

物 化 生

物理学、化学及び生物学のうち放射線に関する課目

試験が始まる前に、このページの記載事項をよく読んでください。裏面以降の試験問題は、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（23ページ）

3 注意事項：

- ① 机の上に出してよいものは、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（計算機能・通信機能・辞書機能等の付いた時計は不可）に限ります。
- ② 計算機（電卓）、定規及び下敷きの使用は認めません。
- ③ 不正行為等を防止するため、携帯電話等の通信機器は、必ず、電源を切ってカバン等の中にしまってください。
- ④ 問題用紙の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁又は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。なお、試験問題の内容に関する質問にはお答えできません。
- ⑤ 試験終了の合図があったら、ただちに筆記用具を置いてください。
なお、試験監督員が解答用紙を集め終わるまで、席を離れてはいけません。
- ⑥ 問題用紙は持ち帰って結構です。
- ⑦ 不正行為を行った者は、受験資格を失ったものとみなし、試験室からの退出を命じます。また、試験終了後に不正行為を行ったことが発覚した場合、試験実施時にさかのぼり受験資格を失ったものとみなします。

4 解答用紙（マークシート）の取扱いについて：

- ① 解答用紙を折り曲げたり汚したりしないでください。また、所定の欄以外の余白には、何も記入しないでください。
- ② 筆記用具は、鉛筆又はシャープペンシル（HB又はB）を使用してください。また、記入を訂正する場合は、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・受験番号を忘れずに記入してください。特に、受験番号は受験票と照合して間違えないよう記入してください。
- ④ 解答は、所定の欄に1つだけ選択（マーク）してください。2つ以上選択している場合は、採点されません。

問1 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 質量数 147 の原子核が α 壊変してエネルギー 2.3 MeV の α 粒子を放出した。このとき、娘核である反跳核の運動エネルギーは□ア MeV である。一方、質量数 210 の原子核が α 壊変するときの壊変エネルギーが 5.4 MeV であれば、放出される α 粒子のエネルギーは□イ MeV である。

質量数 60 の原子核が 1,333 keV の γ 線を放出するとき、原子核が受ける反跳の運動エネルギーは□ウ keV である。

質量数 11 の炭素原子核が□A 壊変するとき、放出される□A 線のエネルギーは最大で□エ MeV である。ただし、親核、娘核、並びに電子の質量を原子質量単位で、それぞれ 11.01143 u、11.00930 u、0.00055 u とする。

<アの解答群>

- | | | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 1.6×10^{-3} | 2 3.2×10^{-3} | 3 5.3×10^{-3} | 4 7.2×10^{-3} |
| 5 1.6×10^{-2} | 6 3.0×10^{-2} | 7 4.2×10^{-2} | 8 6.4×10^{-2} |
| 9 7.8×10^{-2} | 10 9.6×10^{-2} | 11 2.6×10^{-1} | 12 3.8×10^{-1} |
| 13 5.3×10^{-1} | 14 9.6×10^{-1} | 15 1.2×10^0 | |

<イの解答群>

- | | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 1.0×10^{-1} | 2 1.2×10^{-1} | 3 5.2×10^{-1} | 4 5.3×10^{-1} |
| 5 5.4×10^{-1} | 6 1.0×10^0 | 7 1.2×10^0 | 8 5.2×10^0 |
| 9 5.3×10^0 | 10 5.4×10^0 | | |

<ウ、エの解答群>

- | | | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 1.6×10^{-3} | 2 3.2×10^{-3} | 3 5.3×10^{-3} | 4 7.2×10^{-3} |
| 5 1.6×10^{-2} | 6 3.0×10^{-2} | 7 4.2×10^{-2} | 8 6.4×10^{-2} |
| 9 7.8×10^{-2} | 10 9.6×10^{-2} | 11 2.6×10^{-1} | 12 3.8×10^{-1} |
| 13 5.3×10^{-1} | 14 9.6×10^{-1} | 15 1.2×10^0 | |

<Aの解答群>

- | | | | |
|------------|-------------|-------------|------|
| 1 α | 2 β^- | 3 β^+ | 4 EC |
| 5 γ | 6 自発核分裂 | 7 内部転換 | 8 IT |

II エネルギー2 MeV の光子と物質との相互作用について考える。この場合、ほとんどの物質（原子番号を Z 、質量数を A とする）において主な相互作用は $\boxed{\text{B}}$ であり、この相互作用に対する原子断面積は $\boxed{\text{オ}}$ に比例し、質量減弱係数は $\boxed{\text{カ}}$ に比例する。 $\boxed{\text{B}}$ により生じる反跳電子の平均エネルギーを $T[\text{MeV}]$ とすると、この相互作用に対する質量エネルギー転移係数は、その質量減弱係数に $\boxed{\text{キ}}$ を乗じたものとなる。

