

## Übung 10                      Radioaktivität Kernspaltung und Energie, Kernkraftwerk Gösgen

### Lernziele

- die Kernreaktionen bei der Spaltung von Uran-235 kennen.
- verstehen, warum bei der Kernspaltung von Uran-235 Energie freigesetzt wird.
- die Grössenordnung der bei der Spaltung eines Uran-235-Kernes freigesetzten Energie kennen.
- verstehen, warum für die Energiegewinnung aus Kernspaltungen Uran-235 verwendet wird.
- wissen, dass die Spaltprodukte von Uran-235 radioaktiv sind.
- den Unterschied zwischen einer kontrollierten und einer unkontrollierten Kettenreaktion bei Kernspaltungen verstehen.
- wissen, dass es für eine Kettenreaktion bei Kernspaltungen eine minimale kritische Masse des Spaltmaterials braucht.
- die Funktionsweise eines Kernkraftwerkes verstehen.
- die energetischen Abläufe in den einzelnen Kreisläufen in einem Kernkraftwerk verstehen.
- den Unterschied zwischen einem Druckwasser- und einem Siedewasserreaktor verstehen.
- verstehen, wieviel eine Kilowattstunde Energie ist.
- einfachere Energieberechnungen ausführen können.
- einem technischen Datenblatt einzelne Informationen entnehmen und damit einfachere Berechnungen durchführen können.
- die Grössenordnung der in einem Kernkraftwerk umgesetzten Energiemenge kennen.
- die elektrische Leistung eines Solarkraftwerkes mit derjenigen eines Kernkraftwerkes vergleichen können.
- einen neuen Sachverhalt analysieren und beurteilen können.

### Aufgaben

1. Studieren Sie im Lehrbuch Metzler-Physik (kopierte Blätter) die folgenden Abschnitte:
  - 13.5.4 Kernspaltung (Seite 514 bis 516)
  - 13.5.5 Bedingungen der Kettenreaktion (Seite 517)
  - 13.6.1 Funktionsprinzipien von Reaktoren (Seiten 518 und 519)
  - 13.6.2 Reaktortypen (Seiten 520 und 521)
  
2. Bei Energiefragen wird häufig die Energieeinheit kWh (Kilowattstunden) verwendet.
  - a) Wieviele Joule sind 1 kWh?
  - b) Im Empire State Building in New York befindet sich im 90. Stockwerk (in 360 m Höhe) eine Baustelle. Da alle Lifte ausser Betrieb sind, müssen die benötigten Zementsäcke (Masse 50 kg) von Bauarbeitern hochgetragen werden.
    - i) Wieviele Zementsäcke zu 50 kg können mit der Energie 1 kWh um 360 m angehoben werden?
    - ii) Wieviele Kilokalorien (kcal) Energie muss ein Bauarbeiter durch Nahrung zu sich nehmen, um die in i) gesuchte Anzahl Zementsäcke hochtragen zu können?  
  
Hinweise:
      - Gemäss Definition der Internationalen Union für Ernährungswissenschaften gilt:  
1 kcal = 4.182 kJ
      - Nehmen Sie an, dass der Wirkungsgrad eines Menschen beim Treppensteigen 20% beträgt.
  - c) Das Kernkraftwerk (KKW) Gösgen hat eine Netto-Nennleistung von 970 MW. Wieviele kWh Energie wird pro Stunde ans öffentliche Netz abgegeben?

3. Bei der Spaltung eines U-235-Kernes wird eine Energiemenge von 200 MeV freigesetzt.
- Rechnen Sie diese Energiemenge um in ...
    - ... J (Joule)
    - ... kWh (Kilowattstunden)
  - Bestimmen Sie die Anzahl U-235-Kernspaltungen, die pro Sekunde nötig sind, ...
    - ... um mit der freigesetzten Energie eine 100-W-Glühlampe betreiben zu können.
    - ... um die Netto-Nennleistung des KKW Gösgen von 970 MW zu erzielen, wenn mit einem Wirkungsgrad von 30% gerechnet wird.
4. In einem KKW müssen die bei der Kernspaltung anfallenden Neutronen mit einem Moderator abgebremst werden. Das Abbremsen erfolgt durch elastische Stösse der Neutronen an den Moderator-Atomkernen.
- Sie haben einen Text zum Thema Kernenergie gelesen (Aufgabe 1). Darin steht: "Da bei einem elastischen Stoss die Energieübertragung bei gleichen Massen am grössten ist, verwendet man ..." (Metzler-Physik, Seite 518, 2. Spalte).
- Zeigen Sie, dass bei einem zentralen elastischen Stosses eines bewegten Teilchens mit einem ruhenden Teilchen die Energieübertragung dann am grössten ist, wenn die Massen der beiden Teilchen gleich gross sind.
- Hinweise:
- Bei einem Stoss zweier Teilchen bleibt die Summe des in den beiden Teilchen gespeicherten Impulses konstant.
  - Bei einem elastischen Stoss zweier Teilchen bleibt die Summe der in den beiden Teilchen gespeicherten kinetischen Energie konstant.
5. Im Reaktor wird die Energie, welche bei der Kernspaltung von U-235 freigesetzt wird, auf das Primärwasser übertragen und zu den Dampferzeugern transportiert.
- Bestimmen Sie aus den Angaben in den "Technischen Hauptdaten" des KKW Gösgen (kopiertes Blatt), wie viel Energie pro Sekunde auf das Primärwasser übertragen wird.
- Hinweis:
- Die spezifische Energiekapazität  $c$  von Wasser ist temperaturabhängig:  
 $c = 4.18 \cdot 10^3 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$  bei  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $c = 5.5 \cdot 10^3 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$  bei  $t = 300 \text{ }^\circ\text{C}$
6. Im Kühlturm wird durch Verdunsten von Kühlwasser Energie an die Luft abgegeben.
- Bestimmen Sie aus den Angaben in den "Technischen Hauptdaten", wieviel Energie im Kühlturm pro Sekunde an die Atmosphäre abgegeben wird.
  - Vergleichen Sie das Ergebnis aus a) mit dem Ergebnis aus der Aufgabe 1.
7. Die elektrische Klemmenspannung beträgt gemäss den "Technischen Hauptdaten" 27 kV. Schätzen Sie die elektrische Stromstärke am Ausgang des Generators ab, wenn mit einer (elektrischen) Leistung von ca. 1000 MW gerechnet werden kann.
8. (siehe nächste Seite)

