

物 化 生

試験が始まる前にこのページに書いてあることをよく読んでください。裏面以降は試験問題になっているので、指示があるまで見てはいけません。

1 試験時間：10:00～11:45（1時間45分）

2 問題数：6題（14ページ）

3 注意事項：

- ① 机の上に出してよい物は、受験票、鉛筆又はシャープペンシル（HB又はB）、鉛筆削り、消しゴム、時計に限ります。計算機能・通信機能・辞書機能等の付いた時計を机の上に出すことはできません。
- ② 電卓（電子式卓上計算機）、定規及び下敷きの使用はできません。
- ③ 携帯電話等の通信機器は使用できません。（電源を切ってカバン等にしまってください。）
- ④ 問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚れなどに気付いた場合は、手を挙げて試験監督員に知らせてください。ただし、試験問題の内容に関する質問にはお答えできません。
- ⑤ 試験中に気分の悪くなった場合などは、手を挙げ試験監督員の指示に従ってください。
- ⑥ 試験終了の合図があったら、すぐ筆記用具を置いて、解答をやめてください。
なお、試験監督員が解答用紙を集め終わるまでは、席を離れることはできません。
- ⑦ 問題用紙は持ち帰っていただいて結構です。
- ⑧ 不正行為をした場合は、受験資格を失います。

4 解答用紙の扱いについて：

- ① 解答用紙は機械で読み取りを行いますので、解答用紙の注意事項に従い丁寧に記入してください。また折り曲げたり汚したりしないでください。
- ② 筆記用具は、鉛筆又はシャープペンシル（HB又はB）を使用し、記入を訂正する場合には消しゴムできれいに消してください。
- ③ 解答用紙の所定の欄に氏名・受験地・受験番号を必ず記入してください。特に、受験番号は受験票と照合して正しく記入してください。
- ④ 試験は択一方式で、解答は1つの問につき1つだけ選択してください。2つ以上選択（マーク）した場合は、零点になります。
- ⑤ 記入欄以外の余白及び裏面には、何も記入しないでください。
- ⑥ 以上の記入方法の指示に従わない場合、又は必要とされる記入事項が正しく記入されていない場合は、採点がなされません。

問1 次のI～IIの文章の()、{ }の部分に入る最も適切な語句、記号、数値又は数式をそれぞれの解答群から1つだけ選べ。ただし、各選択肢は必要に応じて2回以上使ってもよい。

I α 壊変は、ある原子核が α 粒子すなわち、(A)原子核を放出して、より質量が小さい原子核に壊変する現象であり、通例、質量数が200以上の原子核で起こる。ただし、質量数が200以下で α 壊変を起こす原子核も知られており、例えば、半減期が 1.06×10^{11} 年である(B)のような天然放射性核種も存在する。

α 粒子は、斥力として作用する(C)よりも強い(D)で原子核内に閉じこめられており、(E)によれば核外へ出られないこととなる。 α 壊変における α 粒子の放出は(F)の(G)効果によって起こる。

α 壊変に伴い放出されるエネルギーは、壊変前後の(H)から求められ、 α 壊変のQ値と呼ばれる。

^{238}U (質量 238.0508 u)の α 壊変を例にとると、 ^{238}U は α 粒子(4.0026 u)を放出して娘核 ^{234}Th (234.0436 u)に壊変する。このとき ^{234}Th は、0.2%の確率で0.160 MeVの励起状態、23%の確率で0.0495 MeVの励起状態を経由し、残りは直接、基底状態となる。この壊変のQ値を計算すると{ イ } MeVとなる。

α 粒子のエネルギーは ^{234}Th の状態に依存し、最も放出率の大きい場合のエネルギーは{ ロ } MeVとなる。ただし、陽子の質量を1.0073 u、中性子の質量を1.0087 u、電子の質量を0.0005 uとし、1 u=932 MeVとする。

< I のA～Bの解答群 >

- | | | | | |
|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| 1 ^1H | 2 ^2H | 3 ^3H | 4 ^4He | 5 ^7Li |
| 6 ^{40}K | 7 ^{113}Cd | 8 ^{147}Sm | 9 ^{176}Lu | 10 ^{198}Au |

< I のC～Gの解答群 >

- | | | | |
|----------|----------|---------|----------|
| 1 遠心力 | 2 重力 | 3 クーロン力 | 4 慣性力 |
| 5 核力 | 6 長距離力 | 7 トンネル | 8 メスバウアー |
| 9 コンプトン | 10 トンプソン | 11 古典論 | 12 量子論 |
| 13 相対性理論 | 14 衝突理論 | | |

