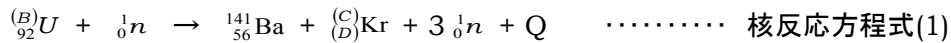


入試問題研究 第52回 1998年 鹿児島大学 4 改作

次の文章を読んで下の各問に答えなさい。

天然ウラン U の同位体 ${}^{235}_{92}\text{U}$ と ${}^{238}_{92}\text{U}$ のうち、 ${}^{(A)}_{92}\text{U}$ は 99.3% も存在するが、 ${}^{(B)}_{92}\text{U}$ は 0.7% しかない。しかし、これを 5~20% に濃縮して原子炉の燃料として用いている。原子炉の中では、 ${}^{(B)}_{92}\text{U}$ は遅い中性子(室温付近の温度と平衡なもので、熱中性子と呼ばれている)を吸収して、例えば、次のように分裂する。



この核反応の場合、①約 200MeV のエネルギー Q が放出される。

このようなウランの核分裂のエネルギーが原子力発電に利用されている。1回の核分裂反応で 2~3 個の中性子が発生する。分裂直後の中性子はエネルギーが大きく速中性子と呼ばれているが、水や黒鉛などで減速すると熱中性子になる。この熱中性子が次のウランに吸収されて次々と連鎖的に分裂が継続される。ただし、電気素量 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、光の速さ $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ とする。

問1.上の空欄 (A)、(B)、(C)、(D) に適当な数値を入れなさい。

問2.①のエネルギーが放出されたときの質量欠損はいくらになるか。

熱中性子のエネルギーと速度を考えてみよう。原子炉内の温度を T としよう。中性子の場合も、この温度での気体分子のエネルギーや速度と同じように考えて計算することができる。

問3.中性子の質量を m、ボルツマン定数を k とすると、2乗平均速度 $\sqrt{v^2}$ はどのような式になるか。

k、m、T を使って表しなさい。

すべての中性子がこの速度になっているわけではなく、この速度を平均として、ある速度分布をしている。中性子は電子と同じように波動性を示すので、波長を計算できる。原子炉の炉壁に穴をあけて中性子を原子炉の外に取り出して、2乗平均速度 $\sqrt{v^2}$ の中性子だけを選び出し、結晶(格子格子の面間隔 d [m])に当てて、強く反射される。入射中性子の進行方向から角度 θ ずれた向きに反射された。

問4.その中性子の波長 λ はどのような式で計算できるか。プランク定数 h、中性子の質量 m、中性子の2乗平均速度 $\sqrt{v^2}$ などを用いて表しなさい。

問5.具体的に2乗平均速度 $\sqrt{v^2}$ や、波長 λ の値を有効数字2けたで求めなさい。また、単位も書きなさい。ただし、ボルツマン定数 $k = 1.4 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ 、プランク定数 $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ Js}$ 、中性子の質量 $m = 1.7 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 、温度 $T = 365 \text{ K}$ (ただし、気体定数を R、アボガドロ数を N_0 とするとボルツマン定数 $k = R/N_0$) とする。

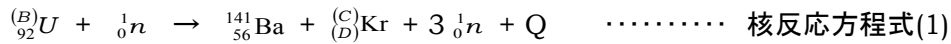
問6.波長 λ と、入射 X 線と反射 X 線の間の角度差 θ とするとき、 λ と θ の関係式を示しなさい。

問7.古典的には粒子と考えられていた中性子が、回折という波動性を示す現象を起こしている。これとは逆に、古典的には波動として扱われていた光や X 線が、粒子性を示す現象を起こしている例を2つ上げなさい。

入試問題研究 第52回 1998年 鹿児島大学 4 改作 (解答・解説)

次の文章を読んで下の各問に答えなさい。

天然ウランUの同位体 ${}_{92}^{235}\text{U}$ と ${}_{92}^{238}\text{U}$ のうち、 $(A)_{92}\text{U}$ は99.3%も存在するが、 $(B)_{92}\text{U}$ は0.7%しかない。しかし、これを5~20%に濃縮して原子炉の燃料として用いている。原子炉の中では、 ${}_{92}^{235}\text{U}$ は遅い中性子(室温付近の温度と平衡なもので、熱中性子と呼ばれている)を吸収して、例えば、次のように分裂する。



この核反応の場合、①約200MeVのエネルギーQが放出される。

このようなウランの核分裂のエネルギーが原子力発電に利用されている。1回の核分裂反応で2~3個の中性子が発生する。分裂直後の中性子はエネルギーが大きく速中性子と呼ばれているが、水や黒鉛などで減速すると熱中性子になる。この熱中性子が次のウランに吸収されて次々と連鎖的に分裂が継続される。ただし、電気素量 $e=1.6\times 10^{-19}$ C、光の速さ $c=3.0\times 10^8$ m/s とする。

問1.ウランの同位体の内、核分裂するウランは ${}_{92}^{235}\text{U}$ で、自然界には非常に少ない。したがって、 $A=238$ 、 $B=235$ である。核反応方程式の両辺の原子番号(陽子の数)の和が等しいから、 $92+0=56+D+3\times 0$ より、 $D=36$ になる。また、質量数(陽子、中性子の総数)が等しいから、 $B+1=141+C+3\times 1$ だから、 $C=92$ である。

問2.放出されるエネルギー200MeVのエネルギーは $200\times 10^6\times 1.6\times 10^{-19}=3.2\times 10^{-11}$ Jになる。質量欠損(質量の減少量)を m とすると、放出されるエネルギーは $E=mc^2$ になるから、 $3.2\times 10^{-11}=m\times (3.0\times 10^8)^2$ である。よって、 $m=3.6\times 10^{-27}$ kgになる。

問3.単原子分子理想気体の分子運動論より、 $\frac{1}{2}m(\sqrt{v^2})^2 = \frac{3}{2}kT$ であるから、 $\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$ になる。

問4.ドブロイの物質波の公式 $\lambda = \frac{h}{mv}$ より、その中性子の波長は $\lambda = \frac{h}{m\sqrt{v^2}}$ である。

問5.具体的に2乗平均速度は $\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$ より、 $\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3\times 1.4\times 10^{-23}\times 365}{1.7\times 10^{-27}}}$ だから、
 $\sqrt{v^2} = 3.00\times 10^3$ [m/s] である。波長は $\lambda = \frac{h}{m\sqrt{v^2}}$ より、 $\lambda = \frac{6.6\times 10^{-34}}{1.7\times 10^{-27}\times 3.0\times 10^3}$ だから、
 $\lambda = 1.29\times 10^{-10}$ [m] である。

問6.ブラッグ反射の公式より $2d\sin\theta = n\lambda$ (n は整数) である。また、入射方向と反射方向の間の角度は 2θ になるので、 $2d\sin\frac{\theta}{2} = n\lambda$ (n は整数) である。

問7.古典的には波動として扱われていた光やX線が、粒子性を示す現象は、代表的なものとして、「光電効果」、「コンプトン散乱」、「発生X線の最短波長」などがある。

