

令和6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□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 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 光子のエネルギーは運動量に比例する。
- B 1 Cの電荷から1 m離れた点における電位は無限遠を基準とすると1 Vである。
- C 熱中性子の運動エネルギー分布はマクスウェル・ボルツマン分布に基づく。
- D 電子はスピン角運動量をもつが、陽子はない。

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

〔解答〕 2

〔解説〕

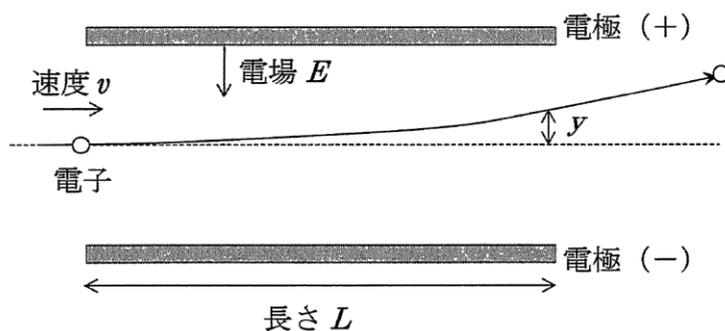
A：正 光子のエネルギーは $E = cp$  ( $c$ : 光速,  $p$ : 運動量) である。

B：誤  $Q$  [C]の電荷から  $r$  [m]離れた点における電位は  $V = Q/4\pi\epsilon_0 r$  であり、 $Q = 1, r = 1, \epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ C} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  とすると  $V = 8.99 \times 10^9 \text{ V}$  となる。

C：正 熱中性子は物質中で原子・分子の熱運動と平衡に達したものであり、その運動エネルギー分布はマクスウェル-ボルツマン分布に基づく。

D：誤 陽子はスピン角運動量を持つ。

問2 下図に示すように、真空中で長さ  $L$  の平行平板電極の間に一様な電場  $E$  をかけ、電荷  $e$ 、質量  $m$ 、速度  $v$  の電子を電極と平行に入射させたとき、電極の右端における入射方向からのずれ  $y$  を表す数式は次のうちどれか。



- 1  $\frac{emv^2}{EL^2}$       2  $\frac{eEL^2}{mv^2}$       3  $\frac{emv^2}{2EL^2}$       4  $\frac{eEv^2}{2mL^2}$       5  $\frac{eEL^2}{2mv^2}$

〔解答〕 5

〔解説〕 速度  $v$  の電子が電極と平行方向に長さ  $L$  を移動するのにかかる時間は  $t = L/v$  である。電場  $E$  によって電子にかかる加速度は  $a = eE/m$  なので、時間  $t$  の間に電子が電極に垂直な方向に移動する

距離 $y$ は  $y = at^2/2 = eEL^2/2mv^2$  である。

問3 光の速度を  $c$ 、電子の速度を  $v$  とし、 $\frac{v}{c} = 0.95$  の場合、電子の運動エネルギー[MeV]として最も近いものは、次のうちどれか。

- 1 0.55                      2 1.1                      3 2.2                      4 3.3                      5 4.4

〔解答〕 2

〔解説〕 相対論的な速度の粒子のエネルギー $E$ は、静止質量を $m_0$ とすると、 $\beta = v/c$ として

$$E = m_0c^2/\sqrt{1-\beta^2}$$

である。 $m_0c^2 = 0.511$  MeV であるから、 $E=1.6$  MeV となる。したがって運動エネルギーは $E - m_0c^2 = 1.1$  MeV である。

問4 次の組合せのうち、関係のないものはどれか。

- |              |    |              |
|--------------|----|--------------|
| 1 軌道電子       | —— | 内部転換         |
| 2 ニュートリノ     | —— | $\beta^+$ 壊変 |
| 3 $\gamma$ 線 | —— | 原子核のエネルギー準位  |
| 4 中性子        | —— | 飛程           |
| 5 特性X線       | —— | 原子のエネルギー準位   |

〔解答〕 4

〔解説〕

- 1：励起状態にある原子核が脱励起時にエネルギーを軌道電子に与える過程を内部転換という。
- 2： $\beta^+$ 壊変ではニュートリノが放出される。
- 3：励起状態にある原子核が脱励起する際、原子核のエネルギー準位の差に相当するエネルギーがガンマ線と原子核の反跳エネルギーとして放出される。
- 4：関係しない。
- 5：内部転換等で原子の内殻に空孔ができると、その軌道に外側の軌道から電子が遷移し、原子のエネルギー準位の差に相当するエネルギーのX線が放出される。これを特性X線と呼ぶ。

問5 次の3つの値を同じ単位で比べたとき、大きい順に並べたものとして正しいのはどれか。

- A 陽子1個の質量  
B 中性子1個の質量  
C 1u(統一原子質量単位)

- 1 A > B > C  
2 A > C > B  
3 B > A > C  
4 B > C > A

5 C > B > A

〔解答〕 3

〔解説〕 陽子の質量は 1.007 u、中性子の質量は 1.008 u である。中性子は陽子に比べて質量が大きい(不安定である)ため、 $\beta$ -壊変により陽子に変わる。

問6 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A  $^{12}\text{C}$  の原子核内では核力により陽子と中性子が結合している。
- B 軌道電子は電磁気力により原子核に束縛されている。
- C  $^{12}\text{C}$  の原子核内では電磁気力により陽子同士が結合している。
- D 原子核外の中性子は地上で重力の影響を受けない。

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

〔解答〕 2

〔解説〕

A、B：正

C：誤 原子核内で陽子同士を結びつける力は核力である。

D：誤 中性子は質量を持つため、重力の影響を受ける。

問7 静止している励起状態の原子核がエネルギー  $E$  の  $\gamma$  線を放出し質量  $M$  の原子核へ遷移したとき、遷移する準位間のエネルギー差を示す式として正しいのは次のうちどれか。ただし、光速を  $c$  とする。

1  $\frac{E(E+2Mc^2)}{2Mc^2}$     2  $\frac{E(E+Mc^2)}{2Mc^2}$     3  $\frac{E(E-Mc^2)}{2Mc^2}$     4  $\frac{E^2}{2Mc^2}$     5  $E$

〔解答〕 1

〔解説〕 ガンマ線と原子核の反跳を考える。壊変後の原子核の運動量を  $P$  とする。光子の運動量は  $p = E/c$  なので、運動量保存則から  $P = E/c$  である。遷移する準位間のエネルギー差はガンマ線のエネルギーと原子核の反跳エネルギーの和に等しいから

$$E + \frac{P^2}{2M} = E + \frac{E^2}{2Mc^2} = \frac{E(E + 2Mc^2)}{2Mc^2}$$

となる。

問8 ヨウ素  $^{131}\text{I}$  の壊変定数  $[\text{s}^{-1}]$  に最も近い値は次のうちどれか。

1  $1.0 \times 10^{-7}$     2  $1.0 \times 10^{-6}$     3  $1.0 \times 10^{-5}$     4  $1.0 \times 10^{-4}$     5  $1.0 \times 10^{-3}$

