren

L.... Kishal

Energie a

Karnfusio

Geschichte d

Bedingungen für

Fusion in der Sonn

Fusionsreakto

Magnetische Fusio

Trägheitsfusion Aufbau eines Reaktors

Erbrütung vo

Sicherheit der



Edca Micbi

Masse

C

Forschung
Bedingungen für

Fusion in der Soi

Wasserstoffbomb

Fusionsreaktor

Magnetische Fusion
Trägheitsfusion
Aufbau eines

Erbrütung ve

Sicherheit de Reaktoren

## Kernfusion und Fusionsreaktoren

Luca Kiebel

Hans-Böckler-Berufskolleg

17. Februar 2018