< I のHの解答群 >

- | | | |
|-------------|-----------|---------------|
| 1 波高欠損 | 2 質量欠損 | 3 ポテンシャルエネルギー |
| 4 内部転換エネルギー | 5 エネルギー損失 | |

< I のイ～ロの解答群 >

- | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 3.99 | 2 4.06 | 3 4.14 | 4 4.22 | 5 4.29 |
| 6 4.35 | 7 4.42 | | | |

II 物質中を進む荷電粒子は、物質中の原子核と核反応を起こすことを除くと、主として次の3つの過程によりそのエネルギーを失う。

1. (A) 及び原子核とのクーロン相互作用
2. (B)
3. (C)

1. の過程では、(A) との相互作用の確率が圧倒的に大きい。これは、相互作用を起こす確率は、原子の断面積と原子核の断面積との比が { イ } であることを考えると、容易に理解される。この過程の最も重要な現象に電離と励起がある。電離ではエネルギーを持った (D) が発生し、励起では (A) がより高いエネルギー準位に移る。これらをもたらす相互作用は、(E) 散乱と呼ばれる。

2. (B) の過程は、荷電粒子が原子核との相互作用により方向を変える、あるいは減速される場合に、電磁放射線を放出してエネルギーを失う現象をいう。放出される電磁放射線の強度は、物質の (F) が大きいほど、また、入射粒子の質量が小さいほど大きい。

3. (C) の過程は、荷電粒子が屈折率 n の物質中をその物質中における光の速度 $c_m (= c/n, c$ は真空中の光速) よりも (G) 速度で通過するとき、荷電粒子の速度方向に沿って (H) が放出される現象をいう。荷電粒子の速度を v とすると、(H) が放出される角度は { ロ } となる。

< II の A ~ E の解答群 >

- | | | | |
|------------|----------|-----------------|---------|
| 1 自由電子 | 2 軌道電子 | 3 内部転換電子 | 4 中性子 |
| 5 陽子 | 6 ラザフォード | 7 弾性 | 8 非弾性 |
| 9 チェレンコフ放射 | 10 制動放射 | 11 γ 線放射 | 12 黒体放射 |

< II の F ~ H の解答群 >

- | | | | | |
|--------|--------|----------|-------|-------|
| 1 密度 | 2 原子番号 | 3 質量数 | 4 光子 | 5 光電子 |
| 6 自由電子 | 7 中性子 | 8 ニュートリノ | 9 小さい | |
| 10 大きい | 11 等しい | | | |

< II の イ ~ ロ の解答群 >

- | | | | | |
|-----------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|----------|
| 1 10^2 | 2 10^3 | 3 10^4 | 4 10^5 | 5 10^6 |
| 6 10^8 | 7 $\cos^{-1}(c_m/v)$ | 8 $\sin^{-1}(c_m/v)$ | 9 $\cos^{-1}(v/c_m)$ | |
| 10 $\sin^{-1}(v/c_m)$ | 11 $\sin^{-1}(n \cdot c_m/v)$ | | | |

問2 放射性壊変及び放射線と物質との相互作用に関する次のⅠ～Ⅳの文章の（ ）の部分に入る最も適切な語句、数値又は数式をそれぞれの解答群から1つだけ選べ。ただし、各選択肢は必要に応じて2回以上使ってもよい。

Ⅰ 親核の中性原子の質量を M_p 、娘核の中性原子の質量を M_d 、電子の質量を m とすると、 β^+ 壊変の起こる条件は（ A ）である。一方、電子捕獲は（ B ）の場合に生じ、原子核の電荷が1だけ（ C ）すると同時に、（ D ）が放出される。このとき、（ E ）軌道電子が最も捕獲されやすく、その後に引き続く過程として、特性X線又は（ F ）が放出される。

<ⅠのA～Fの解答群>

- | | | | |
|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 1 $M_p - M_d < 2m$ | 2 $M_p - M_d < m$ | 3 $M_p - M_d < 0$ | 4 $M_p - M_d > 0$ |
| 5 $M_p - M_d > m$ | 6 $M_p - M_d > 2m$ | 7 減少 | 8 増加 |
| 9 中性子 | 10 ニュートリノ | 11 オージェ電子 | 12 制動X線 |
| 13 K | 14 L | 15 M | |

Ⅱ 高エネルギー光子の物質に対するコンプトン効果、光電効果、電子対生成による線減弱係数をそれぞれ σ 、 τ 、 κ 、また、線エネルギー転移係数をそれぞれ σ_k 、 τ_k 、 κ_k とする。1.5 MeV の光子に対して特性X線として放出される平均エネルギーが75 keV、コンプトン電子の平均エネルギーが750 keV とするとき、 $\sigma_k = (A) \cdot \sigma$ 、 $\tau_k = (B) \cdot \tau$ 、 $\kappa_k = (C) \cdot \kappa$ である。