〔解答〕 2

〔解説〕ヨウ素 131 の半減期 $T_{1/2}$ は約8日である。壊変定数は $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$ であるから、代入して $1.0 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ を得る。

問9 オージェ電子の放出に関連する過程として、正しいものの組合せは次のうちどれか。

- A 特性 X 線の放出
- B 内部転換
- C 軌道電子捕獲
- D 光電効果

- 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〕内部転換や軌道電子捕獲、光電効果によって原子の内殻に空孔が生じると、外側の軌道の電子が内側の軌道に遷移する。このときの余剰エネルギーを原子内の別の電子へ移行するとオージェ電子が放出される。オージェ電子の放出は特性 X 線の放出と競合する。

注：問題文中の「関連する」の表現があいまいであり、不適切である。「オージェ電子の放出」と「A 特性 X 線の放出」では、両者は競合する過程であるので「関連しない」と判断することができる。

一方、「特性 X 線の放出によって生じた空孔の外側の軌道に電子があれば、さらに特性 X 線またはオージェ電子が競合して放出される可能性がある」と考えるか、単純に「両方とも放射線の放出」などと考えれば「関連する」となるし、あるいは「競合する」のであるから「関連する」との判断も可能である。

問10  $^1\text{H}^+$ 、 $^2\text{H}^+$ 、 $^4\text{He}^{2+}$ のイオンが真空中において4MVの電位差で加速された場合、それぞれの運動エネルギー[MeV]を正しく表記しているものは次のうちどれか。

	$^1\text{H}^+$	$^2\text{H}^+$	$^4\text{He}^{2+}$
1	4	2	1
2	4	4	2
3	4	4	8
4	4	8	8
5	4	8	16

〔解答〕3

〔解説〕電荷 $q$ の粒子が電位差 $V$ [V]で加速されると $qV$ [eV]のエネルギーを得る。 $^1\text{H}^+$ と $^2\text{H}^+$ は電荷 $q=1$ で同じため、4 MeVを得る。 $^4\text{He}^{2+}$ は $q=2$ であるため、8 MeVを得る。

問11 核反応における吸熱反応のしきい値を示す式は次のうちどれか。ただし、Q値を $Q$ 、標的核の質

量を  $M$ 、入射粒子の質量を  $m$  とする。

- 1  $-Q (M+m)/M$
- 2  $-Q (M+m)/m$
- 3  $-QM/(M+m)$
- 4  $-Qm/(M+m)$
- 5  $-QM/m$

〔解答〕 1

〔解説〕  $Q$  値は、核反応で生じる全エネルギーを表し、吸熱反応の場合  $Q$  値は負となる。反応の瞬間、入射粒子が持ち込む運動エネルギーのうちの一部により標的核は反跳を受け、核反応に必要なエネルギーは  $Q$  値より大きくなる。また、しきい値は、反応が起こる最低のエネルギーであり、入射粒子の運動エネルギーと等しい。一方、核反応には入射粒子と標的核の相対速度の運動エネルギーが全て使われ、これが  $Q$  値の絶対値と等しくなる。相対速度は入射粒子の速度  $v$  と等しいので、換算質量を  $\mu = \frac{Mm}{M+m}$  として、

$$\frac{1}{2}\mu v^2 = -Q$$

入射粒子の運動エネルギーは、

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\mu \frac{M+m}{M} v^2 = -\frac{M+m}{M} Q$$

従って、吸熱反応のしきい値は、 $-Q(M+m)/M$  となる。

問 12 次の核反応のうち、発熱反応として正しいものの組合せはどれか。

- A  ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$
- B  ${}^9\text{Be}(\alpha, n){}^{12}\text{C}$
- C  ${}^{27}\text{Al}(n, \alpha){}^{24}\text{Na}$
- D  ${}^{59}\text{Co}(n, \gamma){}^{60}\text{Co}$

- 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 熱中性子との反応断面積が大きい  ${}^6\text{Li}$  の  $(n, \alpha)$  反応は中性子検出器に用いられる。熱中性子と反応するので、発熱反応である。
- B：正  ${}^9\text{Be}$  に  ${}^{210}\text{Po}$ 、 ${}^{226}\text{Ra}$ 、 ${}^{239}\text{Pu}$ 、 ${}^{241}\text{Am}$  などから放出される数 MeV の  $\alpha$  粒子を照射し、中性子源としている。中性子は最大 10 MeV 程度のエネルギーをもつため、発熱反応である。
- C：誤  ${}^{27}\text{Al}$  の中性子による放射化では、熱中性子に対して  $(n, \gamma)$  反応により  ${}^{27}\text{Al}$  が生成し、速中性子に対して  $(n, \alpha)$  反応により  ${}^{24}\text{Na}$  が生成する。熱中性子では  $(n, \alpha)$  は起こらないため、吸熱反応である。

D: 正  $^{59}\text{Co}(n, \gamma)^{60}\text{Co}$  の反応によって原子炉で  $^{60}\text{Co}$  は生成される。 $\gamma$  線のエネルギーは正なので、発熱反応である。

問 13 陽電子の消滅に関する次の記述のうち、正しいものの組み合わせはどれか。

- A 陽電子はその運動エネルギーが高いほど消滅しやすい。
- B 0.511 MeV の光子が放出される。
- C 運動量保存則は成り立たない。
- D 陽電子は物質中の電子と結合して消滅する。

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〕

A: 誤 陽電子の消滅断面積は、電子・陽電子間の速度が光速より十分小さい場合、速度に反比例する。つまり、運動エネルギーが高いほど消滅しにくい。

B: 正 陽電子が物質中の電子と結合して消滅すると、運動量保存則により、 $180^\circ$  方向に等しいエネルギーを持つ光子が2つ放出される。エネルギー保存則により、この光子のエネルギーは電子の質量エネルギーと等しい 0.511 MeV となる。

C: 誤 上記 B を参照。

D: 正 上記 B を参照。

問 14 次の記述のうち正しいものの組合せはどれか。

- A 数 MeV の  $\alpha$  線の空気中の飛程はエネルギーの3乗に比例する。
- B 空気中における 4 MeV の  $\alpha$  線の飛程と 2 MeV の陽子の飛程は等しい。
- C 5 MeV の  $\alpha$  線と 1 MeV の電子線に対する空気中の W 値は 5% 以下の差異で等しい。
- D 一定の厚さの媒質を通過した  $\alpha$  線のエネルギーはばらつきを示し、その分布は近似的にガウス分布で表される。
- E 3 MeV の電子線 2  $\mu\text{A}$  が 100 g の水に完全に吸収されるとき、吸収線量率は  $60 \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1}$  である。

