

1. X線の発生について、以下の問いに答えよ。

(1) ターゲットとフィラメントの間に電圧  $E$  が印加された X 線管を考える。

a) X 線管からは発生の機序が異なる 2 種類の X 線が発生する。これら 2 つの名称を述べ、それぞれの波長の特徴に関して説明せよ。

b) このときに発生する X 線の最小波長  $\lambda_{\min}$  を示せ。但し、プランク定数を  $h$ 、光速を  $c$ 、電気素量を  $e$  とする。

(2) K 殻、L 殻の軌道電子の結合エネルギーがそれぞれ  $E_K$  と  $E_L$  である原子について考える。この原子核が軌道電子捕獲を起こして K 軌道に空孔を生じた。

a) この原子からは X 線が放出される場合がある。このときの X 線のエネルギーを示せ。

b) この原子からは電子が放出される場合がある。この電子の名称を答えよ。また、その電子の放出エネルギーを示せ。

2. エネルギーが  $E_\gamma$  [keV] の光子が単一の原子 (原子番号  $Z$ ) の物質から作られた検出器に入射したときを考える。以下の問いに答えよ。但し、この原子の K 殻、L 殻の軌道電子の結合エネルギーをそれぞれ  $E_K$  [keV] と  $E_L$  [keV] とする。

(1) 光電効果が発生するための条件を示せ。

(2) 電子対生成が発生するための条件を示せ。

(3) これらの光子と検出器間において、光電効果とコンプトン散乱の発生確率が等しかった。検出器の材料に原子番号が  $2Z$  の物質を用いたとき、光電効果とコンプトン散乱の発生確率の比を答えよ。

(4)  $Z=82$ 、 $E_\gamma=90\text{keV}$  のとき、質量減弱係数の値が  $7\text{cm}^2/\text{g}$  であった。光子の検出器内での減弱が K 殻電子との光電効果のみによって生じるとした場合、1 原子当たりの相互作用断面積を求めよ。但し、この原子の原子量は 208、アボガドロ定数は  $6 \times 10^{23}\text{mol}^{-1}$ 、 $E_K=88\text{keV}$  とする。

3. 荷電粒子と物質の相互作用について、以下の問いに答えよ。

(1) 2 種類の重荷電粒子、A (質量:  $m_A$ 、原子番号:  $Z_A$ )、B (質量:  $m_B$ 、原子番号:  $Z_B$ ) がある物質に同一速度で入射しところ、それぞれの飛程は  $R_A$ 、 $R_B$  であった。 $Z_A=2Z_B$  のとき、 $R_A \approx R_B$  となる条件を答えよ。

(2) ある物質中における 10MeV の  $\alpha$  線と 1MeV の陽子線の阻止能をそれぞれ  $S_\alpha$ 、 $S_p$  とする。 $S_\alpha/S_p$  を求めよ。

(3) 屈折率が  $n$  の物質に荷電粒子が入射したところチェレンコフ光が発生した。チェレンコフ光の発生機構について説明するとともに、これが発生するための物質中の荷電粒子の速度の条件を示せ。但し、光速を  $c$  とする。

4. 加速器について、以下の問いに答えよ。

(1) 荷電粒子を加速する電場の観点から加速器を分類したとき、コッククロフト・ウォルトン加速器やバンデグラーフ加速器などの加速器群は、直線加速器やサイクロトロンなどとは異なった種類に分類される。これら 2 つの種類の違いについて説明せよ。

(2) 陽子と  $\alpha$  粒子を  $E$  ( $E>0$ ) [MV] の電位差で加速した。加速後のそれぞれの速度  $v_p$ 、 $v_\alpha$  の関係を求めよ。

5. 次のような放射線の計測体系を考える。単色の  $\alpha$  線が発生している放射線場にパルスモードで動作しているガス入り検出器を設置した。検出器は電荷有感型増幅器に接続されており、この増幅器によって検出器からの電流信号は電圧信号 (以下、パルスと呼ぶ) に変換されている。検出器に動作電圧  $E$  [V] を印加し、発生するパルスをオシロスコープで観察する実験を行った。動作電圧を  $E_1 \leq E \leq E_2$  の範囲で変化させたとき、いずれの電圧においてもパルスの時間当たりの発生頻度には変化が無く、また、観測されたパルスの波高値は常にほぼ一定であった。以下の問いに答えよ。

(1) 動作電圧を  $E_1$  から徐々に降下させたところ、観測されるパルスに変化が生じた。この時生じると考えられる変化の内容と、その理由を述べよ。

(2) 動作電圧を  $E \gg E_2$  としたところ、パルスの時間当たりの発生頻度が大幅に増加した。この考えられる原因を説明せよ。

6. 放射線測定について、以下の問いに答えよ。

(1) 3 MeV の  $\gamma$  線に対して 15% のエネルギー分解能を持つ NaI 検出器を用いて 3 MeV の  $\gamma$  線を放出する線源 X のエネルギースペクトルを測定した。

a) 全吸収ピークの半値幅 [MeV] を求めよ。

b) 全吸収ピークのほかにエネルギースペクトル上で確認される可能性があるピークのエネ

ルギーを全て挙げよ。

(2) 放射線検出器の近傍に線源を近づけて 10 秒間の計測を行ったところ 1000 カウントの計数が得られた。その後、線源を十分に遠ざけて、再度 100 秒間の計測を行ったところ、100 カウントの計数が得られた。

- a) 正味の計数率を求めよ。
- b) 正味の計数率の持つ誤差を求めよ。

7. 生物に対する放射線の分子レベルでの影響について、以下の問いに答えよ。

(1) 低 LET 放射線では間接作用による DNA 損傷が主となる理由を説明せよ。

(2) ある溶液に低 LET 放射線と高 LET 放射線を照射すると、溶質の濃度と不活性分子の関係はそれぞれどのようなようになるか図示せよ。

8. 生物に対する放射線の細胞レベルの影響について、以下の問いに答えよ。

(1) 1 標的 1 ヒットモデルの生存率  $S$  は線量を  $D$  とすると  $S = \exp(-D/D_0)$  で与えられる。

- (a) 1 標的 1 ヒットモデルから多標的 1 ヒットモデルの生存率  $S$  を導出せよ。
- (b) 多標的 1 ヒットモデルにおいて、線量  $D$  が  $D_0$  よりも十分に高い線量域のときの縦軸に対数目盛で生存率  $S$  を、横軸に線形目盛で線量  $D$  とした曲線の傾きを求めよ。

7. 生物に対する放射線の臓器/組織および個体レベルの影響について、以下の問いに答えよ。

(1) 全身あるいは身体のかなり広い範囲が、1Gy 以上の放射線を短時間で被ばくした場合に生じる一連の症状を急性放射線症という。

- (a) LD50(60)とはどのような線量のことか説明せよ。
- (b) がんの放射線治療では、1Gy 以上の放射線を分割照射する。酸素効果について、分割照射の利点を説明せよ。

8. 体内被ばくについて、以下の問いに答えよ。

(1) 体内に取り込まれたある放射性核種の放射能が 1 年でちょうど 16 分の 1 に減少した。この放射性核種の物理的半減期が 2 年である。

- (a) 生物学的半減期[日]を求めよ。

(b)放射性核種を体内摂取した直後に適切な処置をとり体外排泄を促進した結果、放射性核種の放射能が1年で32分の1に減少した。この処置による吸収線量の低減が何%か求めよ。