<ⅡのA～Cの解答群>

- | | | | | |
|---------|--------|--------|--------|---------|
| 1 0.01 | 2 0.06 | 3 0.12 | 4 0.23 | 5 0.32 |
| 6 0.50 | 7 0.59 | 8 0.68 | 9 0.77 | 10 0.86 |
| 11 0.95 | 12 1.0 | | | |

Ⅲ 0.5 MeV の光子のフルエンスが水中のある場所で $6 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$ であった。そのとき、光子と水の相互作用で最も起こる頻度が高いのは、（ A ）である。その結果、水の単位質量当たりに生成するイオン対の数は平均（ B ）個・ g^{-1} である。ただし、水の質量エネルギー吸収係数は $0.04 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 、水中で1イオン対を生成するのに必要な電子の平均エネルギーは30 eV とする。

<ⅢのA～Bの解答群>

- | | | | |
|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| 1 チェレンコフ効果 | 2 光電効果 | 3 コンプトン効果 | 4 電子対生成 |
| 5 内部転換 | 6 1×10^7 | 7 4×10^7 | 8 8×10^7 |
| 9 1×10^8 | 10 4×10^8 | 11 8×10^8 | |

IV 数 MeV 程度のエネルギーをもつ高速中性子が人体軟組織に入射するとき、その高速中性子が減速されるのは、主として軟組織中の (A) 原子内の (B) との (C) によるものである。中性子が 1 回の (C) により失う平均エネルギーは、4 MeV の中性子では (D) MeV、2 MeV の中性子では (E) MeV である。

<IVのA～Eの解答群>

- | | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| 1 水素 | 2 酸素 | 3 炭素 | 4 陽子 |
| 5 中性子 | 6 電子 | 7 弾性衝突 | 8 核反応 |
| 9 制動放射 | 10 0.1 | 11 0.3 | 12 0.5 |
| 13 1 | 14 2 | 15 3 | |

問3 次のⅠ～Ⅲの文章の（ ）の部分に入る最も適切な語句、記号、数値又は数式を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

Ⅰ 放射性核種 X が半減期 T_X (壊変定数 λ_X) で壊変して生成した核種 Y が、さらに半減期 T_Y (壊変定数 λ_Y) で放射壊変するとき、X から Y を分離してからの時間 t とともに、核種 X の原子数 N_X と放射能 A_X 、核種 Y の原子数 N_Y と放射能 A_Y は、それぞれ以下のように変化する。

$$\frac{dN_X}{dt} = (\text{ A }) \dots\dots\dots \text{ ①}$$

$$\frac{dN_Y}{dt} = (\text{ B }) - \lambda_Y N_Y \dots\dots\dots \text{ ②}$$

これらの式から、 $t=0$ において $N_X = N_X^0$ 、 $A_X = A_X^0$ 、 $N_Y = 0$ 、 $A_Y = 0$ とすると、

$$N_Y = \frac{(\text{ C })}{\lambda_Y - \lambda_X} N_X^0 \{ \exp(-\lambda_X t) - \exp(-\lambda_Y t) \} \dots\dots\dots \text{ ③}$$

$$A_Y = \frac{(\text{ D })}{\lambda_Y - \lambda_X} A_X^0 \{ \exp(-\lambda_X t) - \exp(-\lambda_Y t) \} \dots\dots\dots \text{ ④}$$

となる。

このとき、Y の放射能 A_Y が最大となる時間 t_{\max} は、④式で $\frac{dA_Y}{dt} = 0$ から

$$t_{\max} = \frac{(\text{ E })}{\lambda_Y - \lambda_X} \ln \frac{\lambda_Y}{\lambda_X} \dots\dots\dots \text{ ⑤}$$

$$= (\text{ F }) \frac{T_X T_Y}{T_X - T_Y} \ln \frac{T_X}{T_Y} \dots\dots\dots \text{ ⑥}$$

である。

$T_X > T_Y$ (すなわち $\lambda_X < \lambda_Y$) のとき、十分に時間が経過すると (おおよそ $t > 10 T_Y$)、X と Y の原子数比及び放射能比は、それぞれ

$$\frac{N_Y}{N_X} \doteq \frac{(\text{ C })}{\lambda_Y - \lambda_X} = \frac{(\text{ G })}{T_X - T_Y} \dots\dots\dots \text{ ⑦}$$

$$\frac{A_Y}{A_X} \doteq \frac{(\text{ D })}{\lambda_Y - \lambda_X} = \frac{(\text{ H })}{T_X - T_Y} \dots\dots\dots \text{ ⑧}$$