1 ABC のみ      2 ABE のみ      3 ADE のみ      4 BCD のみ      5 CDE のみ

〔解答〕 5

〔解説〕

A: 誤 数 MeV の  $\alpha$  線の空気中での飛程はエネルギーの  $3/2$  乗に比例する。

B: 誤 重荷電粒子の飛程は、質量  $M$  の逆数とエネルギー  $E$  を原子番号  $Z$  で割った量の二乗の積  $M^{-1}(E/Z)^2$  に比例する。従って、4 MeV の  $\alpha$  線は  $4^{-1}(2/2)^2 = 0.25$ 、2 MeV の陽子は  $1^{-1}(2/1)^2 = 4$  なので、両者の飛程は等しくない。

C: 正 空気中の W 値は、 $\alpha$  線のエネルギーが 1~10 MeV の範囲でほぼ一定の 35.5 eV をとり、電子線

も幅広いエネルギー範囲でほぼ一定の 34.0 eV の値をとり、両者の間の差異は 5%以下である。

D: 正 一定の厚さの媒質を通過すると、 $\alpha$ 線は確率的にエネルギーを失うため、通過後のエネルギー分布は、平均エネルギーに対して対称な分布であるガウス分布で近似できる。

E: 正 3 MeV の電子線  $2 \mu\text{A}$  の仕事率は、 $(3 \times 10^6 \text{ V}) \times (2 \times 10^{-6} \text{ A}) = 6 \text{ J s}^{-1}$ である。これが 100 g の水に完全に吸収されると、吸収線量率は、 $(6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}) / (0.1 \text{ kg}) = 60 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} = 60 \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1}$ となる。

問 15 1.0 MeV 電子のアルミニウム中の最大飛程[cm]として最も近い値は次のうちどれか。ただし、アルミニウムの密度を  $2.7 \text{ g/cm}^3$  とする。

- 1 0.010                      2 0.050                      3 0.10                      4 0.15                      5 0.20

[解答] 4

[解説] 電子の最大飛程  $R [\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}]$  は、電子のエネルギーを  $E [\text{MeV}]$  とすると、次の式で与えられる。

$$R = 0.542E - 0.133 \quad (0.8 \text{ MeV} < E), \quad R = 0.407E^{1.38} \quad (0.15 \text{ MeV} < E < 0.8 \text{ MeV})$$

$E = 1.0 \text{ MeV}$  のとき、 $R = 0.409 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。アルミニウム中で 1 MeV 電子の最大飛程は、次のように求められる。

$$(0.409 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}) / (2.7 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}) = 0.15 \text{ cm}$$

問 16 5 MeV の  $\alpha$  線と物質の相互作用に関する記述として、正しいものの組合せは次のうちどれか。

- A 放射阻止能は衝突阻止能と比べて小さい。  
B 衝突阻止能は物質の原子番号の 2 乗に比例する。  
C 飛程の終端付近で比電離が大きくなる。  
D 水中でチェレンコフ光が発生する。

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

[解答] 3

[解説]

A: 正  $\alpha$ 粒子は質量が大きいため、放射阻止能は衝突阻止能と比べて無視できる。

B: 誤  $\alpha$ 粒子の衝突阻止能は、物質の原子番号の 1 乗に比例する。

C: 正 飛程の終端付近で比電離が大きくなり、この現象はブラッグピークと呼ばれる。

D: 誤 5 MeV の  $\alpha$ 粒子の速さ  $v$  と光速  $c$  の比  $v/c$  は、その質量を  $m$  とし、運動エネルギー  $\frac{1}{2}mv^2$  を  $\frac{1}{2}mc^2 \left(\frac{v}{c}\right)^2$  と変形すると概算できる。ここで、 $mc^2$  を簡単のため 4 GeV とすると、 $v/c$  は  $1/20$  となる。このときの速さ  $v$  は屈折率 1.33 の水中での光速より遅いため、チェレンコフ光は発生しない。

問 17 1 MeV のコリメートされた光子が密度  $2.3 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  のコンクリートに入射するとき、最初

(令和6年度) 第1種物理学

に相互作用を起こすまで進むコンクリート中での平均自由行程[m]として、最も近い値は次のうちどれか。ただし、1 MeV の光子に対する質量減弱係数を  $6.5 \times 10^{-3} \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$  とする。

- 1 0.067                      2 0.11                      3 0.15                      4 0.19                      5 0.23

〔解答〕 1

〔解説〕 平均自由行程[m]は、線減弱係数 $[\text{m}^{-1}]$ の逆数である。質量減弱係数 $[\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}]$ は、線減弱係数を物質の密度 $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$ で割ったものである。従って、平均自由行程は、質量減弱係数と密度の積の逆数となる。

$$\{(6.5 \times 10^{-3} \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}) \times (2.3 \times 10^3 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3})\}^{-1} = 0.067 \text{ m}$$

問 18 光電効果に関する次の記述のうち、誤っているものはどれか。

- 1 断面積は軌道電子の数に依存する。
- 2 光電子のエネルギーは入射光子の振動数に依存する。
- 3 光電子のエネルギーは入射光子の数に依存する。
- 4 断面積は入射光子の振動数に依存する。
- 5 入射光子の波長が限界波長よりも長い場合は起こらない。

〔解答〕 3

〔解説〕

- 1：正 光電効果の断面積は、標的原子の原子番号の5乗に比例するため、軌道電子数に依存する。
- 2：正 光電効果では、軌道電子が光子からエネルギーを受け取り、光電子として放出される。エネルギー保存則より、光電子のエネルギーは入射光子のエネルギーに依存するが、光子のエネルギーは光子の振動数に比例するため、光電子のエネルギーは振動数に依存する。
- 3：誤 光電効果は、1つの光子が起こす現象であり、光電子のエネルギーは光子数には依存しない。
- 4：正 光電効果の断面積は、入射光子のエネルギーの3.5乗に反比例するため、光電効果の断面積は光子の振動数に比例する。
- 5：正 光電効果は、入射光子のエネルギーが仕事関数より大きい時に起こるので、光電効果が起こる限界波長が存在する。

問 19 コンプトン効果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 光子と電子の衝突の前後でエネルギーと運動量が保存される。
- B 入射光子のエネルギーが高いほど起こりやすい。
- C 散乱光子のエネルギーは散乱角が大きいほど低い。
- D 電子による光子の弾性散乱である。
- E 散乱光子は入射光子よりも波長が長い。

