

Europa-Gymnasium Wörth
Abiturprüfung 2012
Leistungskurs Physik LK2

Aufgabe II: Kernkraftwerk

Leistungsfachanforderungen

Hilfsmittel

Formelsammlung (war im Unterricht erstellt worden)

Tabelle der Trennenergien

Taschenrechner

Aufgabe II:

Kernkraftwerk

1. Aufbau des Kraftwerks

Skizzieren Sie das Kraftwerk, sodass man seine großen Komponenten sieht: Reaktor, Dampferzeuger, Turbine, Wasserpumpe, Kondensator, Kühlturm, Generator.

2. Zur Energie- und Wärmebilanz

Das Kraftwerk liefert 1200 MW elektrische Energie. Aus technischen Gründen darf man einen Kernreaktor nur bei einer nicht allzu hohen Temperatur betreiben, nämlich 650 K. Wie groß ist die Entropieproduktion? Wie viel Energie (pro Sekunde) liefert der Reaktor? Wie groß ist der Energieverlust in Prozent?

3. Die Kernreaktion

3.1 Die Energie kommt aus einer Reaktion, bei der $^{235}_{92}\text{U}$ zerfällt. Bei einer von vielen möglichen Reaktionen entstehen $^{94}_{40}\text{Zr}$ und $^{140}_{58}\text{Ce}$, außerdem Elektronen und Neutronen.

Stellen Sie die Reaktionsgleichung auf. Berechnen Sie die Energie, die für die Entropieerzeugung zur Verfügung steht.

3.2 Wie groß ist der Uranverbrauch des Kraftwerks pro Jahr (in kg)? (Die abgegebene Energie ist bei allen stattfindenden Uranzerfällen ungefähr gleich. Gehen Sie von dem Wert aus, den Sie selbst berechnet haben.) (Die Masse eines Uranatoms ist $3,97 \cdot 10^{-25}$ kg.)

3.3 Der Uranzerfall läuft von selbst viel zu langsam, um technisch interessant zu sein. Wodurch wird er im Reaktor beschleunigt? Wie kann man grundsätzlich Reaktionen beschleunigen?

4. Das Sicherheitsproblem

Worin besteht das besondere Sicherheitsproblem bei Kernreaktoren? (Siehe Fukushima-Unfall)

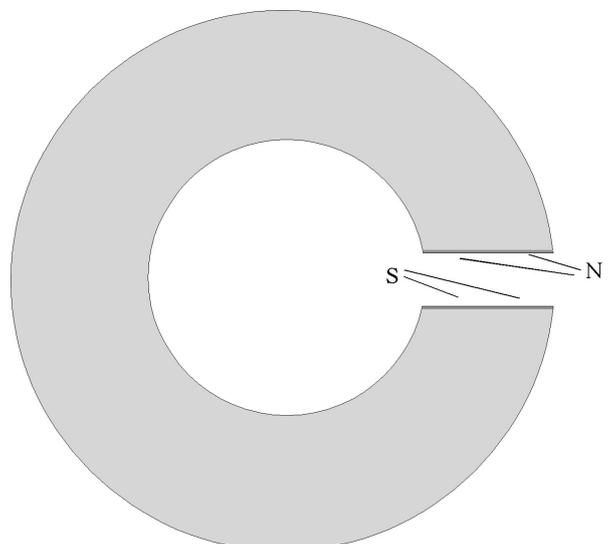
5. Der Generator

Die Abbildung zeigt einen Ringmagneten mit Schlitz. Die magnetische Polladung sitzt auf den markierten Flächen und ist dort gleichmäßig verteilt.

5.1 Zeichnen Sie die Magnetisierungslinien und die magnetischen Feldlinien ein.

5.2 Mit Hilfe dieses Magneten soll ein Generator gebaut werden. Skizzieren Sie (in einem neuen Bild), wie er aussehen könnte.

5.3 Erläutern Sie die Funktionsweise des Generators. Man nutzt im Generator ein bestimmtes Gesetz der Elektrodynamik aus. Welches ist dieses Gesetz? Interpretieren Sie die entsprechende Gleichung.



6. Der Energietransport

6.1 Der Generator liefert eine Spannung von 6000 V. Vor dem Ferntransport der Energie wird die Spannung auf 30 000 V erhöht. Wie macht man das? Erläutern Sie die Funktionsweise des entsprechenden Geräts. Wie kann man die Spannung an der Sekundärspule berechnen, wenn man die an der Primärspule kennt? Skizze.