のように一定となる。このような放射平衡状態を過渡平衡という。

なお、核種 X の壊変において、その $\alpha\%$ のみが核種 Y になるときの N_Y 、 A_Y については、②式の右辺第 1 項及び ③、④、⑦、⑧の各式の右辺に $\alpha/100$ を乗ずれば、これらの関係式をそのまま適用することができる。

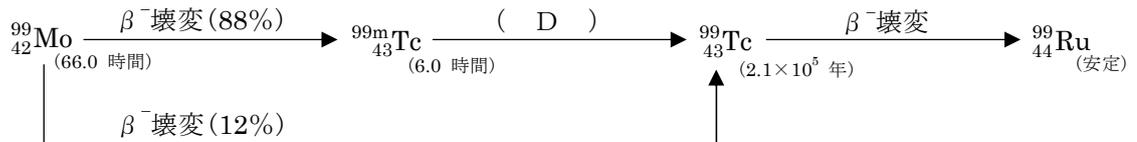
< I の A~H の解答群 >

- | | | | | | | | | | |
|----|-------------------|----|-----------------|---|------------------|---|------------------|----|-------------|
| 1 | λ_X | 2 | T_X | 3 | $\lambda_X N_X$ | 4 | $-\lambda_X N_X$ | 5 | λ_Y |
| 6 | T_Y | 7 | $\lambda_Y N_Y$ | 8 | $-\lambda_Y N_Y$ | 9 | $\ln 2$ | 10 | 1 |
| 11 | $\frac{1}{\ln 2}$ | 12 | $\ln 10$ | | | | | | |

II ^{99m}Tc は、半減期が 6.0 時間と短く、シンチカメラに最適な (A) MeV の (B) を放出し、核医学診断で多用されるが、その製造には ^{99}Mo による ^{99m}Tc ジェネレータが利用されている。

(C) 反応で製造された無担体に近い ^{99}Mo は、半減期 66.0 時間で β^- 壊変し、その 88 % は ^{99m}Tc に、残りの 12 % は ^{99m}Tc を経由せずに ^{99}Tc になる(下図参照)。生成した ^{99m}Tc はさらに (D) して ^{99}Tc になる。したがって ^{99}Mo と ^{99m}Tc は、約 60 時間以上経過すると過渡平衡になる。なお、生成した ^{99}Tc の放射壊変(半減期 2.1×10^5 年)は、ここでは無視できるものとする。

^{99m}Tc ジェネレータでは、(E) カラムに吸着させたモリブデン酸塩(^{99}Mo)から生成してくる水溶性の過テクネチウム酸イオン TcO_4^- を生理食塩水で溶出することによって、1 週間以上にわたり、繰り返し半減期の短い ^{99m}Tc を得ることができる。これを (F) という。



