

令和 7 年度

第 1 種放射線取扱主任者試験

問題と解答例

物理学

解答例は公益社団法人日本アイソトープ協会放射線安全取扱部会が解答の一案として作成したものです。

次の問1から問30について、5つの選択肢のうち適切な答えを1つだけ選び、また、問31、問32の文章の□部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選び、注意事項に従って解答用紙に記入せよ。

問1 0.024 eV の中性子の速度[m・s⁻¹]として最も近い値は、次のうちどれか。ただし、中性子の質量は 1.7×10^{-27} kg とする。

- 1 2.1×10^{-1}
- 2 2.1×10
- 3 2.1×10^3
- 4 2.1×10^5
- 5 2.1×10^7

〔解答〕 3

〔解説〕 $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ および運動エネルギー $E = mv^2/2$ より、

$$v = \left(\frac{2 \times 0.024 \times 1.6 \times 10^{-19}}{1.7 \times 10^{-27}} \right)^{\frac{1}{2}} = 2.1 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

問2 液体アルゴンから生じるシンチレーション光の最大発光波長は、約 130 nm である。この波長をもつ光子のエネルギー[eV]として最も近い値は次のうちどれか。

- 1 4.0
- 2 6.0
- 3 8.0
- 4 10
- 5 12

〔解答〕 4

〔解説〕 光の波長λとエネルギーEの関係式 $E = hc/\lambda$ およびプランク定数 $h = 4.13 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$ 、光速度 $3.0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ より、

$$E = \frac{4.13 \times 10^{-15} \times 3.0 \times 10^8}{130 \times 10^{-9}} = 9.5 \approx 10 \text{ eV}$$

問3 $E=mc^2$ の式に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。ただし、Eはエネルギー、mは質量、cは光速度を表す。

- A 相対性理論におけるエネルギーと質量の等価性を表す。
- B 力の単位である（ニュートン）を用いると、Eの単位は N・m になる。
- C 電子の静止エネルギーは $8.19 \times 10^{-14} \text{ J}$ である。
- D 1u（統一原子質量単位）は 938.3 MeV に相当する。

- 1 ABC のみ
- 2 ABD のみ
- 3 ACD のみ
- 4 BCD のみ
- 5 ABCD すべて

〔解答〕 1

〔解説〕

- A : 正 $E = mc^2$ は相対性理論におけるエネルギーと質量の等価性を表す。
- B : 正 1 N の力が物体を 1 m 動かすときの仕事が 1 J であり、エネルギーの単位は[N・m]で表すことができる。
- C : 正 電子の静止エネルギーは $E = mc^2 = 9.1 \times 10^{-31} \times (3 \times 10^8)^2 = 8.14 \times 10^{-14}$ J となる。
- D : 誤 1 u は 931.5 MeV に相当する。

問4 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 内部転換では、ニュートリノは放出されない。
- B 内部転換に伴って特性X線が放出されることがある。
- C オージェ効果によりオージェ電子とニュートリノが放出される。
- D K電子捕獲に伴ってオージェ電子が放出されることはない。

1 A と B 2 A と C 3 B と C 4 B と D 5 C と D

〔解答〕1

〔解説〕

- A : 正 励起状態にある原子核が基底状態に落ちる時、 γ 線を放出せず、そのエネルギー差が原子の軌道電子に与えられる現象を内部転換とよぶ。 β^- 壊変と異なり、ニュートリノは放出されず、放出される内部転換電子は単色のエネルギースペクトルとなる。
- B : 正 内部転換によって内殻の軌道に空孔が生じると、より外側の軌道電子がこの空孔へ遷移する。このとき、特性X線が放出されることがある。
- C : 誤 内殻の軌道に空孔が生じた際、より外側の軌道電子がこの空孔へ遷移するが、このときの軌道電子のエネルギー差が別の軌道電子に移行し、電子が放出される現象をオージェ効果とよぶ。このとき、放出される電子をオージェ電子とよぶ。オージェ効果ではニュートリノは放出されない。
- D : 誤 K電子捕獲では内殻に空孔が生じるため、オージェ電子が放出されることがある。

問5 陽電子に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 電子の鏡像体である。
- B 消滅光子のエネルギーは、ドップラー効果により広がりを持つ。
- C 電子と陽電子の対消滅に際して、3個の光子を放出することがある。
- D 真空中では安定である。

1 ACD のみ 2 AB のみ 3 AC のみ 4 BD のみ 5 BCD のみ

〔解答〕5

〔解説〕

- A : 誤 陽電子は電子の反粒子である。
- B : 正 陽電子と電子が対消滅した際に放出されるガンマ線のエネルギーは、対消滅時の陽電子と

電子の重心運動を反映したドップラー効果により広がりを持つ。

C: 正 陽電子と電子が対消滅した際に3個の光子を放出することがある。特に、陽電子と電子が束縛してポジトロニウムを形成し、三重項状態のときには3光子消滅が支配的となる。

D: 正 陽電子は真空中で安定である。

問6 中性子に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

A スピンは1/2である。

B 鉄の安定同位体の原子核では陽子より数が少ない。

C 陽子より重い。

D 原子核の外では β^- 壊変する。

1 ACDのみ 2 ABのみ 3 BCのみ 4 Dのみ 5 ABCDすべて

〔解答〕1

〔解説〕

A: 正 中性子のスピンは1/2である。

B: 誤 鉄の安定同位体 ^{56}Fe （天然存在比：91.754%）では陽子数26、中性子数30であり、中性子数の方が多い。一般に、安定同位体では中性子数は陽子数に比べて等しいか、多い傾向にある。

C: 正 中性子の質量は $939.565 \text{ MeV}/c^2$ で、陽子の質量 $938.272 \text{ MeV}/c^2$ より重い。

D: 正 中性子は単独では不安定で、原子核の外では半減期12.5分で β^- 壊変して陽子に変わる。

問7 7.5年前に A_1 であった ^{137}Cs の放射能が、現在 A_0 に減衰した。現在から15年後の放射能を A_2 とすると、 A_2/A_1 の比に最も近い値は次のうちどれか。ただし、 ^{137}Cs の半減期を30yとする。

1 0.40 2 0.50 3 0.60 4 0.70 5 0.80

〔解答〕3

〔解説〕放射能 A_1 が7.5年で A_0 に変化に変化したので、

$$A_0 = A_1 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{7.5}{30}}$$

と表せる。15年後の放射能 A_2 は

$$A_2 = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{15}{30}}$$

であるから、

$$\frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{15}{30} + \frac{7.5}{30}} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{3}{4}} = 0.595 \approx 0.60$$