6.2 Warum wird die Spannung hochgesetzt? Berechnen Sie die Energieverluste einer 50 km langen Leitung (Widerstand Hin- und Rückleitung je 2Ω), durch die 8 MW übertragen werden. Vergleichen Sie mit den Verlusten, die man hätte, wenn man die Energie mit nur 6000 V übertragen hätte. Drücken Sie den Energieverlust jeweils in Prozent aus.

6.3 Jemand kommt auf die Idee, die Energie mit Hilfe rotierender Wellen zu übertragen. Berechnen Sie Daten, aus denen man auf die Beanspruchung der Welle schließen kann für den Fall, dass 1200 MW übertragen werden sollen. (Hinweis: Ein Automotor verursacht einen Drehimpulsstrom von 100 bis 300 Euler/Sekunde; die Motorwelle dreht sich mit etwa 3000 Umdrehungen pro Minute) Beurteilen Sie den Vorschlag.

Atom- und Quantenphysik

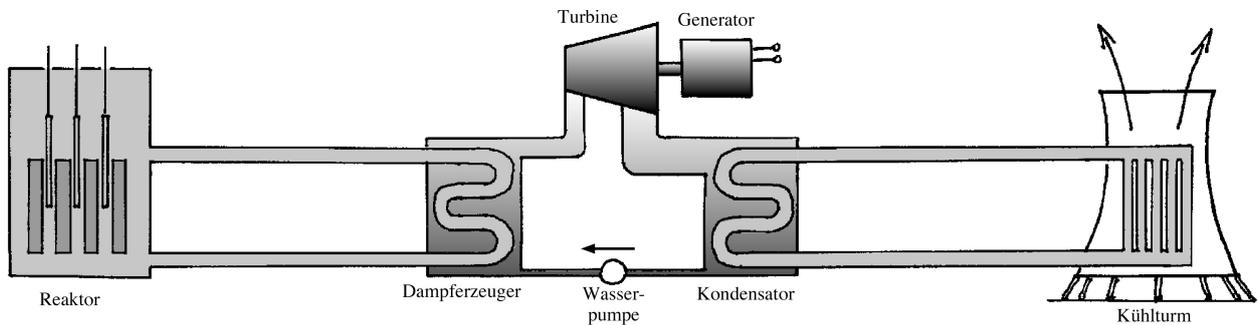
7.1. Beschreiben Sie die Struktur der Quantentheorie. Welche Rolle spielt die Schrödinger-Gleichung, welche Rolle spielen die Psi-Funktionen?

7.2 Auf dem Bildschirm laufen 4 Videos, die elektronische Übergänge des Wasserstoffatoms darstellen. Beantworten Sie für jedes Bild die folgenden Fragen:

- Geht der Übergang schnell oder langsam?
- Wie groß ist $\Delta \ell$?
- Wie ist das emittierte Licht polarisiert?
- Wie groß ist Δm ?

Lösungsskizze

1.



2.

$$P_{\text{elektr}} = 1200 \text{ MW}$$

$$T_{\text{hoch}} = 650 \text{ K}$$

$$T_0 = 300 \text{ K (Umgebungstemperatur)}$$

$$P_{\text{elektr}} = (T_{\text{hoch}} - T_0) \cdot I_S$$

$$I_S = \frac{P}{T_{\text{hoch}} - T_0} = \frac{1200 \text{ MW}}{650 \text{ K} - 300 \text{ K}} = 3,43 \cdot 10^6 \text{ Ct/s}$$

Energiestrom vom Reaktor zur Turbinenanlage:

$$P_{\text{Reaktor}} = T_{\text{hoch}} \cdot I_S = 650 \text{ K} \cdot 3,43 \cdot 10^6 \text{ Ct/s} = 2229 \text{ MW}$$

Verlustenergiestrom:

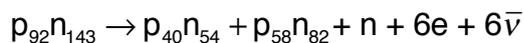
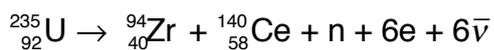
$$P_V = T_0 \cdot I_S = 300 \text{ K} \cdot 3,43 \cdot 10^6 \text{ Ct/s} = 1030 \text{ MW}$$

$$\text{(alternativ: } P_V = P_{\text{Reaktor}} - P_{\text{elektr}} = 2229 \text{ MW} - 1200 \text{ MW} = 1029 \text{ MW)}$$

Verlust:

$$V = \frac{P_V}{P_{\text{hinein}}} = \frac{1030 \text{ MW}}{2229 \text{ MW}} = 0,46 \hat{=} 46 \%$$