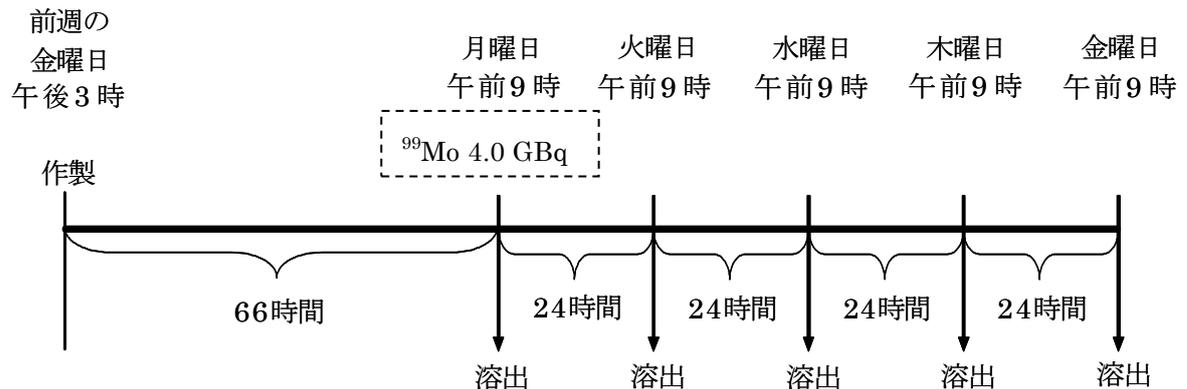
< II の解答群 >

- | | | | | | | | | |
|-----|---|--|---|--|---|--|---|------------|
| (A) | 1 | 1.711 | 2 | 0.141 | 3 | 0.018 | | |
| (B) | 1 | β^- 線 | 2 | ポジトロン | 3 | γ 線 | 4 | X線 |
| (C) | 1 | $^{98}\text{Mo}(\text{n}, \gamma)^{99}\text{Mo}$ | 2 | $^{235}\text{U}(\text{n}, \text{f})^{99}\text{Mo}$ | 3 | $^{238}\text{U}(\text{n}, \text{f})^{99}\text{Mo}$ | | |
| (D) | 1 | β^- 壊変 | 2 | β^+ 壊変 | 3 | EC壊変 | 4 | 核異性体転移(IT) |
| (E) | 1 | 陽イオン交換樹脂 | 2 | 陰イオン交換樹脂 | 3 | アルミナ | | |
| (F) | 1 | ミルキング | 2 | スカベンジング | 3 | ストリッピング | | |

Ⅲ 新たに納入された ^{99m}Tc ジェネレータの中の ^{99}Mo の量が、月曜日午前 9 時の時点で 4.0 GBq であるとき、そこに過渡平衡で生成している ^{99m}Tc の放射能は、I-⑧式の右辺に 88/100 を乗じて求めると、約 (A) GBq となる。

この ^{99m}Tc を生理食塩水で溶出すると、カラム内では再び ^{99m}Tc が生成し、極大となるのは、I-⑥式により、約 (B) 時間後となる。ただし、 $\ln 11=2.4$ とする。

その後も毎日 1 回、午前 9 時に ^{99m}Tc を生理食塩水で溶出すると(下図参照)、火曜日に得られる ^{99m}Tc の量に比較して、その 3 日後の金曜日に得られる ^{99m}Tc の量は、おおよそ (C) になる。



一方、この ^{99m}Tc ジェネレータが作製されたのが前週金曜日の午後 3 時(66 時間前)であったとすると、その作製時における ^{99}Mo の放射能は (D) GBq であった。

^{99}Mo は壊変すると ^{99m}Tc 又は ^{99}Tc のいずれかになるので、月曜日午前 9 時までにカラム内で生成した全テクネチウム($^{99m}\text{Tc}+^{99}\text{Tc}$)の原子数は、この間に壊変した ^{99}Mo の原子数に等しく、約 (E) 個となる。したがって、月曜日午前 9 時における溶出液中の ^{99m}Tc と ^{99}Tc の原子数の比は約 (F) となる。

<Ⅲの解答群>

- | | | | | | | | | |
|-----|---|-------------------|---|----------------------|---|----------------------|---|----------------------|
| (A) | 1 | 3.4 | 2 | 3.6 | 3 | 3.9 | 4 | 4.4 |
| (B) | 1 | 23 | 2 | 26 | 3 | 46 | 4 | 60 |
| (C) | 1 | 1/8 | 2 | 1/4 | 3 | 1/2 | 4 | 3/4 |
| (D) | 1 | 4.0 | 2 | 5.7 | 3 | 8.0 | 4 | 16.0 |
| (E) | 1 | 5.8×10^9 | 2 | 3.8×10^{11} | 3 | 1.3×10^{14} | 4 | 1.4×10^{15} |
| (F) | 1 | 1:1 | 2 | 1:5 | 3 | 1:10 | 4 | 1:15 |

問4 次のI～IVの文章の()の部分に入る最も適切な語句、数値又は数式をそれぞれの解答群から1つだけ選べ。

I 中性子照射によって放射性同位体(RI)を製造するときには、以下のように照射条件を設定する。生成核(半減期 T)の放射能は、標的核の数が n 、反応断面積が σ のとき、粒子フルエンス率 f で照射時間を t とすると (A) \times (B) で与えられる。(B) は飽和係数と呼ばれ、 t が T の2倍に等しいときには (C) となる。また、飽和係数は t が T に比較して十分小さいときには (D) と近似することができる。

$^{197}\text{Au}(n, \gamma)^{198}\text{Au}$ 反応及び $^{23}\text{Na}(n, \gamma)^{24}\text{Na}$ 反応を用いて、 ^{198}Au と ^{24}Na を製造するために、金 2.0 mg とナトリウム 2.3 mg を同時に、熱中性子フルエンス率 $1.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ で 100 秒間照射した。それぞれの核反応断面積と生成核の半減期は下表のとおりとする。照射した ^{197}Au と ^{23}Na の原子数の比($n_{\text{Au}}/n_{\text{Na}}$)は (E)、 ^{198}Au と ^{24}Na の生成反応の断面積の比($\sigma_{\text{Au}}/\sigma_{\text{Na}}$)は 200、100 秒間照射による ^{198}Au と ^{24}Na の生成反応の飽和係数の比(Au の飽和係数/ Na の飽和係数)は (F) となるので、生成した ^{198}Au と ^{24}Na の放射能の比($A_{\text{Au}}/A_{\text{Na}}$)は (G) となる。