問8 β^+ 壊変における壊変前後の全質量変化を表す式として適切なものはどれか。ただし、原子番号

が Z 、中性子数が N の原子の質量を $M(Z,N)$ と表すものとし、電子の質量を m_e とする。

- 1 $M(Z,N) - M(Z-1,N+1)$
- 2 $M(Z,N) - M(Z+1,N-1)$
- 3 $M(Z,N) - M(Z-1,N+1) - m_e$
- 4 $M(Z,N) - M(Z-1,N+1) - 2m_e$
- 5 $M(Z,N) - M(Z+1,N-1) - m_e$

〔解答〕 4

〔解説〕 β^+ 壊変では、核電荷 Z 、中性子数 N の原子が核電荷 $Z-1$ 、中性子数 $N+1$ に変化し、陽電子を放出する。原子の質量を $M(Z,N)$ とすると、壊変前に Z 個の電子が存在する。壊変後の原子の質量 $M(Z-1,N+1)$ には $Z-1$ 個の電子が考慮されていることを念頭におくと、 β^+ 壊変前後の全質量変化は

$$M(Z,N) - M(Z-1,N+1) - 2m_e$$

と表せる。

問 9 荷電粒子の加速に直流電場を用いる加速器として正しいものの組合せは、次のうちどれか。

- A サイクロトロン
- B コッククロフト・ワルトン型加速器
- C ファン・デ・グラーフ型加速器
- D 直線加速器(リニアック)

1 ACD のみ 2 AB のみ 3 BC のみ 4 D のみ 5 ABCD すべて

〔解答〕 3

〔解説〕

- A : 誤 サイクロトロンでは交流（高周波）電場によって粒子を加速する。
- B : 正 コッククロフト・ワルトン型加速器では直流電場で加速する。
- C : 正 ファン・デ・グラーフ型加速器では直流電場で加速する。
- D : 誤 直線加速器（リニアック）では交流（高周波）電場によって粒子を加速する。

問 10 次のうち正しいものの組み合わせはどれか。

- A 電子直線加速器では、加速管内の高周波電界により電子を加速する。
- B サイクロトロンでは、ディー型電極内で粒子を回転させて加速する。
- C コッククロフト・ワルトン型加速器では、回転する絶縁ベルトで電荷を運び高電圧を得る。
- D 放射光施設では、シンクロトロンと同様な構造を有する蓄積リングを用いて、高エネルギーの電子を蓄積、周回させながら偏向電磁石より放射光を取り出す。

1 ABD のみ 2 AB のみ 3 AC のみ 4 CD のみ 5 BCD のみ

〔解答〕 1

〔解説〕

- A : 正 電子直線加速器では高周波電界により電子を加速する。
B : 正 サイクロトロンではディー電極に高周波電場を発生させ、粒子を加速する。
C : 誤 回転する絶縁ベルトで電荷を運び高電圧を得る機構を組み込んだ加速器をファン・デ・グラーフ型加速器と呼ぶ。
D : 正 放射光施設ではシンクロトロンと同様に高エネルギーの電子を周回させ、偏向電磁石により放射光を取り出す。

問 11 次の核反応の式のうち、誤っているものはどれか。

- 1 ${}^6\text{Li}(\text{n}, \alpha){}^3\text{H}$
2 ${}^{20}\text{Ne}(\text{d}, \alpha){}^{18}\text{F}$
3 ${}^{32}\text{S}(\text{n}, \text{p}){}^{32}\text{P}$
4 ${}^{59}\text{Fe}(\text{n}, \gamma){}^{60}\text{Co}$
5 ${}^{235}\text{U} + \text{n} \rightarrow {}^{92}\text{Sr} + {}^{142}\text{Xe} + 2\text{n}$

〔解答〕 4

〔解説〕

- 1 : 正 (n, α) では、質量数が3減少し、原子番号が2減少する。
2 : 正 (d, α) では、質量数が2減少し、原子番号が1減少する。
3 : 正 (n, p) では、質量数が変化せず、原子番号は1減少する。
4 : 誤 (n, γ) では、質量数が1増加し、原子番号は変化しない。
5 : 正 中性子誘導核分裂では、質量数の和と原子番号の和は変化しない。

問 12 中性子の発生を伴う核反応または壊変として、正しいものの組合せは次のうちどれか。

- A 重水素と三重水素の核融合反応
B エネルギー10 MeV の γ 線による鉛との光核反応
C ${}^{252}\text{Cf}$ の α 壊変
D 熱中性子と ${}^{235}\text{U}$ との核分裂反応
- 1 ABC のみ 2 ABD のみ 3 ACD のみ 4 BCD のみ 5 ABCD すべて

〔解答〕 2

〔解説〕

- A : 正 ${}^2\text{H} + {}^3\text{H} \rightarrow \alpha + \text{n} + 17.6 \text{ MeV}$ により 14.1 MeV の中性子が発生する。
B : 正 γ 線のエネルギーが約 8 MeV(核子一つ当たりの束縛エネルギー)を超えるため、中性子放出が可能である。

C : 誤 $^{252}\text{Cf} \rightarrow ^{248}\text{Cm} + \alpha$ は α 崩壊であり、中性子の発生はない。

D : 正 2個から3個の高速中性子が発生する。

問13 BF_3 比例計数管に熱中性子が入射して計数ガス中の ^{10}B と(n, α)反応を起こしたときに放出される α 粒子の運動エネルギー[MeV]として、最も近い値は次のうちどれか。ただし、この(n, α)反応の Q 値を 2.8 MeV とし、生成核は基底状態であるものとする。

1 0.8

2 1.0

3 1.4

4 1.8

5 2.8

〔解答〕 4

〔解説〕 この反応で ^7Li が生成し、Q 値は α と ^7Li が運動量保存則に従って按分する。

最も近い値は 1.8。

問14 荷電量 Z_1 の高速荷電粒子が核電荷 Z_2 の原子からなる物質を通過する際に弾性散乱される場合、その断面積は、次のうちどれに比例するか。

1 $Z_1 \cdot Z_2$

2 $Z_1^2 \cdot Z_2$

3 $Z_1 \cdot Z_2^2$

4 $Z_1 \cdot Z_2^{-2}$

5 $Z_1^2 \cdot Z_2^2$

〔解答〕 5

〔解説〕 ラザフォード散乱の断面積は二つの荷電粒子の電荷の積の二乗に比例する。

問15 荷電粒子と物質を構成する原子核との弾性散乱において、次の記述のうち正しいものの組合せはどれか。

A 核電荷が大きい原子核ほど大きな断面積をもつ。

B 荷電粒子と原子核との間のクーロン相互作用による。

C 小角度散乱は大角度散乱よりも発生確率が大きい。

D エネルギーが高い荷電粒子ほど散乱されにくい。

1 ABC のみ

2 ABD のみ

3 ACD のみ

4 BCD のみ

5 ABCD すべて

〔解答〕 5

〔解説〕 ラザフォード散乱の断面積 $\sigma(\theta)$ は、 E, z, Z, θ を、それぞれ衝突エネルギー、荷電粒子の電荷、原子核の電荷、散乱角度とすると、

$$\sigma(\theta) = \frac{z^2 Z^2}{4E^2} \left(\sin \frac{\theta}{2} \right)^{-4}$$