(令和6年度) 第1種物理学

- 1 ABCのみ    2 ABDのみ    3 ACEのみ    4 BDEのみ    5 CDEのみ

〔解答〕 3

〔解説〕

- A：正 コンプトン効果は、光子が電子に衝突する現象であり、エネルギーと運動量が保存される。
- B：誤 コンプトン効果の減弱係数は、入射光子のエネルギーが増加するとともに減少するため、エネルギーが高いほど起こりにくい。
- C：正 入射光子が電子に多くのエネルギーを与えるほど、散乱光子の散乱角が大きくなる。そのため、散乱角が大きいほど散乱光子のエネルギーは低くなる。
- D：誤 コンプトン効果は、電子による光子の散乱現象であるが、入射光子と散乱光子のエネルギーが異なるため、非弾性散乱である。
- E：正 コンプトン効果では、光子は電子にエネルギーを与えることで、自身のエネルギーが減少する。光子のエネルギーは波長に反比例するため、散乱光子の波長は入射光子よりも長くなる。

問 20 8.0 MeV の中性子が重水素( $^2\text{H}$ )に弾性衝突する場合、中性子のエネルギーが 80 keV 以下となるための最小の衝突回数[回]として正しいのは次のうちどれか。

- 1 3            2 5            3 7            4 9            5 11

〔解答〕 1

〔解説〕 中性子が重水素と弾性衝突する場合、最もエネルギーを失うのは、重水素が中性子の進行方向に散乱される場合である。中性子、重水素の質量をそれぞれ  $m$ 、 $2m$ 、入射中性子の速度を  $v$ 、散乱後の中性子の速度を  $v'$ 、散乱重水素の速度を  $V'$  とすると、運動量保存則とエネルギー保存則は次のようになる。

$$mv = mv' + 2mV', \quad \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv'^2 + \frac{1}{2}2mV'^2,$$

これを  $v'$  と  $V'$  について解くと、

$$(v', V') = \left(-\frac{1}{3}v, \frac{2}{3}v\right), (v, 0)$$

つまり、中性子は衝突毎にエネルギーが  $1/9$  になる。ただし、 $(v, 0)$  は相互作用せずに中性子が通り過ぎる解であるため不適当。8 MeV の中性子のエネルギーが 80 keV 以下になる衝突回数  $n$  は次の不等式を満たす。

$$\left(\frac{1}{9}\right)^n < \frac{80 \text{ keV}}{8 \text{ MeV}} = \frac{1}{100}$$

最小の  $n$  は 3 となる。

問 21 運動エネルギー20 MeV の中性子が真空中で 10.0 m の距離を飛行する場合、飛行時間[ns]として最も近い値はどれか。ただし中性子の質量はエネルギーに換算すると 940 MeV とする。

- 1 1.7            2 11            3 17            4 110            5 170

〔解答〕 5

〔解説〕 運動している物体の全エネルギー $E$ と静止質量 $E_0$ の比は以下の式で表せる。

$$\frac{E}{E_0} = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

ここで $\beta$ は粒子の速度と光速の比( $v/c$ )である。この式を $\beta$ について解く。

$$\sqrt{1-\beta^2} = \frac{940}{960} = \frac{47}{48} = 1 - \frac{1}{48}$$

$$1-\beta^2 = \left(1 - \frac{1}{48}\right)^2 = 1 - \frac{1}{24} + \left(\frac{1}{48}\right)^2 \sim 1 - \frac{1}{24}$$

$$\beta \approx \sqrt{1/24} = 0.204 \dots$$

よって、中性子の速度は光速の20%程度である。真空中の光速は秒速約30万kmで、10m飛行するのに約33.3nsである。よって飛行時間として最も近いのは5の170nsである。

問 22 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 1 fm は  $1 \times 10^{-15}$  m である。  
B 1 pSv は  $1 \times 10^{-9}$  Sv である。  
C 1 GeV は  $1 \times 10^9$  eV である。  
D 1 PBq は  $1 \times 10^{12}$  Bq である。

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

〔解答〕 2

〔解説〕 SI 接頭語の問題である。

f(フェムト,  $10^{-15}$ ), p(ピコ,  $10^{-12}$ ), n(ナノ,  $10^{-9}$ ),  $\mu$ (マイクロ,  $10^{-6}$ ), m(ミリ,  $10^{-3}$ ), k(キロ,  $10^3$ ), M(メガ,  $10^6$ ), G(ギガ,  $10^9$ ), T(テラ,  $10^{12}$ ), P(ペタ,  $10^{15}$ )などがある。

よって正しいのはAとCであり、正解は2である。

問 23 次の量と単位の関係のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 線エネルギー付与            ——             $\text{J} \cdot \text{m}^{-1}$   
B 線量当量                    ——             $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$   
C 質量エネルギー転移係数    ——             $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$   
D 線減弱係数                 ——             $\text{J} \cdot \text{m}^{-1}$   
E 照射線量                    ——             $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$

- 1 ABCのみ    2 ABDのみ    3 ACEのみ    4 BDEのみ    5 CDEのみ

〔解答〕 1

〔解説〕 線減弱係数は単位長さあたりの減衰割合を表すもので、単位は  $\text{m}^{-1}$  ([長さ]<sup>-1</sup>) となる。照射線量は単位質量の空気と光子が相互作用して生成する正または負の電荷量の総和を表すもので、単位は  $\text{C}\cdot\text{kg}^{-1}$ [電荷] $\cdot$ [質量]<sup>-1</sup> となる。A, B, C の組み合わせは正しいため、正解は 1 である。

問 24 GM カウンタの計数値の統計精度(相対誤差)を 2.5%にするには、計数値を何カウントにすればよいか。最も近い値を次のうちから選べ。

- 1 100                      2 400                      3 800                      4 1200                      5 1600

〔解答〕 5

〔解説〕 計数値の統計精度は計数値の平方根となるため、計数値を  $N$  とすると  $\sqrt{N}/N = 0.025$  である。 $N$  について解くと  $N = 1600$  となり、5 が正しい。

問 25  $\alpha$  線のエネルギー測定に適した検出器として、正しいものの組合せは次のうちどれか。

- A 表面障壁型 Si 半導体検出器
- B Ge 半導体検出器
- C NaI(Tl)シンチレーション検出器
- D グリッド付電離箱

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

〔解答〕 3

〔解説〕 アルファ線は物質中のエネルギー損失が大きいため、エネルギー測定を行うためには検出器の窓材や不感層が非常に薄くなければならない。通常、Ge 半導体検出器や NaI(Tl)シンチレーション検出器は被覆材があるために不適である。一方、表面障壁型 Si 半導体検出器やグリッド付電離箱は  $\alpha$  線のエネルギー測定に用いられており、3 が正しい。

問 26 次の線量計とその測定原理のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A OSL 線量計                      \_\_\_\_\_                      熱ルミネセンス
- B DIS 線量計                      \_\_\_\_\_                      気体の電離
- C SSTD                      \_\_\_\_\_                      飛跡の形成
- D TLD                      \_\_\_\_\_                      シンチレーション

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

〔解答〕 4

〔解説〕 OSL (Optically Stimulated Luminescence) 線量計は光刺激ルミネセンス、DIS (Direct Ion Storage) 線量計は気体の電離(電離箱)、SSTD (Solid State Track Dosimeter) 線量計は飛跡の形