反応	反応断面積 (バーン)	生成核の半減期 (時間)
$^{197}\text{Au}(n, \gamma)^{198}\text{Au}$	100	65
$^{23}\text{Na}(n, \gamma)^{24}\text{Na}$	0.5	15

< I の解答群 >

- | | | | | | | |
|-----|---|--|---|--|---|--|
| (A) | 1 | $n\sigma f$ | 2 | nf/σ | 3 | $\sigma f/n$ |
| (B) | 1 | $\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$ | 2 | $1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$ | 3 | $\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} - 1$ |
| (C) | 1 | 0.25 | 2 | 0.71 | 3 | 0.75 |
| (D) | 1 | $\frac{0.693t}{T}$ | 2 | $\frac{0.693T}{t}$ | 3 | $\frac{1.44t}{T}$ |
| (E) | 1 | 0.10 | 2 | 1.0 | 3 | 10 |
| (F) | 1 | 0.23 | 2 | 0.43 | 3 | 2.3 |
| (G) | 1 | 0.32 | 2 | 0.46 | 3 | 3.2 |
| | | | | | 4 | 1.5 |
| | | | | | 4 | $1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{T}{t}}$ |
| | | | | | 4 | 100 |
| | | | | | 4 | 4.3 |
| | | | | | 4 | 4.6 |

II 荷電粒子で照射して RI を製造する場合には、まず、(A) に基づいて適切な照射エネルギーを設定する。また、ターゲット中で照射粒子が運動エネルギーを失い発熱するので冷却が必要となる。 $^{65}\text{Cu}(p, n)^{65}\text{Zn}$ 反応によって ^{65}Zn を製造するのに、銅箔のターゲットに 16 MeV の陽子をビーム電流 6.4 μA で照射した。ターゲット通過後の陽子のエネルギーが 10 MeV であるとする、ターゲット内での発熱量は、ほぼ (B) W(ワット)となる。なお、電気素量は $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ とする。

< II の解答群 >

- (A) 1 励起関数 2 仕事関数 3 検量線
 (B) 1 23 2 38 3 75 4 149

III RI の分離において、溶媒抽出法は有用な方法の一つである。いま、1.0 kBq の $^{59}\text{Fe}(\text{III})$ 及び 1.0 MBq の $^{65}\text{Zn}(\text{II})$ を含む 6 M 塩酸溶液 100 ml に、イソプロピルエーテル 100 ml を加えて振り混ぜ、 ^{59}Fe を有機相に抽出する。この系での Fe(III) と Zn(II) の分配比が下表のような値であるとき、有機相中の ^{59}Fe の放射能は (A) kBq、 ^{65}Zn の放射能は (B) kBq となる。したがって、有機相の全放射能に占める ^{59}Fe の放射能の割合は (C) % である。

次に、この有機相から水相を完全に除去した後、RI を含まない新たな 6 M 塩酸溶液 100 ml を加え、同じ操作を繰り返すと、有機相中の ^{65}Zn の放射能は (D) kBq となり、有機相の全放射能に占める ^{59}Fe の放射能の割合は (E) % となる。

化学種	分配比 (有機相中濃度/水相中濃度)
Fe(III)	99
Zn(II)	0.002

< III の解答群 >

- (A) 1 0.01 2 0.99 3 2.0 4 98
 (B) 1 0.01 2 0.99 3 2.0 4 98
 (C) 1 33 2 50 3 90 4 99
 (D) 1 0.0001 2 0.004 3 96 4 99
 (E) 1 66 2 90 3 96 4 99.6

IV 標識化合物を合成するときには、目的化合物の収率の高い反応が望ましいが、短寿命の RI の場合には反応操作に要する時間も考慮する必要がある。半減期が 20 分の RI の標識化合物を合成するときに、化学反応収率が 80 %で 30 分かかる操作では、化学反応収率が 50 %で 10 分かかる操作に比較して、得られる標識化合物の放射能が (A) 倍になる。副生成物は、(B) などの方法によって分離・除去する。