となる。

A : 正 断面積は核電荷の二乗に比例する。

B : 正 弹性散乱はクーロン相互作用である。

C : 正 断面積は $\left(\sin \frac{\theta}{2} \right)^{-4}$ に比例するので小角散乱は大角散乱より発生しやすい。

D: 正 断面積は E^2 に反比例するのでエネルギーが高いほど散乱されにくい。

問 16 コンプトン散乱に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 光子の粒子性を示す現象である。
- B 散乱光子の波長は入射光子の波長より短くなることはない。
- C 反跳電子のエネルギーは入射光子のエネルギーに等しくなることがある。
- D 散乱光子と入射光子の波長の差は、入射光子の波長に比例する。

1 A と B 2 A と C 3 B と C 4 B と D 5 C と D

〔解答〕 1

〔解説〕 コンプトン散乱において、散乱光子と入射光子の波長の差 $\Delta\lambda = (\text{散乱波長}) - (\text{入射波長})$ は、 h, m, c, θ を、それぞれプランク定数、電子質量、光速、光子の散乱角とすると、

$$\Delta\lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos\theta)$$

と表される。散乱光子のエネルギー E は、入射光子のエネルギーを E_γ とすると、

$$E = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma}{mc^2} (1 - \cos\theta)}$$

と表され、反跳電子のエネルギー E_e は、 $E_e = E_\gamma - E$ である。

- A: 正 コンプトン散乱は、光子と電子の散乱で光の粒子性を示す現象である。
- B: 正 $\Delta\lambda \geq 0$ なので、(散乱波長) \geq (入射波長)。
- C: 誤 反跳電子のエネルギーの最大値 E_{\max} は、散乱光子のエネルギーが最小になるときであり、 $\theta = \pi$ のとき、

$$E_{\max} = E_\gamma - \frac{E_\gamma}{1 + \frac{2E_\gamma}{mc^2}} < E_\gamma$$

となる。入射光子のエネルギーは超えない。

- D: 誤 $\Delta\lambda$ は入射光子の波長には比例しない。比例定数の $\frac{h}{mc}$ は電子のコンプトン波長である。

問 17 電子・陽電子対生成に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 原子核の電場で起こる。
- B ^{54}Mn 線源からの γ 線では起こらない。
- C 生成した電子と陽電子の運動エネルギーは等しくなる。
- D 光子エネルギーが低いほど発生確率が高くなる。

1 ABC のみ 2 AB のみ 3 AD のみ 4 CD のみ 5 BCD のみ

〔解答〕 2

〔解説〕

- A: 正 電子・陽電子対生成は、光子が原子核近傍を通過する際に原子核の作る強いクーロン電場と

相互作用して起こる。

- B: 正 電子・陽電子対生成を起こすためには、光子のエネルギーが電子と陽電子の静止質量エネルギー(1.022 MeV)以上である必要があるが、⁵⁴Mn のガンマ線は 0.8348 MeV であるため、電子対生成は起こらない。
- C: 誤 例えば、原子核の近傍で起こった場合、原子核の電場との相互作用、核の反跳等により電子と陽電子の運動エネルギーは等しくならない。
- D: 誤 電子・陽電子対生成の断面積は、光子のエネルギーが生成のしきい値を超えたあたりでは小さく、エネルギーの増加とともに大きくなる。

問18 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A カーマは、電荷をもたない放射線に対し定義される。
- B 同じ系における衝突カーマは、カーマよりも大きい。
- C カーマには、系外で生成した荷電粒子による系内でのエネルギー付与が含まれる。
- D 0.1 MeV 以上の光子では、フルエンス当たりの空気カーマはエネルギーとともに増加する。
- 1 ABCのみ 2 ABのみ 3 ADのみ 4 CDのみ 5 BCDのみ

〔解答〕3

〔解説〕

- A: 正 カーマは、光子や中性子など非荷電粒子が物質との相互作用で、単位質量当たり電子などの荷電粒子に与えた運動エネルギーの総和である。
- B: 誤 カーマは、衝突カーマと放射カーマの和である。
- C: 誤 カーマには、系外で生成した「非荷電粒子」による系内でのエネルギー付与が含まれる。
- D: 正 光と空気(窒素分子と酸素分子)との相互作用によるエネルギー移動は、0.1 MeV から数 MeV の範囲では、主としてコンプトン散乱によって起こる。1.022 MeV を超えると電子対生成がしだいに寄与し始め、数 MeV を超えるとその寄与が増加する。これら二つの相互作用の和として、フルエンスあたりの空気カーマはエネルギーの増加とともに上昇する。(参考: ICRP publication 74, 表 A.1.)

問19 20 MeV の中性子と弾性散乱した反跳炭素原子核(¹²C)の最大エネルギー[MeV]として最も近い値は、次のうちどれか。

- 1 2.0 2 5.7 3 10 4 12 5 20

〔解答〕2

〔解説〕質量 m の入射粒子が速度 v_0 で静止した質量 M の標的粒子に衝突した時、標的粒子の運動エネルギーが最大となるのは、標的粒子が入射粒子方向に進むときである。衝突後の入射粒子の速度を v 、質量 M の粒子の速度を V とすると、運動量保存則とエネルギー保存則より、

$$mv_0 = mv + MV$$

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}MV^2$$

v を消去して、質量 M の粒子の運動エネルギーを求める。

$$\frac{1}{2}MV^2 = \frac{1}{2}M\left(\frac{2m}{m+M}v_0\right)^2 = \frac{4mM}{(m+M)^2} \times \frac{1}{2}mv_0^2$$

$\frac{1}{2}mv_0^2 = 20 \text{ MeV}$ 、 $m = 1 \text{ u}$, $M = 12 \text{ u}$ を代入すると、

$$\frac{1}{2}MV^2 = \frac{4 \times 1 \times 12}{(1+12)^2} \times 20 \approx 5.68 \text{ MeV}.$$

問20 中性子と物質の相互作用に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 低エネルギー領域において、反応断面積は中性子エネルギーに逆比例する。
- B 冷中性子は回折現象を起こす。
- C 0.1 keV～数 MeV のエネルギー領域において、反応断面積は共鳴的に大きくなることがある。
- D 10 MeV を超える高速中性子は原子核との非弾性散乱により 2 個以上の粒子を放出することがある。
- E エネルギー E_n の中性子が重水素と弹性散乱したとき、散乱中性子のエネルギーは 0 から E_n までの連続分布を示す。