成(固体飛跡検出), TLD (Thermoluminescence Dosimeter) 線量計は熱ルミネッセンスを測定原理としている。よってBとCが正しく, 4が正しい。

問27 中性子サーベイメータ(中性子線量当量計)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 1cm 線量当量換算係数のエネルギー依存性を再現するように, 感度が工夫されている。
- B  $\gamma$  線が混在する場合でも,  $\gamma$  線を含めた場の線量当量値を測定することができる。
- C 検出部には $^3\text{He}$  比例計数管などの熱中性子検出器が用いられる。
- D 数十 MeV を超える中性子に対応するため, 減速材の中に原子番号の高い物質を挿入しているものもある。

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

〔解答〕3

〔解説〕中性子サーベイメータは中性子線量当量を感度良く測定するために,  $\gamma$  線に対する感度を低くしている。よってBは誤りである。他の記述は正しいため, 正解は3である。

問28 有機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 発光の減衰時間は一般に数 ns と短いため, 高計数率の測定に使用できる。
- B  $\gamma$  線に対する発光効率 NaI(Tl)シンチレータよりも高い。
- C 1 MeV の光子に対しては, コンプトン散乱が主な相互作用となる。
- D 有機液体シンチレータは,  $^3\text{H}$  からの  $\beta$  線の測定に使用できる。

- 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〕 $\gamma$  線に対する発光効率としては, 原子番号が大きく光量も多い NaI(Tl)シンチレータが高い。そのためBは誤りである。その他のA,C,Dの記述は正しいため, 正解は1である。

問29 図1のように壊変する $^{24}\text{Na}$ 線源からの $\gamma$ 線をCdZnTe半導体検出器で測定したところ, 図2の波高分布が得られた。図2のピーク①に相当するエネルギー[MeV]として最も近い値は次のう

ちどれか。なお、図2において、サムピークは観測されていない。

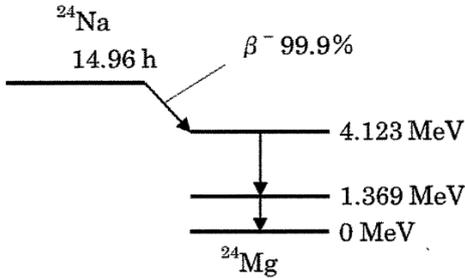


図1 壊変図

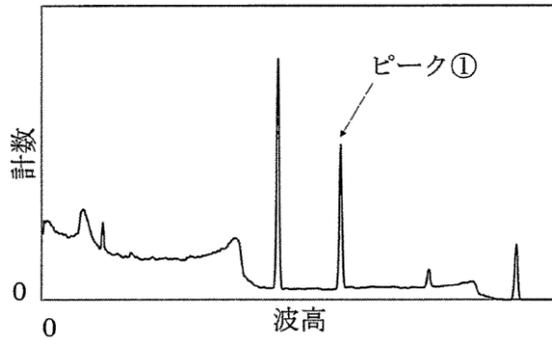


図2 波高分布

- 1 1.369      2 1.732      3 2.754      4 3.101      5 4.123

〔解答〕 2

〔解説〕 図1の壊変図より  $^{24}\text{Na}$  は壊変に伴い、1.369 MeV と 2.754(=4.123-1.369) MeV の2本の  $\gamma$  線を放出することが分かる。1.022 MeV を超え、エネルギーが高くなるにつれて電子対生成が起こりやすくなるためにシングルエスケープピーク(2.243 MeV)およびダブルエスケープピーク(1.732 MeV)が観測される可能性がある。サムピークは観測されていないため、図2の高エネルギー側から4本のピークは1.369 MeV、1.732 MeV、2.243 MeV、2.754 MeV と考えられ、ピーク①は1.732 MeV に相当する。よって正解は2である。

問30 バックグラウンド計数値の標準偏差の3倍を検出下限値としたとき、表面汚染サーベイメータの検出下限値[Bq・cm<sup>-2</sup>]として最も近い値は次のうちどれか。なお、測定時間は60秒、バックグラウンド計数値は100カウント、機器効率は40%、線源効率は50%、入射窓面積は20 cm<sup>2</sup>とする。

- 1  $2.0 \times 10^{-2}$     2  $3.1 \times 10^{-2}$     3  $4.2 \times 10^{-2}$     4  $1.3 \times 10^{-1}$     5  $5.0 \times 10^{-1}$

〔解答〕 4

〔解説〕 バックグラウンド計数率の標準偏差は  $\sqrt{100}/60 = 1/6$  cps である。この3倍を検出下限値とするので、0.5 cps となる。cps を Bq・cm<sup>-2</sup> にするために各効率を補正すると、表面汚染サーベイメータの検出下限値  $\varepsilon$  は、

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 0.5 \times \frac{1}{0.4} \times \frac{1}{0.5} \times \frac{1}{20} \\ &= 0.125 \end{aligned}$$

となる。よって正解は4である。

問31 次のI、II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 加速器は、加速電場の与え方により、**A**などの直流電場を用いるものと**B**などの高周波交流電場を用いるものとに大別される。**A**は、変圧器によって昇圧された交流電圧を整流器とコンデンサを組み合わせた多段の**C**回路に印加して発生する直流電圧を加速管両端に加えて粒子加速を行う**D**である。段数  $n$  の**C**回路に振幅  $\pm V_0$  の交流電圧を加えると最終的に**E**の直流電圧を得ることができる。

**B**は、磁場による荷電粒子(イオン)の周回運動を利用してイオンを多重回加速させ、高エネルギーを得るようにした加速器である。真空中に2個の**F**と呼ばれる半円形中空電極を狭い空隙を隔てて配置し、電極と垂直方向に一定で一様な磁場を加え、中心付近にイオンを入射し円軌道に沿って周回させる。磁束密度を  $B$ 、イオンの質量を  $M$ 、速度を  $v$  (ただし、非相対論的な速度とする)、電荷を  $q$  とすると、円運動の半径  $r$  は、

$$r = \text{ア} v$$

となり、イオンの円運動の周期  $T_c$  は

$$T_c = \text{イ}$$

である。イオンが空隙を通過する際に電極間に電圧  $V_1$  がかかるようにし、さらに半周した際に電圧が逆転するような周期の高周波電圧を印加すれば、イオンは周回ごとに**G**のエネルギーで加速される。イオンの速度が大きくなるに従い円運動の半径は大きくなりらせん状の軌道になるが、周期は一定であるから高周波電圧の周波数は一定で良い。イオンを中心から半径  $R$  の位置で取り出すと、そのエネルギー  $E$  は

$$E = \text{ウ}$$

である。重陽子を磁束密度  $B = 1.5 \text{ T}$  で加速して半径  $R = 0.60 \text{ m}$  の位置で取り出すときのエネルギーは  $E = \text{エ} \text{ MeV}$  となる。ただし、重陽子の質量を  $M = 3.3 \times 10^{-27} \text{ kg}$  とする。