<IVの解答群>

(A) 1 0.7 2 0.8 3 1.3 4 1.4

(B) 1 クロマトグラフィ 2 オートラジオグラフィ 3 シンチグラフィ

問5 次のI～IVの文章の()の部分に入る最も適切な語句、記号又は数値をそれぞれの解答群から1つだけ選べ。ただし、各選択肢は必要に応じて2回以上使ってもよい。

I 水溶液に放射線を照射した時に溶質(標的分子)が受ける放射線の影響には、(A)と(B)がある。放射線のエネルギーが標的分子に吸収されて損傷が生じるとき、これを(A)という。水の放射線分解で生じた(C)が標的分子を攻撃して損傷が生じるとき、これを(B)という。(C)の中では(D)による作用が最も重要であり、(B)のできるDNA損傷の大部分が(D)によるものと考えられている。(E)の多くは(C)と反応してこれを取り除くことにより作用する。

< I の解答群 >

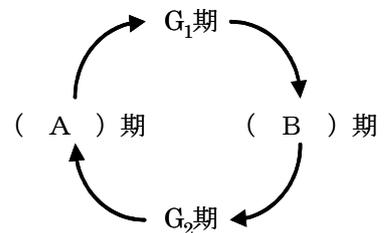
- | | | | | | |
|-------|------------------|-------------------|----------|-------------------------------|---------------------------------|
| (A～B) | 1 直接作用 | 2 間接作用 | 3 急性効果 | 4 晩発効果 | |
| (C) | 1 カチオン | 2 アニオン | 3 ラジカル | | |
| (D) | 1 H ⁺ | 2 OH ⁻ | 3 ·OH | 4 O ₂ ⁻ | 5 H ₂ O ₂ |
| (E) | 1 抗がん剤 | 2 放射線増感剤 | 3 放射線防護剤 | | |

II X線やγ線の培養細胞に対する致死効果は(A)濃度によって変化する。一般には、(A)濃度が増加すると放射線の効果は(B)。また、放射線感受性は(A)濃度が0のときを1とすると大気中の(A)濃度においては約(C)になる。(A)濃度の変化に伴う放射線感受性の大きな変化は、(A)濃度が空気中の濃度に比べて(D)領域で現れる。

< II の解答群 >

- | | | | | |
|-----|---------|---------|------|---------|
| (A) | 1 水素 | 2 酸素 | 3 窒素 | 4 二酸化炭素 |
| (B) | 1 小さくなる | 2 大きくなる | | |
| (C) | 1 0.1 | 2 0.5 | 3 3 | 4 10 |
| (D) | 1 非常に低い | 2 半分程度の | 3 高い | |

III 細胞が分裂を繰り返して増殖するとき、右図のように分裂から分裂までの1サイクルを細胞周期とよぶ。細胞周期は4つの時期が区別され、(A)期から(B)期に至る期間をG₁期とよび、(B)期から(A)期に至る期間をG₂期とよぶ。放射線致死感受性は細胞がどの時期にあるかによって異なり、(C)期から(D)期への移行期と(E)期で高く、(F)期の後半で低い。



< III の解答群 >

- | | | | | | |
|-------|------------------|------------------|------------------|-----|-----|
| (A～F) | 1 G ₀ | 2 G ₁ | 3 G ₂ | 4 M | 5 S |
|-------|------------------|------------------|------------------|-----|-----|

IV 細胞集団に、ある線量を数回に分けて照射した場合の生存率は、同じ線量を一度に照射した場合（1回照射）に比べて（ A ）なる。その程度は、（ B ）からの回復を示し、1回照射の場合の生存曲線の（ C ）に依存している。また、被ばく線量が同じであっても、被ばく時間の違いによってその効果が異なってくる現象（線量率効果）にも同じメカニズムが関与している。高 LET 放射線の場合、これらの効果は（ D ）なる。

<IVの解答群>

- (A) 1 高く 2 低く
- (B) 1 潜在的致死損傷(PLD) 2 亜致死損傷(SLD)
- (C) 1 傾き 2 肩の大きさ 3 y 切片
- (D) 1 大きく 2 小さく

問6 次の I～II の文章の () の部分に入る最も適切な語句、記号又は数値をそれぞれの解答群から 1 つだけ選べ。ただし、各選択肢は必要に応じて 2 回以上使ってもよい。