1 ABC のみ 2 ACE のみ 3 ADE のみ 4 BCD のみ 5 BDE のみ

〔解答〕 4

〔解説〕

- A : 誤 低エネルギー領域の反応断面積は、 $1/E^{1/2} \propto 1/v$ に比例する（ $1/v$ 則と呼ばれる）。
- B : 正 冷中性子は、エネルギーが 5 meV 以下の低エネルギー中性子であり、ド・ブロイ波長は 0.4 nm 以上あり、結晶中の原子間距離に匹敵し回折現象を示す。
- C : 正 中性子が原子核に入射されると一時的に複合核を形成するが、この時のエネルギー準位と入射エネルギーが一致すると共鳴反応が起こるが、エネルギー準位の範囲は原子核により異なる。例えば、 ^{56}Fe は、数 10 keV から数 0.1 MeV の範囲で共鳴反応を起こす。
- D : 正 衝突エネルギーが 10 MeV の中性子は原子核内に 10 MeV のエネルギーを持ち込む。このエネルギーは核子あたりの結合エネルギー 8 MeV を超えており、入射中性子と合わせて 2 つの核子を放出することができる。
- E : 誤 問19の解説の入射粒子中性子($m = 1 \text{ u}$)、標的粒子を重水素($M = 2 \text{ u}$)とすると、衝突後の重水素の最大の運動エネルギーは、

$$\frac{1}{2}MV^2 = \frac{4 \times 1 \times 2}{(1+2)^2}E_n = \frac{8}{9}E_n$$

エネルギー保存則により、散乱中性子の運動エネルギーの最小値は、

$$\frac{1}{2}mv^2 = E_n - \frac{8}{9}E_n = \frac{1}{9}E_n \neq 0$$

となる。なお、散乱中性子の最大のエネルギーは、重水素と相互作用せずに前方(0°)に放出されるとき、 E_n となり、散乱中性子のエネルギー分布は、 $E_n/9$ から E_n の連続分布である。

問21 次の物質のうち、その物質中での 5.5 MeV α 線の飛程 [$\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$] が最も大きいものはどれか。

- 1 水素 2 ヘリウム 3 シリコン 4 ゲルマニウム 5 金

〔解答〕 5

〔解説〕 α 線の質量阻止能はおおむね物質の Z/A に比例する。 Z/A が小さいほど質量阻止能が小さく、同じ面密度 ($\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$) 当たりの飛程は長くなる。

各元素の Z/A : H=1.00、He=0.50、Si≈0.50、Ge≈0.44、Au≈0.40。したがって、金内での飛程 [$\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$] が最も大きい。

問22 次の積のうち、無次元となるものの組み合わせはどれか。

- A (反応断面積) × (粒子フルエンス率)
 B (質量エネルギー吸収係数) × (質量面密度)
 C (計数率) × (時定数) × (放射能)
 D (壊変定数) × (経過時間) × (分岐比)

- 1 A と B 2 A と C 3 B と C 4 B と D 5 C と D

〔解答〕 4

〔解説〕 長さ、時間、質量の次元をそれぞれ L,T,M とする。

- A : $[\text{L}^2] \times [\text{L}^{-2}\text{T}^{-1}] = [\text{T}^{-1}]$
 B : $[\text{L}^2\text{M}^{-1}] \times [\text{ML}^{-2}] = [1]$ (無次元)
 C : $[\text{T}^{-1}] \times [\text{T}] \times [\text{T}^{-1}] = [\text{T}^{-1}]$
 D : $[\text{T}^{-1}] \times [\text{T}] \times [1] = [1]$ (無次元)

問23 次の定数とその単位に関して、正しいものの組合せはどれか。

- A プランク定数 _____ $\text{J}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
 B ボルツマン定数 _____ $\text{J}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
 C リュードベリ定数 _____ m^{-1}
 D アボガドロ定数 _____ mol^{-1}

- 1 ABC のみ 2 AB のみ 3 AD のみ 4 CD のみ 5 BCD のみ

〔解答〕 4

〔解説〕

- A : 誤 $\text{J} \cdot \text{s}$
 B : 誤 $\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$

C : 正

D : 正

問 24 0.20 MBq の標準線源を、分解時間が 200 μs の GM 計数管で測定したところ、計数率は 1000 s^{-1} であった。壊変率に対するこの GM 計数管の計数効率(%)は次のうちどれか。

1 0.31

2 0.63

3 1.0

4 1.4

5 1.8

〔解答〕 2

〔解説〕 不感時間を補正した真の計数率は $1000 / (1 - 1000 \times 2 \times 10^{-4}) = 1250 \text{ s}^{-1}$ 。

したがって計数効率は $1250 / (2.0 \times 10^5) = 6.3 \times 10^{-3} = 0.63\%$ 。

問 25 放射線検出器に利用されるシンチレータに関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

A LaBr₃(Ce)は NaI(Tl)よりも 662 keV γ 線に対するエネルギー分解能が良い。

B CeBr₃中のセリウムには放射性の同位体が存在し、低レベル放射線測定時の障害になる。

C 有機液体シンチレータは ³H からの低エネルギー β 線の計数に使用される。

D 有機液体シンチレータは高速中性子のエネルギー測定に使用される。

1 ACD のみ 2 AB のみ 3 AC のみ 4 BD のみ 5 BCD のみ

〔解答〕 1

〔解説〕

A : 正 LaBr₃(Ce) 分解能~2%、NaI(Tl) 分解能~6%。

B : 誤 CeBr₃の Ce には放射性同位体は含まれていない。

C : 正 有機液体シンチレータは低エネルギー β 線の測定に広く用いられる。

D : 正 有機液体シンチレータは数十 MeV 程度の高速中性子測定に広く用いられる。

問 26 熱ルミネセンス線量計(TLD)に関する次の記述のうち、正しいものはどれか。

1 フェーディングはない。

2 1 回の照射に対して、それに対応する線量値を繰り返し読み取ることができる。

3 放射線照射により結晶中に捕獲された電子が、正孔と再結合して生じる蛍光を利用する。

4 中性子の線量測定には使用されない。

5 読み取りにはエッティング処理が必要である。

〔解答〕 3

〔解説〕

1 : フェーディング (時間経過により捕獲電子が失われる現象) はある。

2 : 加熱して読み取った後は、捕獲電子が放出するため繰り返し読み取ることはできない。

3 : 正しい。

4 : Li を含む TLD は熱中性子測定に使用される。

5 : エッチングが必要なのは、CR-39 などの固体飛跡検出器。

問 27 γ 線スペクトロメータでエネルギー10 MeV の γ 線を測定したとき、波高分布の全吸収ピークとコンプトン端のエネルギーの差[MeV]に最も近い値は、次のうちどれか。

