

1. Aufgabe: Radioaktivität und Kernphysik (50 Punkte)

Derzeit befinden sich weltweit 437 Kernkraftwerke („KKW“) in 31 Ländern im Einsatz, davon 58 in Frankreich und 10 in Schweden. Weltweit sind zudem 68 KKW im Bau. In Deutschland sind nur noch 9 KKW in Betrieb. Diese sollen aber in den nächsten Jahren vom Netz gehen und durch regenerative Energiequellen ersetzt werden. Die installierte Leistung beträgt weltweit 393 GW, in Deutschland derzeit nur noch 13GW. Zum Vergleich: Ein einzelnes großes Windrad liegt bei bestem Wind im 3 MW-Bereich...

Im KKW wird spaltbares Material (üblicherweise U-235) durch Neutronen in leichtere Spaltelemente und weitere freie Neutronen gespalten, wobei durch direkte Umwandlung von Masse sehr viel Energie frei wird. Im laufenden Betrieb eines Reaktors entstehen dabei zahlreiche unterschiedliche Isotope. Ein großer Teil der Spaltprodukte ist selber wieder instabil und zerfällt mit charakteristischen Halbwertszeiten und Energiewerten weiter. Diese Isotope werden oft aufbereitet und finden in Medizin und Forschung Verwendung.

1. Erläutere anhand einer Skizze das Prinzip der Kernspaltung für das Beispiel des U-235 und gehe dabei auf die Begriffe „Kettenreaktion“; „kritische Masse“ und „Moderatoren“ ein. (6P)
2. Gebe die formalen Zerfallsgleichungen eines Elementes A in ein Tochternuklid B für den Alpha- und den Beta-Zerfall an. (4P)
3. Skizziere und erläutere das Energiespektrum von Beta-Strahlung. (4P)
4. Beschreibe einen möglichen Versuchsaufbau unter Verwendung eines einfachen Zählrohrs, um bei einer unbekannten radioaktiven Quelle möglichst schnell zu entscheiden, um welche Art von ionisierender Strahlung es sich handelt. (6P)
5. Berechne die Masse, die pro Sekunde in Energie umgewandelt wird, wenn durch die Kernspaltung 1GW an Wärmeleistung freigesetzt wird. (4P)
6. Im KKW befinden sich neben dem spaltbaren Material zahlreiche stark aktive Tochternuklide. Nach dem Abschalten der Kettenreaktion durch die Absorber produzieren diese eine große Menge an Abwärme, welche fortgeschafft werden muss. Berechne mit den folgenden Angaben die Erwärmung des Reaktorwassers pro Tag nur aufgrund des kurzlebigen α -Strahlers Ra-226. Weitere Isotope bleiben in dieser Rechnung unberücksichtigt. Zur Vereinfachung können zudem dabei alle Tochterzerfälle und die Wärmekapazitäten der Brennstäbe usw. außer Acht gelassen werden. Im Reaktor befindet sich dabei insgesamt 100kg reines Ra-226, welches in einem Becken von 5000 m³ Wasser umgeben ist. Ra-226 hat eine Halbwertszeit von 1600a und die Zerfallsenergien $E_{\alpha}=4,784 \text{ MeV}$ und $E_{\gamma}=0,186 \text{ MeV}$. Die Dichte von Wasser kann mit $\rho(\text{H}_2\text{O})=1000 \text{ kg/m}^3$ angenommen werden, die spezifische Wärmekapazität zu $c(\text{H}_2\text{O})=4,186 \text{ J/(g}\cdot\text{K)}$. (6P)
7. Anhand eines Strontium-Präparates sollen die ersten beiden der drei Regeln des Strahlenschutzes („Abstand groß“, „Abschirmen“, „Aufenthaltsdauer kurz“) quantitativ untersucht werden. Dazu wurde die β -Strahlung eines Sr-90-Präparates unbekannter Aktivität mittels eines verschiebbaren Zählrohres für verschiedene Abstände r von der Quelle gemessen. Die Messungen wurden am 10.02.2014 am I. Physikalischen Institut der RWTH Aachen durchgeführt.



Es ergeben sich folgende gemittelten Zählraten für die verschiedenen Abstände:

r in mm	30	40	50	70	100	120
Zählrate R in cps	126,54	77,09	52,32	27,66	14,55	9,80

Trage die Messwerte in geeigneter Form graphisch auf und bestätige so GRAPHISCH, dass die Strahlungsintensität R umgekehrt zum Quadrat des Abstandes von der Quelle ist. Die empfindliche Zählrohrfläche beträgt $A=0,6\text{cm}^2$. Bestimme mit Hilfe des Graphen und der Fläche die Aktivität $A_{\text{Sr-90}}$ der Probe. (10P)

8. In einem zweiten Versuchsteil wird bei konstantem, kleinem Abstand zwischen Quelle und Zählrohr Aluminium- bzw. Kupferblech unterschiedlicher Dicke als Absorber positioniert. Durch Kombination verschiedener Schichtdicken wurden auch die folgenden Werte für die jeweiligen Zählraten R am 10.02.2014 an der RWTH Aachen gemessen:

Verschieden dicke Platten auf Schiebern werden einzeln oder kombiniert in den Strahlengang geschoben