I 電離放射線を、大きく電磁波と粒子線に分類することがある。この場合、X線や γ 線は (A) であり、 α 線、 β 線や中性子線は (B) である。また、電離放射線は (C) と (D) に分類することもある。 α 線や β 線は (C) に分類され、中性子線やX線は (D) に分類される。X線は、医療分野で最もよく利用されている電離放射線である。X線と物質の相互作用はエネルギーに依存し、エネルギーの低い方から (E)、(F)、(G) が主にみられる。これらの相互作用の起こる確率は、透過する物質の原子番号にも依存する。(E) の起こる確率は、低エネルギー域で、かつ、原子番号の大きい場合に急激に大きくなる。筋肉や臓器などを構成する元素は、C、H、N、O など原子番号が比較的小さいものが主である。一方、骨は、リン酸カルシウムが主体で、Ca の原子番号は筋肉などを構成する元素の原子番号より大きい。そのため、例えばエネルギーが (H) 程度のX線であれば、同じ照射線量を与えた場合の骨のエネルギー吸収は、筋肉や臓器のエネルギー吸収に比べて数倍多い。また、脂肪組織は脂肪酸やグリセリンから構成されているため、エネルギー吸収は筋肉や臓器などと比べて (I)。X線のエネルギーが高くなり、(J) 程度以上になると、組織による吸収の程度の違いは小さくなる。

治療用に高エネルギーX線を用いるのは、骨の存在などによらず深部のがん組織への線量を確保するためである。また、高エネルギーX線を用いることによって2次電子が飽和する位置が深くなり、皮膚表面の被ばく線量を (K) させることができる。このことをビルドアップとよぶ。

< I の解答群 >

- | | | | | | |
|-------|-------------|-----------|-----------|---------|----------|
| (A～B) | 1 粒子線 | 2 電磁波 | | | |
| (C～D) | 1 非荷電粒子線 | 2 直接電離放射線 | 3 間接電離放射線 | | |
| (E～G) | 1 弾性散乱 | 2 ラーマン散乱 | 3 電子平衡 | 4 電子対生成 | |
| | 5 光電効果 | 6 ローレンツ収縮 | 7 コンプトン効果 | | |
| (H) | 1 50 keV | 2 200 keV | 3 1 MeV | 4 5 MeV | 5 20 MeV |
| (I) | 1 さらに低い値をとる | 2 さらに増加する | 3 ほぼ同じである | | |
| (J) | 1 50 keV | 2 200 keV | 3 1 MeV | 4 5 MeV | 5 20 MeV |
| (K) | 1 低下 | 2 増加 | | | |

II 哺乳動物の培養細胞に線質を異にする放射線を照射した場合、同じ吸収線量であっても、その生物学的効果は必ずしも同じになるとは限らない。また、放射線の種類による生物効果の大きさの違いを表す指標として RBE がある。これは、問題としている放射線がある生物効果を起こすのに必要な吸収線量に対する、基準となる放射線が同じ生物効果を起こすのに必要な吸収線量の比として表される。基準となる放射線には、ピーク電圧が 250 kV の X 線や (A) の (B) などが用いられることが多い。例えば、同じ吸収線量の X 線と α 線が培養細胞に及ぼす致死効果を比較すると α 線による効果の方が (C)。これは、X 線による 2 次電子の線エネルギー付与 (LET) と α 線の LET が異なることが主な要因である。

横軸に LET をとり、縦軸に細胞致死効果を指標とした RBE 値をとった図を作成すると、(D) $\text{keV}\cdot\mu\text{m}^{-1}$ にピークを持つ曲線となる。これは、この LET 領域では DNA 2 本鎖切断の収率あるいは、修復しにくい切断の収率が高くなるためであり、さらに LET が高くなるとこれらの収率がかえって下がるためと考えられている。

放射線防護の立場からは、放射線の種類による生物効果の違いを反映させる係数として、(E) が定義されている。この係数は、(F) 放射線被ばくした場合の (G) を指標としたもので、これに物理的に吸収されたエネルギーに基づく (H) を乗じることによって等価線量が得られる。

< II の解答群 >

- | | | | | | | | | |
|-----|---|-----------------|---|-----------------|---|------------------|---|------------------|
| (A) | 1 | ^{14}C | 2 | ^{32}P | 3 | ^{60}Co | 4 | ^{90}Sr |
| (B) | 1 | α 線 | 2 | β^- 線 | 3 | γ 線 | 4 | δ 線 |
| (C) | 1 | 小さい | 2 | 大きい | | | | |
| (D) | 1 | 1~2 | 2 | 10~20 | 3 | 100~200 | 4 | 1000~2000 |
| (E) | 1 | 組織荷重係数 | 2 | 放射線荷重係数 | 3 | 実効線量係数 | | |
| (F) | 1 | 低線量・低線量率 | 2 | 低線量・高線量率 | 3 | 高線量・低線量率 | | |
| | | | 4 | 高線量・高線量率 | | | | |
| (G) | 1 | 身体的影響 | 2 | 確定的影響 | 3 | 確率的影響 | 4 | 遺伝的影響 |
| (H) | 1 | 預託線量 | 2 | 吸収線量 | 3 | 照射線量 | 4 | 実効線量 |