<A、Bの解答群>

- |                     |                   |
|---------------------|-------------------|
| 1 コッククロフト・ワルトン型加速装置 | 2 ファン・デ・グラーフ型加速装置 |
| 3 変圧器型加速装置          | 4 サイクロトロン         |
| 5 シンクロトロン           | 6 直線加速装置          |
| 7 マイクロトロン           | 8 ベータトロン          |

<C、Dの解答群>

- |              |            |            |          |
|--------------|------------|------------|----------|
| 1 ダイノード      | 2 電子増倍     | 3 倍電圧整流    | 4 定電流昇圧  |
| 5 アクティブ・フィルタ | 6 時間・波高変換  | 7 大電力高周波   | 8 高周波加速器 |
| 9 静電加速器      | 10 レーザー加速器 | 11 電磁誘導加速器 | 12 線形加速器 |
| 13 タンデム型加速器  |            |            |          |

<Eの解答群>

- |           |                   |                     |                      |                       |
|-----------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| 1 $nV_0$  | 2 $\sqrt{2} nV_0$ | 3 $n(V_0/\sqrt{2})$ | 4 $2nV_0$            | 5 $4nV_0$             |
| 6 $V_0^n$ | 7 $2V_0^n$        | 8 $4V_0^n$          | 9 $(\sqrt{2} V_0)^n$ | 10 $(V_0/\sqrt{2})^n$ |

<Fの解答群>

(令和6年度) 第1種物理学

- 1 カソード                      2 アノード                      3 ディー                      4 ダイノード  
5 偏向電極                      6 加速空洞                      7 光陰極

<Gの解答群>

- 1  $qV_1$                       2  $\sqrt{2}qV_1$                       3  $q(V_1/\sqrt{2})$                       4  $2qV_1$                       5  $4qV_1$   
6  $qV_1^2/2$                       7  $qV_1^2$                       8  $2qV_1^2$                       9  $4qV_1^2$

<アの解答群>

- 1  $qB$                       2  $qBM$                       3  $\frac{1}{qB}$                       4  $\frac{M}{qB}$   
5  $\frac{qB}{M}$                       6  $\frac{qM}{B}$                       7  $\frac{qB}{2M}$                       8  $\frac{2qB}{M}$

<イの解答群>

- 1  $\frac{qB}{\pi M}$                       2  $\frac{qB}{2\pi M}$                       3  $\frac{\pi M}{qB}$                       4  $\frac{2\pi M}{qB}$   
5  $\frac{qB}{M}$                       6  $\frac{qM}{B}$                       7  $\frac{\pi qB}{2M}$                       8  $\frac{2\pi qB}{M}$

<ウの解答群>

- 1  $\frac{qBR}{M}$                       2  $\frac{qBR}{2M}$                       3  $\frac{q(BR)^2}{M}$                       4  $\frac{B(qR)^2}{2M}$   
5  $\frac{(qBR)^2}{M}$                       6  $\frac{(qBR)^2}{2M}$                       7  $\frac{M}{q(BR)^2}$                       8  $\frac{2M}{B(qR)^2}$   
9  $\frac{M}{(qBR)^2}$                       10  $\frac{2M}{(qBR)^2}$                       11  $\frac{MR}{qB}$                       12  $\frac{M}{qBR}$

<エの解答群>

- 1 8.0                      2 10                      3 12                      4 14                      5 16  
6 18                      7 20                      8 22                      9 24                      10 26

[解答] I A-1 B-4 C-3 D-9 E-4 F-3 G-4 ア-4 イ-4 ウ-6 エ-7

[解説]

E :  $n\{V_0 - (-V_0)\} = 2nV_0$

ア : イオンが磁場 $B$ で受けるローレンツ力 $qvB$ が円運動の向心力 $M\frac{v^2}{r}$ となるから

$$qvB = M\frac{v^2}{r}$$

$$r = \frac{M}{qB}v$$

イ : 周期 $T_C$ は、イオンの円運動の一周の長さ $2\pi r$ を周回する速度 $v$ で割った値となるから

$$T_C = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{v} \times \frac{M}{qB}v = \frac{2\pi M}{qB}$$

G :  $E = q\{V_1 - (-V_1)\} = 2qV_1$

ウ : 半径 $R$ の位置でのイオンの速度を $v_R$ とすると、半径 $R$ の位置でのイオンの運動エネルギーは

$$E = \frac{1}{2} M v_R^2$$

ここで、アの解答より  $R = \frac{M}{qB} v_R$  であり、 $v_R = \frac{qBR}{M}$  となるから、

$$E = \frac{1}{2} M \left( \frac{qBR}{M} \right)^2 = \frac{(qBR)^2}{2M}$$

エ： 重陽子の電荷は  $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$  であるから、ウの解答より

$$\begin{aligned} E &= \frac{\{(1.6 \times 10^{-19}) \times 1.5 \times 0.60\}^2}{2 \times (3.3 \times 10^{-27})} \text{ [J]} = 3.14 \times 10^{-12} \text{ [J]} \\ &= \frac{3.14 \times 10^{-12}}{(1.6 \times 10^{-19}) \times 10^6} \text{ [MeV]} \approx 20 \text{ [MeV]} \end{aligned}$$

II  を中性子発生装置として使用する例では、加速した重水素イオンをターゲット電極に吸蔵させた三重水素の原子核に衝突させて中性子を発生させる。この反応は D-T 反応と呼ばれ、



と表すことができる。ここで、D は重水素  ${}^2\text{H}$ 、T は三重水素  ${}^3\text{H}$ 、n は中性子、Q は反応の Q 値である。

この発生装置における  と中性子の運動エネルギーの和を  $Q_T$  とすると、 $Q_T$  は入射粒子が持ち込む運動エネルギーと Q 値の和となる。このときに発生する中性子のエネルギーは  である。 ${}^2\text{H}$ 、 ${}^3\text{H}$  および  における核子 1 個あたりの平均結合エネルギーは、それぞれ 1.1 MeV、 MeV、7.1 MeV であるから、D-T 反応における Q 値は  MeV となる。ただし、 ${}^3\text{H}$  の核子 1 個あたりの平均結合エネルギー  MeV については、次の D-D 反応



から求めた。

<H の解答群>

- 1  ${}^1\text{H}$       2  ${}^2\text{H}$       3  ${}^3\text{H}$       4  ${}^3\text{He}$       5  ${}^4\text{He}$   
6  ${}^6\text{Li}$

<オの解答群>

- 1  $0.1Q_T$       2  $0.2Q_T$       3  $0.5Q_T$       4  $0.8Q_T$       5  $Q_T$   
6  $0.1Q$       7  $0.2Q$       8  $0.6Q$       9  $Q$       10  $Q_T - Q$   
11  $0.5(Q_T - Q)$