3.1



	$p_{92}n_{143}$	$p_{40}n_{54} + p_{58}n_{82} + n + 6e + 6\bar{\nu}$
elektrische Ladung	92	$40 + 58 + 0 - 6 + 0$
baryonische Ladung	235	$94 + 140 + 1 + 0 + 0$
leptonische Ladung	0	$0 + 0 + 0 + 6 - 6$
	$n \quad 6 \cdot 150,5349$	$p \quad 6 \cdot 150,3277$ $e \quad 6 \cdot 0,0819$
– Trennenergie	– 285,80 pJ	– 130,52 pJ – 187,88 pJ
	617,41 pJ	584,06 pJ
ΔE	33,35 pJ	

33,35 pJ pro Einzelreaktion sind übrig und gehen in die Entropieproduktion.

3.2

$$P = 2229 \text{ MW}$$

Uranverbrauch in „Atome pro Sekunde“:

$$\frac{2,229 \cdot 10^9 \text{ J}}{33,35 \cdot 10^{-12} \text{ J}} = 0,668 \cdot 10^{20} \rightarrow 0,668 \cdot 10^{20} \text{ Atome pro Sekunde}$$

Masse eines Uranatoms: $3,97 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$

Uranverbrauch in kg/s:

$$0,668 \cdot 10^{20} \cdot 3,97 \cdot 10^{-25} \text{ kg/s} = 2,65 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s}$$

$$1 \text{ Jahr} = 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s} = 31,5 \cdot 10^6 \text{ s}$$

Uranverbrauch in kg/Jahr (kg/a):

$$2,65 \cdot 10^{-5} \cdot 31,5 \cdot 10^6 \text{ kg/a} = 836 \text{ kg/a}$$

3.3

Die Reaktion wird durch Neutronen beschleunigt; die Neutronen wirken als Katalysator. Bei der Reaktion werden zusätzliche Neutronen erzeugt: Autokatalyse.

Allgemein beschleunigt man eine Reaktion

- durch Temperaturerhöhung;
- durch Zugabe eines Katalysators.

4.

Man kann die Kernspaltungsreaktion im Notfall schnell anhalten. Durch die Zerfälle der Spaltprodukte entsteht aber noch viel Wärme. Diese reicht, den Reaktorkern zum Schmelzen zu bringen, falls die Kühlung ausgefallen ist, wie im Fall von Fukushima.

5.1

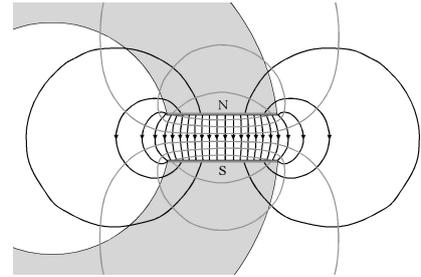
5.2 Eine drehbare Spule zwischen den beiden Polen.

5.3 Die Funktionsweise des Generators beruht auf Induktion: Wenn sich der magnetische Fluss durch eine Leiterschleife ändert, wird in der Schleife eine Spannung und/oder ein elektrischer Strom induziert. Das Phänomen wird beschrieben durch das Induktionsgesetz:

$$U = n \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

Hier ist U die induzierte Spannung, Φ der magnetische Fluss und n die Windungszahl der Spule, zwischen deren Enden die Spannung induziert wird. Es ist:

$\Phi = A \cdot B$, Querschnittsfläche der Spule mal magnetische Flussdichte. Um eine zeitliche Änderung des magnetischen Flusses zu bekommen, kann man also entweder die Fläche (senkrecht zu den magnetischen Feldlinien) ändern oder die magnetische Flussdichte.



6.1

Man verwendet einen Transformator. Durch den Wechselstrom, der in der Primärspule fließt, wird ein magnetisches Feld erzeugt. Die Flussdichtelinien verlaufen im Wesentlichen im geschlossenen Eisenkern. Die Flussänderung in der Sekundärspule bewirkt eine Induktionsspannung zwischen den Anschlüssen der Sekundärspule. Da der Energiestrom am Eingang und am Ausgang gleich ist (von Verlusten abgesehen), gilt:

$$P_1 = P_2, \text{ oder } U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$

Für das Verhältnis der Spannungen gilt:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}, \text{ so wie } n_1 \cdot I_1 = n_2 \cdot I_2$$