- 1 0.25 2 0.51 3 1.02 4 1.56 5 2.07

〔解答〕 1

〔解説〕 エネルギー E_γ の γ 線が検出器に入射した際のコンプトン端のエネルギー E_e は、電子質量 m_e 、光速 c として、

$$E_e = E_\gamma - \frac{E_\gamma}{1 + \frac{2E_\gamma}{m_e c^2}}$$

と書ける。

 $E_\gamma = 10 \text{ MeV}$, $m_e c^2 = 0.511 \text{ MeV}$ を代入すると

$$E_e = 10 - \frac{10}{1 + 39.1} = 9.75 \text{ MeV}$$

したがって全吸収ピークとの差は $10 - 9.75 = 0.25 \text{ MeV}$ 。

問 28 β 線放出の直後に γ 線を放出する β 壊変核種の線源について、その放射能を $\beta - \gamma$ 同時計数法により測定した。このときの β 線測定器による β 線の計数率を $R_b[\text{s}^{-1}]$ 、 γ 線測定器による γ 線の計数率を $R_g[\text{s}^{-1}]$ 、 $\beta - \gamma$ 同時計数率を $R_c[\text{s}^{-1}]$ とすると、 β 壊変核種の放射能[Bq]を求める式は、次のうちどれか。ただし、 β 線放出及び γ 線放出の分岐比はそれぞれ 100% とし、 β 線と γ 線との角度相関はないものとする。

- 1 $\frac{R_b \cdot R_c}{R_g}$ 2 $\frac{R_c \cdot R_g}{R_b}$ 3 $\frac{R_b \cdot R_g}{R_c}$ 4 $\frac{R_b}{R_c \cdot R_g}$ 5 $\frac{R_c}{R_b \cdot R_g}$

〔解答〕 3

〔解説〕 放射能を A とすると、 β 線と、 γ 線の計数効率はそれぞれ $\varepsilon_\beta = R_b/A$ 、 $\varepsilon_\gamma = R_g/A$ と書ける。

また、同時計数率は $R_c = A \varepsilon_\beta \varepsilon_\gamma$ と書ける。したがって、 $A = R_b R_g / R_c$

問 29 計数値の相対標準偏差を 0.5% 以下にするために必要な最小の計数値は、次のうちどれか。

- 1 10,000 2 20,000 3 30,000 4 40,000 5 50,000

〔解答〕 4

〔解説〕 計数値 N の統計誤差はポアソン分布に従い \sqrt{N} となる。したがって相対標準偏差は $1/\sqrt{N}$ と書ける。

 $1/\sqrt{N} \leq 0.005$ より、 $N \geq 4.0 \times 10^4$ 。

問30 放射能が 3.7×10^6 Bq の ^{210}Po の質量[g]として、最も近い値は次のうちどれか。ただし、 ^{210}Po の半減期を 138 日とする。

- 1 1×10^{-12} 2 8×10^{-10} 3 4×10^{-9} 4 2×10^{-8} 5 1×10^{-7}

〔解答〕 4

〔解説〕 放射能 A 、崩壊定数 λ 、原子数 N 、アボガドロ数 $N_A (= 6.02 \times 10^{23})$ とすると、

$$\lambda = \ln 2 / T_{1/2} = 0.693 / (1.19 \times 10^7) = 5.83 \times 10^{-8} [\text{s}^{-1}]$$

$$N = A / \lambda = 3.7 \times 10^6 / (5.83 \times 10^{-8}) = 6.35 \times 10^{13}$$

$$\text{よって質量は、 } 210 [\text{g/mol}] \times 6.35 \times 10^{13} / N_A = 2.22 \times 10^{-8} [\text{g}]$$

問31 次のI～IIIの文章の [] の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選べ。

I α 壊変は原子核が α 粒子すなわちヘリウム原子核を放出してより小さい原子核に壊変する現象であり、その壊変エネルギーは壊変前後の全原子核の [A] から求まる。このエネルギーが生成核及び α 粒子に運動量を保存するように分配され、 α 粒子のエネルギーは [B] となる。 ^{210}Po 原子核が α 粒子を放出して安定な ^{206}Pb 原子核に壊変するとき、壊変エネルギーは [ア] MeV、 α 粒子のエネルギーは [イ] MeV となる。ただし、 ^4He 、 ^{206}Pb 及び ^{210}Po の原子質量をそれぞれ 4.00260 u、205.97447 u、209.98287 u とした。壊変定数と α 粒子のエネルギーとの関係は [C] の法則として知られ、 α 粒子放出における [D] 効果から理論的に説明される。

<A、Bの解答群>

- | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-------|
| 1 波高欠損 | 2 エネルギー損失 | 3 質量欠損 | 4 質量数 |
| 5 運動エネルギー | 6 質量偏差 | 7 連続スペクトル | 8 単色 |
| 9 ガウス分布 | 10 最大 | 11 最小 | |

<ア、イの解答群>

- | | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| 1 0.10 | 2 0.20 | 3 0.30 | 4 0.40 |
| 5 4.5 | 6 4.6 | 7 4.7 | 8 4.8 |
| 9 4.9 | 10 5.0 | 11 5.1 | 12 5.2 |
| 13 5.3 | 14 5.4 | 15 5.5 | |

<C、Dの解答群>

- | | | | |
|-----------|------------|-----------|-------------|
| 1 ラザフォード | 2 デュエン・ハント | 3 ドルトン | 4 ガイガー・ヌッタル |
| 5 定比例 | 6 モーズレー | 7 エネルギー保存 | 8 コンプトン |
| 9 トンネル | 10 古典力学的 | 11 メスバウアー | 12 ラマン |
| 13 ラムザウアー | 14 ジャンプ | 15 ドップラー | |

〔解答〕 I A-3 B-8 ア-14 イ-13 C-4 D-9

〔解説〕

ア： α 壊変に伴う壊変のエネルギー E は、壊変前後の原子核の質量差によるから、 ${}^4\text{He}$ 、 ${}^{206}\text{Pb}$ および ${}^{210}\text{Po}$ の質量をそれぞれ M_{He} 、 M_{Pb} および M_{Po} 、また光速を c とおくと、

$$E = M_{\text{Po}}c^2 - (M_{\text{Pb}}c^2 + M_{\text{He}}c^2)$$

ここで、 $1\text{u} = 931.5 \text{ MeV}$ であるから、

$$E = 931.5 \times \{209.98287 - (205.97447 + 4.00260)\} [\text{MeV}] \approx 5.4 [\text{MeV}]$$