<カの解答群>

- 1 1.3      2 1.6      3 2.2      4 2.8      5 3.4  
6 4.0      7 4.5      8 5.0      9 5.6      10 6.2  
11 6.8

<キの解答群>

- 1 10      2 12      3 14      4 16      5 18  
6 20      7 22      8 24      9 26      10 28  
11 30

〔解答〕 II H-5 オ-4 カ-4 キ-5

〔解説〕

オ： ${}^4\text{He}$ の質量を $M$ 、速度を $V$ 、また中性子の質量を $m$ 、速度を $v$ とすると、運動量保存則により  
 $MV = mv$ であるから、

$$\frac{v}{V} = \frac{M}{m} \approx \frac{4}{1} = 4$$

したがって、 ${}^4\text{He}$ の運動エネルギーを $E_{4\text{He}}$ 、中性子の運動エネルギーを $E_n$ とすると

$$\frac{E_n}{E_{4\text{He}}} = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{\frac{1}{2}MV^2} = \frac{m}{M} \times \left(\frac{v}{V}\right)^2 \approx \frac{1}{4} \times 4^2 = 4$$

ここで、 $E_{4\text{He}} + E_n = Q_T$ であるから、

$$\frac{1}{4}E_n + E_n = Q_T$$

$$E_n = 0.8Q_T$$

カ： ${}^2\text{H}$ および ${}^3\text{H}$ における核子1個あたりの平均結合エネルギーをそれぞれ $E_2$ および $E_3$ とすると、



$$-2E_2 - 2E_2 = -3E_3 + 0 + 4.0 \text{ [MeV]}$$

$$4E_2 = 3E_3 - 4.0 \text{ [MeV]}$$

ここで、 $E_2 = 1.1 \text{ [MeV]}$ であるから

$$3E_3 = 4 \times 1.1 \text{ [MeV]} + 4.0 \text{ [MeV]}$$

$$E_3 = 2.8 \text{ [MeV]}$$

キ： ${}^2\text{H} + {}^3\text{H} \rightarrow {}^4\text{He} + n + Q$ から、カの解答より

$$-2 \times 1.1 - 3 \times 2.8 = -4 \times 7.1 + 0 + Q$$

$$Q = 17.8 \approx 18 \text{ [MeV]}$$

問 32 次の I、II 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 光子の放射線場の状態を表す最も基本的な量として、粒子  A と  B が用いられる。粒子  A は、評価点を中心とする微小球において、放射線の粒子が通過した数を球の最大断面積で除した値で表される。一方、乱数を用いて粒子の挙動をシミュレーションする  C 法では、評価対象領域を通過した粒子飛跡の長さの合計を、その領域の体積で除すことにより計算される。
- B は、入射した非荷電粒子線と物質中での相互作用により発生した二次荷電粒子の  D の総和の期待値を物質の質量で除した値であり、エネルギー  A と  E の積で計算される。二次荷電粒子は、物質中での電離や励起の他に、 F により  D の一部を失うことがあるが、この寄与を除いたものを衝突  B と呼ぶ。

<A~Cの解答群>

- |           |            |            |           |
|-----------|------------|------------|-----------|
| 1 1cm線量当量 | 2 実効線量     | 3 等価線量     | 4 カーマ     |
| 5 エネルギー   | 6 フルエンス    | 7 ラジアン     | 8 速度      |
| 9 温度      | 10 質量      | 11 波長      | 12 メスバウアー |
| 13 モンテカルロ | 14 ルンゲ・クッタ | 15 バイオアッセイ |           |

<D~Fの解答群>

- |               |            |               |
|---------------|------------|---------------|
| 1 制動放射        | 2 電子なだれ    | 3 光電効果        |
| 4 コンプトン散乱     | 5 ブラッグ反射   | 6 質量エネルギー吸収係数 |
| 7 質量エネルギー転移係数 | 8 質量減弱係数   | 9 線阻止能        |
| 10 初期運動エネルギー  | 11 位置エネルギー | 12 線エネルギー付与   |
| 13 速度         | 14 内部エネルギー | 15 質量         |

〔解答〕 I A-6 B-4 C-13 D-10 E-7 F-1

〔解説〕 なし

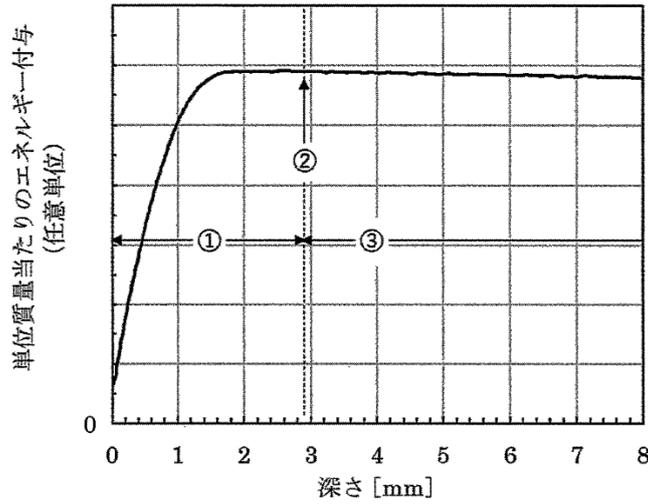
II 光子の空気 **B** の測定には、**G** を応用した電離箱が用いられる。1.0 MeV 光子をグラファイトに入射させたときの単位質量当たりのグラファイトへのエネルギー付与と深さの関係を図に示す。図中の①では、二次電子の増加とともにエネルギー付与が増加しており、これを **H** 領域と呼ぶ。二次電子の **I** に対応する②近傍において、エネルギー付与は最大となる。**J** が成立している③の領域では、エネルギー付与はほぼ一定となる。ただし、入射した光子はグラファイト中で減弱するため、厳密にはエネルギー付与は一定とはならず、深さとともに漸減する。

標準状態(0°C、1気圧)において、グラファイトの壁厚が1.0 mmで容積100 cm<sup>3</sup>の空気の電離領域を持つグラファイト電離箱で光子の空気 **B** を測定することを試みる。まず、**G** に基づき、グラファイトの **K**  $D_{gr}[\text{Gy}]$  を求める。空気のW値を34 eV、密度を0.0013 g・cm<sup>-3</sup>、質量阻止能を  $S_{air}[\text{J} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}]$ 、グラファイトの質量阻止能を  $S_g[\text{J} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}]$ 、電離電荷を  $C[\text{C}]$  とすると、

$$D_{gr} = \text{ア}$$

となる。次に、グラファイトに対する空気の **L** の比  $R$  を乗じて、空気の **K** を求める。図の③の領域では衝突 **B** と **K** が一致することを利用して、これに **F** で電子がエネルギーを失う割合  $g$  による補正を行うことにより、空気 **B** が求められる。光子のエネルギーが1.0 MeVの場合、**J** を成立させるには1.0 mmのグラファイトでは壁の厚さが足りない。そこで、電離箱の外側にグラファイト壁を追加することとした。壁による光子の減弱を最小にすることを考慮すると、追加するグラファイトの最適な厚さは約 **イ** mm となる。