Zählrate R im Abstand von 35mm (konstant), Messzeit über 100sec gemittelt, Quelle: Sr-90 (β^- -Strahler), Absorber: Aluminium bzw Kupferbleche									
AI	Dicke in mm	0,10	0,50	0,60	1,00	1,10	1,50	1,60	2,00
	Zählrate R in cps	79,01	42,52	33,15	21,54	19,42	9,54	8,22	4,43
Cu	Dicke in mm	0,03	0,05	0,08	0,10	0,13	0,15		
	Zählrate R in cps	66,6	61,88	47,71	45,17	37,47	34,34		

Verifiziere für Aluminium und Kupfer das Absorptionsgesetz $I(x) = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$ mit der durchstrahlten Schichtdicke x und dem materialabhängigen Absorptionskoeffizient μ durch geeignete Auftragung der gemessenen Zählraten gegen die Schichtdicken. Bestimme GRAPHISCH dabei μ_{Al} und μ_{Cu} und prüfe, ob die Faustformel $\mu/\rho \approx \text{konstant}$ hier erfüllt wird ($\rho_{Al}=2,7 \text{ g/cm}^3$, $\rho_{Cu}=9,0 \text{ g/cm}^3$). (10P)

2. Aufgabe: Das Wärmekraftwerk - Stromerzeugung mittels Stirling-Motor, Generator und Transformator (50 Punkte)

1. In einem KKW wird mittels durch Kernspaltung freigesetzter Energie nun ein großes Wasserbad unter hohem Druck auf eine hohe Temperatur gebracht. Anstelle der großen Dampfturbinen soll nun ein klassischer Stirling-Motor zum Antreiben des Generators verwendet werden. Der Stirling-Motor verkörpert weitgehend den idealen Carnot'schen Kreisprozess und kann deshalb thermodynamisch recht einfach beschrieben werden. Der betrachtete Stirling-Motor hat ein minimales Volumen von 20 Litern („Oberer Totpunkt OT“) und ein maximales von 100 Litern („Unterer Totpunkt UT“). Der Druck bei $T=0^\circ\text{C}$ beträgt am UT 1000hPa.

Zeichne und beschreibe diesen (!) idealen Carnot'schen Kreisprozess und bestimme seinen thermischen Wirkungsgrad η . Gehe dabei davon aus, dass das Reaktorwasser als Wärmereservoir auf 400°C erwärmt ist und das Kühlwasser mit 0°C aus dem nahen Gletscherfluss stammt. (14P)

2. Bestimme mit diesen Angaben die von unserem großen Stirling-Motor pro Arbeitszyklus verrichtete mechanische Arbeit und die aufgenommene und die abgegebene Wärmeenergie. Bestimme die mittlere Nutzleistung des Motors, wenn er mit 10 Umdrehungen pro Minute läuft. (8P)
3. Der oben beschriebene Stirling-Motor wird in Gang gesetzt und beginnt, einen Generator zu drehen. Dieser besteht aus einer ruhenden Erregerspule („Stator“), welche einen Eisenkern besitzt und von konstantem Gleichstrom durchflossen wird und so das benötigte Magnetfeld erzeugt. Vor dieser Erregerspule dreht sich nun eine weitere Spule („Rotor“) als Erzeugerspule mit 50 Hz.

Die Spulen weisen folgende Geometrien auf: Beide haben die Wicklungszahl $n=100$, beide die Länge $l=50\text{cm}$, beide einen Durchmesser von 10cm. Die Erregerspule ist mit einem Eisenkern mit $\mu_r=100$ ausgefüllt.

- a. Berechne unter korrekter Umformung der Einheiten und unter der Annahme einer idealen Spule das erzeugte Magnetfeld. (4P)
- b. Berechne unter korrekter Umformung der Einheiten die in der drehenden Erzeugerspule induzierte Spannung unter der Annahme, dass das oben beschriebene Magnetfeld den gesamten Bereich homogen durchdringt. (4P)
- c. Durch eine technische Panne bricht der Strom in der Erregerspule zusammen und geht in 10msec gleichmäßig auf null zurück. Beschreibe den Effekt auf die Generatorenspannung und berechne die maximal mögliche Spannungsspitze bei „unglücklicher“ Phasenlage. (4P)

4. Zum Transport der elektrischen Energie zum Verbraucher ist es aufgrund der unvermeidlichen Leitungsverluste ($P_{\text{Verlust}} = R_{\text{Leitung}} \cdot I^2$) sinnvoll, die Spannung möglichst hoch zu machen und so bei gleicher Leistung weniger Strom zu benötigen. Beschreibe den großen Vorteil, welche Wechselspannung hier bietet und erläutere den Transformator physikalisch-qualitativ. (8P)
5. Führe zum Vergleich der elektrischen Leitungsverluste folgende Modellrechnung durch: Eine Hochspannungstrasse von der Nordsee nach Stuttgart hat eine Länge von etwa 900km. Die Leitungen werden aus Kostengründen aus gewickelten Eisendrähten gemacht, diese weisen einen Durchmesser von 10cm auf. Ein Offshore-Windpark liefert nun 100MW an elektrischer Leistung. Diese soll möglichst verlustfrei im Porschewerk bei Stuttgart ankommen. Berechne die Verluste bei einer Hochspannung von 150kV und bewerte das Ergebnis. Eisen hat einen spezifischen Widerstand von $\rho_{\text{Fe}} = 0,12 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$. (8P)

GAT INTERN