イ：エネルギーと運動量の保存則から、 α 壊変後の ${}^{206}\text{Pb}$ と α 粒子の運動エネルギーはそれぞれの質量に反比例して分配される。 α 粒子の運動エネルギーを E_α とおくと、

$$E_\alpha = \frac{M_{\text{Pb}}}{M_{\text{Pb}} + M_{\text{He}}} E \approx \frac{205.97447}{205.97447 + 4.00260} \times 5.4 [\text{MeV}] \approx 5.3 [\text{MeV}]$$

II α 粒子が物質中を進むときには、その質量は電子に比べて極めて大きいので、軌道電子との衝突によるエネルギー損失の過程で直線的な飛跡になるが、E は α 粒子の速度が小さくなるに従い大きくなり、粒子が止まる間際に急激に増加する。 α 粒子の飛跡に沿ったE の変化を示したもののがF である。

荷電粒子が物質中を進むとき、単位距離あたりに失うエネルギーを阻止能と呼ぶ。陽子や α 粒子においては、制動放射による影響を無視できるので、G 阻止能が支配的である。G 阻止能は物質のH に比例し、荷電粒子の原子番号を z 、速度を v とすると、I に比例する。これにより、同じエネルギーの α 粒子と陽子の阻止能を比べると、 α 粒子の方がウ 倍大きいことが分かる。また、G 阻止能を物質の密度で割った質量G 阻止能は、近似的に物質の種類によらない。

<E、F の解答群>

- | | | | |
|----------|---------|----------|----------|
| 1 比電荷 | 2 比電離 | 3 残留飛程 | 4 W 値 |
| 5 G 値 | 6 ファノ因子 | 7 プラトー特性 | 8 校正曲線 |
| 9 ブラッグ曲線 | 10 減弱曲線 | 11 グロー曲線 | 12 ベーテの式 |

<G、H の解答群>

- | | | |
|----------------|-------------|---------|
| 1 電離 | 2 衝突 | 3 放射 |
| 4 軸射 | 5 散乱 | 6 比 |
| 7 平均イオン化ポテンシャル | 8 平均励起エネルギー | 9 電子密度 |
| 10 質量 | 11 質量数 | 12 原子半径 |
| 13 中性子数 | | |

<I の解答群>

1	$z \cdot v$	2	$z^2 \cdot v$	3	$z \cdot v^2$	4	$z^2 \cdot v^2$
5	$z \cdot v^{-1}$	6	$z^2 \cdot v^{-1}$	7	$z \cdot v^{-2}$	8	$z^2 \cdot v^{-2}$
9	$v \cdot z^{-1}$	10	$v^2 \cdot z^{-1}$	11	$v \cdot z^{-2}$	12	$v^2 \cdot z^{-2}$
13	$v^{-1} \cdot z^{-1}$	14	$v^{-2} \cdot z^{-1}$	15	$v^{-2} \cdot z^{-2}$		

<ウの解答群>

1	1	2	2	3	3	4	4
5	6	6	8	7	16	8	20
9	24	10	32	11	48	12	64

〔解答〕 II E—2 F—9 G—2 H—9 I—8 ウ—7

〔解説〕

ウ：荷電粒子が物質中を進むとき、入射荷電粒子の原子番号と速度をそれぞれ z と v 、電気素量を e 、電子の質量を m 、物質の原子密度と原子番号をそれぞれ n と Z とおくと、阻止能 S は

$$S \propto \frac{z^2 e^4}{mv^2} nZ$$

となる。したがって、 α 粒子と陽子の阻止能をそれぞれ S_α と S_p 、速度をそれぞれ v_α と v_p とおくと、

$$\frac{S_\alpha}{S_p} = \frac{2^2/v_\alpha^2}{1^2/v_p^2} = 4 \frac{v_p^2}{v_\alpha^2}$$

ここで、 α 粒子と陽子の質量をそれぞれ m_α と m_p とおくと、 $m_\alpha/m_p \approx 4$ であり、また α 粒子と陽子の運動エネルギーが同じ場合には

$$\frac{1}{2} m_\alpha v_\alpha^2 = \frac{1}{2} m_p v_p^2$$

であるから、

$$\frac{v_p^2}{v_\alpha^2} = \frac{m_\alpha}{m_p} \approx 4$$

したがって、

$$\frac{S_\alpha}{S_p} = 4 \frac{v_p^2}{v_\alpha^2} \approx 16$$

III $1.0 \times 10^3 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の一様な強度を持つ高エネルギー陽子の平行ビームが、半径 10 cm の球形生体組織等価電離箱に入射するときの出力電流[pA]と吸収線量率[mGy · h⁻¹]を求める。ただし、陽子線の質量阻止能を $2.0 \text{ MeV} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^2$ 、組織等価ガスの密度を $1.0 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、W 値を 31 eV とする。また、計算においては、荷電粒子平衡が成立していると仮定し、陽子が電離箱を通過する際に強度の変化、電離箱の壁等の影響はないものとし、生成電荷はすべて収集されるものとする。

ここで、気体 1.0 cm^3 において毎秒吸収されるエネルギーは $\boxed{\text{エ}}$ MeV であるから、電離箱からの電流は $\boxed{\text{オ}}$ pA である。これに相当する吸収線量率は $\boxed{\text{カ}}$ mGy · h⁻¹ となる。

<エ～カの解答群>

1	0.12	2	0.20	3	0.43	4	0.64	5	0.87
6	1.2	7	2.0	8	4.3	9	6.4	10	8.7
11	12	12	20	13	43	14	64	15	87

〔解答〕 III エ—7 オ—13 カ—6

〔解説〕

エ：問題の球形生体等価電離箱内に一辺が l の微小な立方体の領域をとり、この領域で毎秒吸収されるエネルギーを考えてみる。1個の高エネルギー陽子がこの立方体のある面（面積が l^2 ）に垂直に入射して反対側の面から抜けるとき、阻止能を S とおくと、組織等価ガスに吸収されるエネルギーは、 Sl である。高エネルギー陽子のフルエンスが ϕ 、電離箱内の物質の密度が ρ であるとき、毎秒この領域で物質に吸収されるエネルギー ΔE は、

$$\Delta E = Sl \times (\phi \times l^2) = S \times \phi \times l^3$$

となり、阻止能と高エネルギー陽子のフルエンスと領域の体積の積で表される。質量阻止能は阻止能を密度で割った量であるから、体積 $l^3 = 1.0 \text{ cm}^3$ の組織等価ガスに毎秒吸収されるエネルギーは、

$$\Delta E = \{2.0 \times (1.0 \times 10^{-3})\} \times (1.0 \times 10^3) \times 1.0 [\text{MeV} \cdot \text{s}^{-1}] = 2.0 [\text{MeV} \cdot \text{s}^{-1}]$$