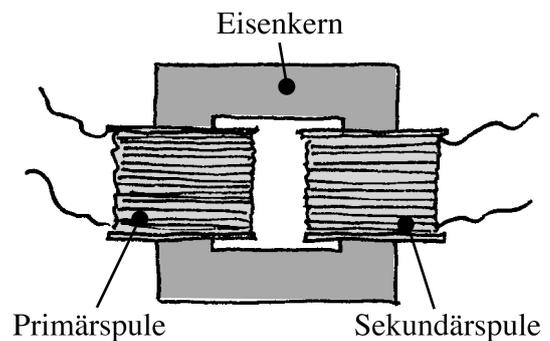
6.2

Die Spannung wird hochtransformiert, damit der Energieverlust geringer wird.

$$U_1 = 6000 \text{ V}$$

$$U_2 = 30\,000 \text{ V}$$

$$R = 2 \cdot 2 \, \Omega = 4 \, \Omega$$



$$P = U \cdot I$$

Berechnung der elektrischen Stromstärke $I = \frac{P}{U}$

ohne Transformator

$$I = \frac{8 \text{ MW}}{6000 \text{ V}} = 1333 \text{ A}$$

mit Transformator

$$I = \frac{8 \text{ MW}}{30\,000 \text{ V}} = 267 \text{ A}$$

Berechnung des Verlustenergiestroms $P_V = U_L \cdot I = R \cdot I^2$

$$P_V = 4\Omega \cdot (1333 \text{ A})^2 = 7,11 \text{ MW} \quad P_V = 4\Omega \cdot (267 \text{ A})^2 = 0,28 \text{ MW}$$

$$V = \frac{7,11 \text{ MW}}{8 \text{ MW}} = 0,89 \hat{=} 89\% \quad V = \frac{0,28 \text{ MW}}{8 \text{ MW}} = 0,035 \hat{=} 3,5\%$$

6.3

$$P = \omega \cdot M$$

$$P = 1200 \text{ MW}$$

1. Wir wählen den Drehimpulsstrom wie in einem Auto und berechnen die Winkelgeschwindigkeit:

$$\omega = \frac{P}{M} = \frac{1200 \text{ MW}}{200 \text{ E/s}} = 6\,000\,000 \text{ s}^{-1}$$

In Umdrehungen pro Sekunde:

$$\frac{6\,000\,000 \text{ s}^{-1}}{2\pi} = 955\,000 \text{ Umdrehungen pro Sekunde}$$

2. Wir wählen die Winkelgeschwindigkeit wie beim Auto und berechnen den Drehimpulsstrom:

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{1200 \text{ MW}}{3000 \cdot 2\pi \text{ s}^{-1}} = 64\,000 \text{ E/s}$$

Entweder müsste die Winkelgeschwindigkeit so hoch sein, dass es kein Lager aushält. Auch würden die rotierenden Teile auseinanderfliegen.

Oder die Welle müsste so dick sein, damit sie den Drehimpulsstrom aushält, mit der Folge, dass die Baukosten enorm wären.

Auch wäre die Anlage sehr störanfällig.

7.1

Die Quantentheorie löst ein Problem mit Hilfe der Schrödinger-Gleichung. Die Schrödinger-Gleichung ist eine Differenzialgleichung. Die Lösung geschieht in zwei Schritten: Man steckt die Zahlen und Funktionen, die das Problem beschreiben, in die Schrödinger-Gleichung hinein und löst die Gleichung. Die Lösungen sind die Psi-Funktionen. Sie sind Funktionen von Ort und Zeit. Das Auffinden der Psi-Funktionen ist der schwierigere Schritt. Die Psi-Funktionen selbst sind noch nicht sehr nützlich. Erst in einem zweiten, mathematisch einfacheren Schritt berechnet man aus den Psi-Funktionen die interessierenden Größen: Dichteverteilung des Elektroniums in stationären und nichtstationären Zuständen, die Energie, den Impuls, den Drehimpuls.

7.2

((Die Videos laufen alle gleichzeitig und dauern 30 Sekunden. Nachdem sie zu Ende sind, beginnen sie wieder von vorn. Der Schüler oder die Schülerin hat also Zeit, sich jedes einzelne Video mehrere Male in Ruhe anzuschauen. Die Bildschirme sind von den Tischen, an denen die Schülerinnen und Schüler sitzen, nicht zu sehen. Sie müssen also aufstehen und zu einem der Bildschirme hingehen.))

Video	schnell/langsam?	$\Delta \ell$	Polarisation?	Δm
1	schnell	1	linear	0
2	schnell	1	zirkular	1
3	gar nicht (sehr langsam)	0	–	0
4	langsam	2	linear	0

