

Abiturvorbereitungsklausur Physik im Grundkurs 13.2

Aufgabe 1 (50 Punkte): Kernspaltung und Stromerzeugung im Kernkraftwerk („KKW“)

Im Jahre 2009 befanden sich weltweit 438 Kernkraftwerke, verteilt auf 31 Länder, mit einer Gesamtleistung von rund 393 GW in Betrieb. Sie erzeugten in 2009 zusammen $2,6 \cdot 10^{12}$ kWh an elektrischer Energie. Das erste KKW wurde übrigens bereits 1951 in den USA in Betrieb genommen, derzeit sind weltweit 42 neue im Bau. Überwiegend wird dabei der mit Leichtwasser betriebene Druckwasserreaktor eingesetzt, welcher mit Wasser in einem geschlossenen Primärkreis als einer der sichersten Reaktortypen gilt. Üblicherweise wird als Brennstoff das in der Natur mit etwa 0,7% Anteil vorkommende spaltbare Isotop U-235 eingesetzt.

In Deutschland - einem der Pionierländer und viele Jahre absolut führend auf dem Gebiet der Reaktortechnik - erzeugen zur Zeit noch 17 KKW mit einer Gesamtleistung von 21,5GW elektrischen Strom, das entspricht einem Anteil von knapp 12% am gesamten Primärenergieverbrauch und etwa 23% am Bruttostrom. Der Anteil an der „Grundversorgung“ mit Elektrizität (sog. „Grundlast“) liegt sogar bei fast 50%!

Arbeitsaufträge:

- 1.1 Erläutere anhand einer Skizze den Aufbau und das Arbeitsprinzip eines Kernreaktors (nur „Kern“, nicht Sekundärkreis usw.).
Erkläre dabei besonders die Begriffe „Kernspaltung“, „Kettenreaktion“, „kritische Masse“, „Absorber“ und „Moderator“. (15P)
- 1.2 Neben vielen anderen Produkten werden im Reaktor als Spaltprodukte die Edelgase Kr-89 und Xe-143 jeweils zusammen mit 3 Neutronen erzeugt. Formuliere für beide Reaktionen jeweils die vollständige Reaktionsgleichung. (6P)
- 1.3 Im Reaktor entsteht ebenfalls Iod-131, ein beta minus - Strahler mit einer Halbwertszeit von 8,02d und einer Energie von $E_\beta \approx 200\text{keV}$ (als Maximalenergie) und $E_\gamma = 364\text{ keV}$. Bei Aufnahme mit der Nahrung gelangt das Iod in die Schilddrüse, wo es sich zunächst anlagert.
In der medizinischen Fachliteratur wird der so genannte „Uptake“ von Iod-131 in der Schilddrüse mit $D/A = 0,46\text{ mGy/MBq}$ angegeben, wobei A die anfängliche Aktivität ist.
 - a) Erörtere, ob die Belastung durch die Gammastrahlung für das Schilddrüsengewebe in ihrer Schädlichkeit vergleichbar mit den möglichen Schäden durch die beta- Strahlung ist. (4P)
 - b) Erkläre die Einheit Gy/Bq und rechne diese für obiges Beispiel in Sv/Bq um. (5P)
 - c) Gehe im folgenden von einer Aufnahme von 1mg Iod-131 in die Schilddrüse aus. Berechne dessen Aktivität und daraus mit obiger Angabe den gesamten „Uptake“. Diskutiere, ob diese Dosis kritisch ist. (zum Vergleich: 250mSv gelten als Schwellendosis, 4-7Sv als letal. (5P)
- 1.4 Entwirf ein Experiment zur Bestimmung der Atommassen des nach einiger Betriebsdauer vorliegenden Isotopengemisches in den Brennstäben (Prinzip „Massen- Spektrometer“). Gehe dabei davon aus, dass eine hinreichend große Probe aus dem Brennstab zur Verfügung steht. Strahlenschutzaspekte können hier vernachlässigt werden. Bestimme dabei formelmäßig aus den von Dir gewählten Parametern und Messgrößen die Nuklidmasse. (15P)

Zusätzliche Informationen:

Strahlungsart:	Photonen	Elektronen	Neutronen	Protonen	Alphateilchen
Wichtungsfaktor q:	1	1	5 - 20	5	20

Aufgabe 2 (40 Punkte): Erzeugung und Umwandlung von Elektrizität

a) Vorgaben:

James Maxwell formulierte bereits im 19. Jahrhundert seine nach ihm benannten Feldgleichungen, welche elektrische und magnetische Felder miteinander koppeln. Seine Theorie des Elektromagnetismus zeigt, dass zeitliche veränderliche elektrische und magnetische Felder stets gemeinsam auftreten. Diese Theorie ist ein wundervolles Beispiel dafür, wie es gelingt, die vielfältigen Erscheinungen eines großen Gebietes der Physik in wenigen Gleichungen zu vereinigen und daraus deduktiv quantitative Aussagen über Einzelerscheinungen der Elektrodynamik ableiten zu können.

Im folgenden sind besonders die Folgerungen aus seinen Gleichungen relevant, welche das Entstehen eines Magnetfeldes aus elektrischen Strömen beschreibt und das Induktionsgesetz.

In jedem Wärmekraftwerk - also auch im KKW - wird Wärmeenergie über den Umweg „Wasserdampf“ in mechanische Energie umgewandelt. Das geschieht mittels Turbinen, welche dann wiederum einen Generator drehen. Dieser besteht aus ruhenden, Felderzeugenden Elektromagneten („Stator“), vor welchen sich Spulen („Rotor“) drehen.

Arbeitsaufträge:

- 2.1 Betrachte einen Stator mit folgender Geometrie: Durchmesser 1m, Länge 4m, 100 Windungen, gefüllt mit Weicheisen ($\mu_r=1.500$). Durch diesen wird nun ein Gleichstrom geschickt, welcher eine magnetische Feldstärke von 1T im Inneren der Spule erzeugt.
Berechne für die gegebene Geometrie die Induktivität L , die benötigte Stromstärke I für das angegebene Magnetfeld und die magnetische Feldenergie.
- 2.2 Skizziere für eine derartige Spule das resultierende Magnetfeld (Feldliniendarstellung) und erläutere die wesentlichen Unterschiede zwischen elektrischem und magnetischen Feld.
- 2.3 Vor der Stator - Spule dreht sich nun eine zweite, identische Spule als Rotor mit einer Periodendauer von 0,02sec. Randeffekte sollen vernachlässigt werden, das Feld der Statorspule aus 2.1 kann also im gesamten relevanten Raumbereich als homogen angesehen werden. Berechne den maximalen magnetischen Fluss durch die Rotorsspule und die darin induzierte Spannung $U_{ind}(t)$.
- 2.4 Neben Spulen spielen in der Elektrotechnik auch Kondensatoren eine wichtige Rolle, welche nicht auf magnetischen, sondern auf elektrischen Feldern aufbauen. Ein Plattenkondensator (Durchmesser der kreisförmigen Platten 30cm im Abstand von 1mm, dazwischen ein Dielektrikum mit $\epsilon_r=80$) wird nun mit einer externen Spannungsquelle auf -200V aufgeladen. Danach wird diese entfernt und bei $t=0$ beginnt sich der Kondensator über einen externen Widerstand von $9\text{k}\Omega$ zu entladen.
 - a) Berechne die Kapazität des Kondensators und die anfängliche Ladung
 - b) Stelle die zugehörige DGL nach Kirchhoff für diese Anordnung auf und zeige, dass die Kondensatorspannung einem Gesetz der Form $U_C(t) = U_{C0} \cdot \exp(-t/\tau)$ gehorcht. Bestimme für diese Anordnung den erwarteten Wert für τ und die maximale Stromstärke I_0
 - c) Der Entladestrom wird gemessen. Stelle die folgenden Werte in geeigneter Form graphisch dar und werte sie bezüglich I_0 und τ aus. Bestimme daraus R und C . Vergleiche mit den „theoretischen Werten“ aus Teil b) und interpretiere eventuelle Abweichungen.

Zeit t in msec	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
Strom $I(t)$ in mA	13,5	9,1	6,1	3,9	2,7