オ：半径 10 cm の球体の電離箱全体の体積は、

$$\frac{4}{3} \times 3.14 \times 10^3 [\text{cm}^3] \approx 4187 [\text{cm}^3]$$

であるから、エの解答より、電離箱全体で毎秒吸収されるエネルギーは、

$$2.0 \times 4187 [\text{MeV} \cdot \text{s}^{-1}] = 8374 [\text{MeV} \cdot \text{s}^{-1}]$$

となる。このエネルギーを吸収した組織等価ガス内で毎秒作られるイオン対の数は、W値により、

$$\frac{8374 \times 10^6}{31} [\text{s}^{-1}] \approx 2.7 \times 10^8 [\text{s}^{-1}]$$

と求められる。この毎秒作られるイオン対が電離箱からの電流となるため、電気素量 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ により電流の値は

$$(2.7 \times 10^8) \times (1.6 \times 10^{-19}) [\text{A}] \approx 43 [\text{pA}]$$

となる。

カ：オの解説より、電離箱全体で毎秒吸収されるエネルギーは、

$$8374 [\text{MeV} \cdot \text{s}^{-1}] = (8374 \times 10^6) \times (1.6 \times 10^{-19}) [\text{J} \cdot \text{s}^{-1}] \approx 1.34 \times 10^{-9} [\text{J} \cdot \text{s}^{-1}]$$

である。また、組織等価ガスの密度は $1.0 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ であるから、電離箱内の組織等価ガス全体の重量は、

$$4187 \times (1.0 \times 10^{-3}) [\text{g}] = 4.187 \times 10^{-3} [\text{kg}]$$

である。吸収線量の単位 Gy は $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ であるから、吸収線量率は

$$\frac{1.34 \times 10^{-9}}{4.187 \times 10^{-3}} [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}] \approx 3.2 \times 10^{-7} [\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$\approx \{(3.2 \times 10^{-7}) \times 10^3\} \times (60 \times 60) [\text{mGy} \cdot \text{h}^{-1}]$$

$$\approx 1.2 [\text{mGy} \cdot \text{h}^{-1}]$$

問32 次のI～IIIの文章の□の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選べ。

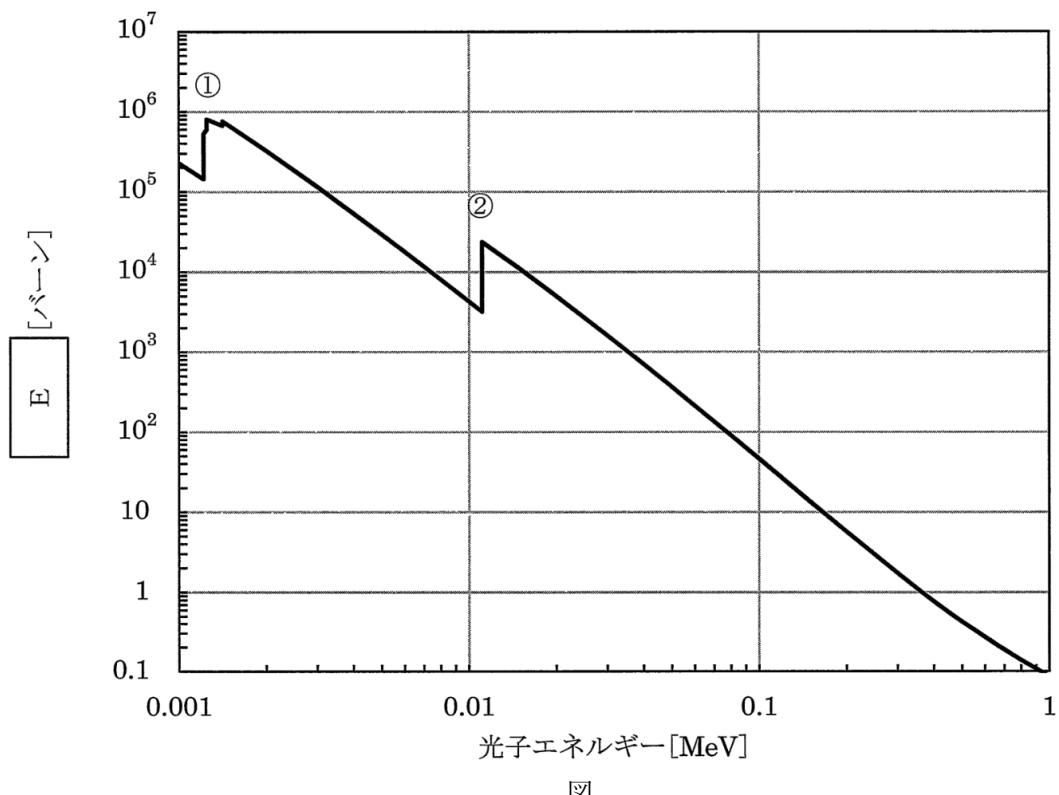
I 光電効果では、□Aエネルギー E_1 で原子核に束縛されていた軌道電子は入射光子のエネルギー E_p を全て吸収して光電子として原子の外に飛び出し、光子は消滅する。この時の光電子の初期運動エネルギー E'_e は、

$$E'_e = \boxed{\text{ア}} \quad (1)$$

で表される。

限界波長と比べて入射光子の波長が□B場合、光子フルエンス率が高くなっても光電子は生成されない。一方、一定波長の光子により光電効果が起こるとき、光電子の生成率は光子フルエンス率□Cが、 E'_e は変わらない。これは、光が□Dを持つ証拠となっている。

物質中の標的原子1個あたりに単位フルエンスの光子が入射したときの相互作用の数の期待値は□Eと呼ばれる。物質をゲルマニウムとして例示した図のように、光電効果の□Fは、入射光子エネルギーの増加とともに急速に小さくなる。しかし、この減少は単調ではなく、□G(図中①)や、□H(図中②)で不連続的に変化する。この不連続部は、軌道電子の□Aエネルギーに対応しており、光子エネルギーがこれよりも大きくなると対応する軌道電子が光電効果に寄与するようになるため、急激に□Eが増加して不連続的になる。



図

<A~D の解答群>

- | | | | |
|---------|----------|-------------|------------|
| 1 短い | 2 等しい | 3 長い | 4 の2乗に比例する |
| 5 に比例する | 6 に反比例する | 7 の2乗に反比例する | 8 波動性 |
| 9 粒子性 | 10 反跳 | 11 質量 | 12 しきい |
| 13 運動 | 14 結合 | 15 共鳴 | |