8. Auf dem Stadiondach des Stade de Suisse Wankdorf Bern befindet sich ein Sonnenkraftwerk. Im Jahr 2005 wurde mit einer Solarzellenfläche von  $8000 \text{ m}^2$  eine Energiemenge von  $700'000 \text{ kWh}$  gewonnen.

Angenommen, man möchte das KKW Gösgen durch eine Photovoltaik-Anlage ersetzen, deren Leistung dem Sonnenkraftwerk Stade de Suisse entspricht.

- a) Schätzen Sie ab, welche Solarzellenfläche dafür nötig wäre.  
b) Geben Sie die in a) ermittelte Fläche im Vergleich zur Fläche eines Schweizer Kantons an:

<b>Kanton</b>	<b>Fläche in km<sup>2</sup></b>
Aargau	1404
Appenzell Ausserrhoden	243
Appenzell Innerrhoden	173
Basel - Landschaft	518
Basel - Stadt	37
Bern	5961
Freiburg	1671
Genf	282
Glarus	685
Graubünden	7105
Jura	837
Luzern	1493
Neuenburg	803
Nidwalden	276
Obwalden	491
St. Gallen	2026
Schaffhausen	299
Schwyz	908
Solothurn	791
Thurgau	991
Tessin	2812
Uri	1077
Waadt	3212
Wallis	5225
Zürich	1729
Zug	239
<b>Schweiz</b>	<b>41'285</b>

## Lösungen

1. ...

2. a) 1 kWh =  $3.6 \cdot 10^6$  J

b) i) 20 Zementsäcke ii) 4300 kcal

c)  $10^6$  kWh

3. a) i)  $3.2 \cdot 10^{-11}$  J

ii)  $8.9 \cdot 10^{-18}$  kWh

b) i)  $3.1 \cdot 10^{12}$  Spaltungen pro Sekunde ii)  $1.0 \cdot 10^{20}$  Spaltungen pro Sekunde

4. Teilchen 1 mit Masse  $m_1$  und Geschwindigkeit  $v_1 > 0$  vor dem Stoss  
Teilchen 2 mit Masse  $m_2$  und Geschwindigkeit  $v_2 = 0$  vor dem Stoss

$$x := \frac{\text{kinetische Energie des Teilchens 1 nach dem Stoss}}{\text{kinetische Energie des Teilchens 1 vor dem Stoss}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}^2$$

Energieübertragung maximal bzw. x minimal (nämlich  $x = 0$ ), falls  $m_1 = m_2$

5. Technische Hauptdaten:

Pro Sekunde fließen  $15 \cdot 984$  kg Wasser durch den Reaktor. Das Wasser wird im Reaktor von  $291.5$  °C auf  $324.2$  °C erwärmt.

$$W_1 = c \cdot m \cdot T = 5.5 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)} \cdot 15 \cdot 984 \text{ kg} \cdot (324.2 - 291.5) \text{ K} = 2.9 \text{ GJ}$$

6. a) Technische Hauptdaten:

Pro Sekunde fließen  $31.6 \text{ m}^3$  Wasser zum Kühlturm. Das Wasser wird von  $36$  °C auf  $22$  °C abgekühlt.

$$W_2 = c \cdot m \cdot T = 4.18 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)} \cdot 31.6 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot (36 - 22) \text{ K} = 1.8 \text{ GJ}$$

b)  $\frac{W_2}{W_1} = \frac{1.8 \text{ GJ}}{2.9 \text{ GJ}} = 0.64 = 64\%$

7.  $P_{el} = U \cdot I_Q$

$$I_Q = \frac{P_{el}}{U} = \frac{1000 \text{ MW}}{27 \text{ kV}} = 37 \text{ kA}$$

8. a) Ann.: Die Leistung ist proportional zur Fläche

$$\frac{P_1}{A_1} = \frac{P_2}{A_2}$$

$$A_2 = \frac{P_2}{P_1} A_1 = \frac{1000 \text{ MW}}{700 \cdot 000 \text{ kWh} / 1 \text{ a}} 8000 \text{ m}^2 = 100 \text{ km}^2$$

b)  $A_2$  3 mal die Fläche des Kt. BS

$A_2$  1/2 der Fläche des Kt. ZG

$A_2$  1/3 der Fläche des Kt. SH