1.0 MeV 光子を照射したところ、電離箱で0.10 nAの電流が測定された。空気とグラファイトの質量阻止能は等しく、 $R$  を1.0、 $g$  を0.0028と仮定すると、空気 **B** 率は **ウ** Gy・h<sup>-1</sup> となる。



図

<G~Iの解答群>

- |                  |                |             |
|------------------|----------------|-------------|
| 1 関心             | 2 制限比例         | 3 再結合       |
| 4 放電             | 5 ビルドアップ       | 6 阻止能       |
| 7 線エネルギー付与       | 8 半価層          | 9 ラウエ斑点     |
| 10 飛程            | 11 質量欠損        | 12 ホイヘンスの原理 |
| 13 ブラッグ・グレイの空洞原理 | 14 ブラッグ・クレーマン則 | 15 黒体輻射     |

<J、Kの解答群>

- |               |             |         |
|---------------|-------------|---------|
| 1 永続平衡        | 2 荷電粒子平衡    | 3 過渡平衡  |
| 4 デュエヌ・フントの法則 | 5 キルヒホッフの法則 | 6 臨界    |
| 7 半減期         | 8 速度        | 9 弾性散乱  |
| 10 非弾性散乱      | 11 照射線量     | 12 半価層  |
| 13 等価線量       | 14 吸収線量     | 15 実効線量 |

<アの解答群>

- |   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| 1 $3.8 \times 10^{-6} \cdot C \cdot \frac{S_{gr}}{S_{air}}$ | 2 $4.4 \times 10^{-3} \cdot C \cdot \frac{S_{gr}}{S_{air}}$ | 3 $2.6 \times 10^5 \cdot C \cdot \frac{S_{gr}}{S_{air}}$ | 4 $1.6 \times 10^{24} \cdot C \cdot \frac{S_{gr}}{S_{air}}$ |
| 5 $3.8 \times 10^{-6} \cdot C \cdot \frac{S_{air}}{S_{gr}}$ | 6 $4.4 \times 10^{-3} \cdot C \cdot \frac{S_{air}}{S_{gr}}$ | 7 $2.6 \times 10^5 \cdot C \cdot \frac{S_{air}}{S_{gr}}$ | 8 $1.6 \times 10^{24} \cdot C \cdot \frac{S_{air}}{S_{gr}}$ |
| 9 $3.8 \times 10^{-6} \cdot C \cdot S_{air} \cdot S_{gr}$   | 10 $4.4 \times 10^{-3} \cdot C \cdot S_{air} \cdot S_{gr}$  |  |   |
| 11 $2.6 \times 10^5 \cdot C \cdot S_{air} \cdot S_{gr}$     | 12 $1.6 \times 10^{24} \cdot C \cdot S_{air} \cdot S_{gr}$  |  |   |

<Lの解答群>

- |               |            |               |
|---------------|------------|---------------|
| 1 制動放射        | 2 電子なだれ    | 3 光電効果        |
| 4 コンプトン散乱     | 5 ブラッグ反射   | 6 質量エネルギー吸収係数 |
| 7 質量エネルギー転移係数 | 8 質量減弱係数   | 9 線阻止能        |
| 10 初期運動エネルギー  | 11 位置エネルギー | 12 線エネルギー付与   |

13 速度

14 内部エネルギー

15 質量

&lt;イの解答群&gt;

1 0.1

2 0.2

3 0.5

4 2.0

5 4.0

6 6.0

7 8.0

&lt;ウの解答群&gt;

1  $2.6 \times 10^{-5}$ 2  $5.9 \times 10^{-5}$ 3  $9.4 \times 10^{-5}$ 4  $2.6 \times 10^{-4}$ 5  $5.9 \times 10^{-4}$ 6  $9.4 \times 10^{-4}$ 7  $2.6 \times 10^{-3}$ 8  $5.9 \times 10^{-3}$ 9  $9.4 \times 10^{-3}$ 10  $2.6 \times 10^{-2}$ 11  $5.9 \times 10^{-2}$ 12  $9.4 \times 10^{-2}$ 13  $2.6 \times 10^{-1}$ 14  $5.9 \times 10^{-1}$ 15  $9.4 \times 10^{-1}$ 

〔解答〕 II G-13 H-5 I-10 J-2 K-14 ア-3 L-6 イ-4 ウ-12

〔解説〕

ア：電離箱の空気の吸収線量を  $D_{\text{air}}$  [Gy]、W 値を  $W$  [J]、質量を  $m$  [kg]、および光子により空気中に生成される電子-イオン対の数を  $N$ 、電気素量を  $e$  とすると、 $W = 34 \text{ [eV]} = 34e \text{ [J]}$ 、 $N = \frac{C}{e}$  であるから

$$D_{\text{air}} = \frac{WN}{m} = \frac{34e \times \frac{C}{e}}{(0.0013 \times 100) \times 10^{-3}} \approx 2.6 \times 10^5 \times C$$

ブラッグ・グレイの空洞原理により、

$$D_{\text{gr}} = D_{\text{air}} \frac{S_{\text{gr}}}{S_{\text{air}}} = 2.6 \times 10^5 \times C \times \frac{S_{\text{gr}}}{S_{\text{air}}}$$

イ：図において③の領域が始まるのは深さ 3.0mm 弱からなので、1.0 mm の厚さのグラファイトの壁に更に 2.0mm の壁を追加する必要がある。

ウ：今、 $\frac{S_{\text{gr}}}{S_{\text{air}}} = 1$  で、かつ吸収線量が衝突カーマ  $K_C$  と一致することから、アの解答より

$$K_C = D_{\text{gr}} = D_{\text{air}} = 2.6 \times 10^5 \times C \text{ [Gy]}$$

空気カーマを  $K$  とすると、 $K_C = K(1 - g)$  であるから、

$$K = \frac{K_C}{1 - g} = \frac{2.6 \times 10^5 \times C}{1 - 0.0028} \approx 2.6 \times 10^5 \times C \text{ [Gy]}$$

空気カーマ率を  $k$  とすると、電離箱で測定された電流は 0.1 [nA] であることから、

$$\begin{aligned} k &\approx 2.6 \times 10^5 \times (0.1 \times 10^{-9}) \text{ [Gy} \cdot \text{s}^{-1}] = 2.6 \times 10^{-5} \text{ [Gy} \cdot \text{s}^{-1}] \\ &= (2.6 \times 10^{-5}) \times 3600 \text{ [Gy} \cdot \text{h}^{-1}] \approx 9.4 \times 10^{-2} \text{ [Gy} \cdot \text{h}^{-1}] \end{aligned}$$