<アの解答群>

- | | | | |
|----------------------|---------------------------|----------------------|------------------------|
| 1 E_p | 2 E_1 | 3 $E_p + E_1$ | 4 $2E_p + E_1$ |
| 5 $E_p + 2E_1$ | 6 $E_p - E_1$ | 7 $2E_p - E_1$ | 8 $E_p - 2E_1$ |
| 9 $E_p \cdot E_1$ | 10 $\sqrt{E_p \cdot E_1}$ | 11 $\frac{E_p}{E_1}$ | 12 $\frac{E_p^2}{E_1}$ |
| 13 $\frac{E_1}{E_p}$ | 14 $\frac{E_1^2}{E_p}$ | | |

<E~G の解答群>

- | | | |
|------------------|-----------------|------------|
| 1 質量 | 2 長さ | 3 フルエンス |
| 4 断面積 | 5 体積 | 6 しきい反応 |
| 7 シングル・エスケープ・ピーク | 8 ダブル・エスケープ・ピーク | 9 コンプトンエッジ |
| 10 K吸収端 | 11 L吸収端 | 12 M吸収端 |

[解答] I A—14 B—3 C—5 D—9 ア—6 E—4 F—11 G—10

[解説] なし

II 光電効果が起こった後は、光電子の放出に伴い空になった内殻軌道に外殻の軌道電子が遷移する。

この遷移に伴うエネルギーは、電磁波である H として放出されるが、別の軌道電子に与えられた場合には I の放出が起こる。

ゲルマニウム半導体検出器を用いた γ 線のスペクトル測定においては、光電効果により形成される全吸収ピークの波高(エネルギー)から γ 線を放出する核種を同定する。密度が $5.4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ で体積 10 cm^3 の有感領域を持つゲルマニウム半導体検出器に ^{57}Co 線源からの 122 keV γ 線が $100 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ のフルエンス率で入射したとき、光電効果による全吸収ピークの計数率は イ s^{-1} となる。ここで、 122 keV 光子に対するゲルマニウム原子 1 個あたりの光電効果の E を 25 b (バーン)、ゲルマニウムの原子量を 73 とし、ゲルマニウム半導体検出器内や周辺の構造物での自己吸収、光電子の有感領域外への漏えい、計数の数え落としやパイルアップは無視できるものとする。

<H, I の解答群>

- | | | | |
|-----------|-----------|--------------|-----------------|
| 1 赤外線 | 2 紫外線 | 3 γ 線 | 4 消滅 γ 線 |
| 5 特性X線 | 6 制動X線 | 7 チェレンコフ光 | 8 内部転換電子 |
| 9 コンプトン電子 | 10 オージェ電子 | 11 陽電子 | |

<イの解答群>

- | | | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|
| 1 1.1×10^{-1} | 2 1.9×10^{-1} | 3 2.6×10^{-1} | 4 8.0×10^{-1} | 5 1.9×10^1 |
| 6 2.6×10^1 | 7 8.0×10^1 | 8 1.1×10^3 | 9 1.9×10^3 | 10 2.6×10^3 |
| 11 8.0×10^3 | 12 1.1×10^4 | 13 1.9×10^4 | 14 2.6×10^4 | 15 8.0×10^4 |

[解答] II H—5 I—10 イ—8

[解説]

イ : 122 keV γ 線に対するゲルマニウム原子 1 個あたりの光電効果の断面積を σ 、 122 keV γ 線のフルエンス率を ϕ 、ゲルマニウム半導体検出器の有感領域中のゲルマニウム原子の全数を N_0 とおくと、ゲルマニウム半導体検出器の有感領域に入射した 122 keV γ 線により光電効果が起きる確率 y は

$$y = \sigma \phi N_0$$

である。ゲルマニウム半導体検出器の有感領域の体積が 10 cm^3 で密度が $5.4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ であるから、原子量が 73 であるゲルマニウム原子の有感領域中での全数は、1 原子質量単位が $1.6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$ であることから、

$$N_0 = \frac{5.4 \times 10}{73 \times (1.6605 \times 10^{-27} \times 10^3)} \approx 4.4548 \times 10^{23}$$

となる。ここで、 $\sigma = 25 \text{ [b]} = 25 \times 10^{-24} \text{ [cm}^2\text{]}$ 、 $\phi = 100 \text{ [cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$ であるから、光電効果が起きる確率、すなわち光電効果による全吸収ピークの計数率は

$$y = (25 \times 10^{-24}) \times 100 \times (4.4548 \times 10^{23}) [\text{s}^{-1}] \approx 1.1 \times 10^3 [\text{s}^{-1}]$$

となる。

III 光電効果は、光子と軌道電子との相互作用であるが、静止状態にある自由電子にエネルギーが E_p で振動数が ν の光子が吸収されて光電効果が起こることを仮定してみる。ここで、光速を c 、電子の質量を m_e 、プランク定数を h とする。

光電子のエネルギー E_e は、相対論を考慮するとその運動量 p_e を用いて次式で表される。

$$E_e^2 = c^2 (p_e^2 + m_e^2 c^2) \quad (2)$$

一方、入射光子のエネルギー E_p は次式で表される。

$$E_p = \boxed{\text{ウ}} \quad (3)$$

光子と光電子のエネルギー保存則から(4)式が、運動量保存則から(5)式が導出される。

$$\boxed{\text{ウ}} = \boxed{\text{エ}} - \boxed{\text{オ}} \quad (4)$$

$$\boxed{\text{カ}} = p_e \quad (5)$$

(2)式、(4)式及び(5)式から、 E_e と p_e を消去すると

$$2 \times \boxed{\text{オ}} \times \boxed{\text{ウ}} = 0 \quad (6)$$

となり、 $\boxed{\text{オ}} \neq 0$ なので(6)式を満足するためには $\nu = 0$ 、つまり入射光子がエネルギーを持たないこととなり、自由電子との衝突では光電効果が起こらないことがわかる。

一方、軌道電子は、原子核とクーロン力で結びついており、衝突の際に運動量の一部が原子核に与えられることから、運動量保存則が成り立ち、光電効果を起こすことができる。

<ウ～カの解答群>

$$1 \quad \frac{1}{2} m_e c \quad 2 \quad m_e c^2 \quad 3 \quad \frac{1}{4} m_e^2 c^4 \quad 4 \quad \frac{1}{2} m_e^2 c^4$$

$$5 \quad m_e^2 c^4 \quad 6 \quad E_e \quad 7 \quad E_p \quad 8 \quad E_p + E_e$$

$$9 \quad E_p - E_e \quad 10 \quad \frac{h\nu}{2c} \quad 11 \quad \frac{h\nu}{c} \quad 12 \quad \frac{2h\nu}{c}$$

$$13 \quad \frac{1}{2} h\nu \quad 14 \quad h\nu \quad 15 \quad 2h\nu$$

[解答] III ウー14 エー6 オー2 カー11

[解説] なし