相互作用により生成した二次電子のエネルギーのうち、その一部は $\boxed{\text{C}}$ によって遠方へ持ち出される。その割合を g とすると、質量エネルギー吸収係数は質量エネルギー転移係数 μ_{tr} を用いて、 $\mu_{tr} \cdot \boxed{\text{ク}}$ と表すことができる。

エネルギー $E[\text{eV}]$ の光子が空気中のある点にフルエンス $\phi[\text{m}^{-2}]$ で入射する場合を考える。空気の質量エネルギー吸収係数を $\mu_{en}[\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}]$ 、空気に対する W 値を $W_{air}[\text{eV}]$ とするとき、エネルギーフルエンス $\Psi[\text{eV} \cdot \text{m}^{-2}]$ は、

$$\Psi = E \cdot \phi$$

である。その点における照射線量 $X[\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}]$ 、並びに空気の吸収線量 $D_{air}[\text{Gy}]$ は、電子平衡が成立する場合、

$$X = e \times \boxed{\text{ケ}}$$

$$D_{air} = 1.6 \times 10^{-19} \times \boxed{\text{コ}}$$

と表される。ただし、 1.6×10^{-19} は eV を J に変換する係数 $[\text{J} \cdot \text{eV}^{-1}]$ であり、 e は素電荷 ($1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$) である。また、空気吸収線量 $D_{air}[\text{Gy}]$ は、照射線量 X を用いて、

$$D_{air} = \frac{1.6 \times 10^{-19}}{e} \times \boxed{\text{サ}}$$

と表される。

< B、C の解答群 >

- | | | |
|-------------|---------------|------------|
| 1 光電効果 | 2 コンプトン効果 | 3 電子対生成 |
| 4 トムソン散乱 | 5 光核反応 | 6 電離 |
| 7 励起 | 8 ラムザウアー効果 | 9 ラザフォード散乱 |
| 10 メスバウアー効果 | 11 蛍光 X 線 | 12 制動放射 |
| 13 壁効果 | 14 δ 線 | 15 電子対消滅 |

< オ、カの解答群 >

- | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------|-----------------|------------|
| 1 A | 2 Z | 3 A^2 | 4 A^{-2} |
| 5 $A-Z$ | 6 $\frac{A}{Z}$ | 7 $\frac{Z}{A}$ | 8 Z^2 |
| 9 $\left(\frac{A}{Z}\right)^2$ | 10 $\left(\frac{Z}{A}\right)^2$ | 11 $Z^{3.5}$ | 12 Z^5 |

<キ、クの解答群>

- | | | | |
|-----------------------------------|--|-------------------------|--------------------|
| 1 A | 2 T | 3 $\frac{A}{2}$ | 4 $\frac{T}{2}$ |
| 5 $\left(1 - \frac{T}{A}\right)$ | 6 $\left(1 - \frac{T}{2}\right)$ | 7 $\frac{T}{A}$ | 8 g |
| 9 $(1-g)$ | 10 $(1-g)^{-1}$ | 11 $(1-g) \cdot T^{-1}$ | 12 $(1-g \cdot T)$ |
| 13 $\left(1 - \frac{g}{T}\right)$ | 14 $\left(1 - \frac{g}{T}\right)^{-1}$ | 15 $g \cdot T$ | |

<ケ、コの解答群>

- | | | | |
|--|--|---|--|
| 1 $\mu_{\text{en}} \cdot \Psi$ | 2 $\frac{\Psi}{\mu_{\text{en}}}$ | 3 $\frac{\mu_{\text{en}}}{\Psi}$ | 4 $\mu_{\text{en}} \cdot \Psi \cdot W_{\text{air}}$ |
| 5 $\mu_{\text{en}} \cdot \frac{\Psi}{W_{\text{air}}}$ | 6 $\frac{\Psi}{\mu_{\text{en}}} \cdot W_{\text{air}}$ | 7 $\frac{\Psi}{\mu_{\text{en}}} \cdot \frac{1}{W_{\text{air}}}$ | 8 $\mu_{\text{en}} \cdot \phi$ |
| 9 $\frac{\phi}{\mu_{\text{en}}}$ | 10 $\frac{\mu_{\text{en}}}{\phi}$ | 11 $\mu_{\text{en}} \cdot \phi \cdot W_{\text{air}}$ | 12 $\mu_{\text{en}} \cdot \frac{\phi}{W_{\text{air}}}$ |
| 13 $\frac{\phi}{\mu_{\text{en}}} \cdot W_{\text{air}}$ | 14 $\frac{\phi}{\mu_{\text{en}}} \cdot \frac{1}{W_{\text{air}}}$ | | |

<サの解答群>

- | | | |
|---|--|---|
| 1 $X \cdot \phi$ | 2 $\frac{\phi}{\mu_{\text{en}}} \cdot X$ | 3 $X \cdot \mu_{\text{en}} \cdot \phi \cdot W_{\text{air}}$ |
| 4 $X \cdot \frac{\phi}{\mu_{\text{en}}} \cdot W_{\text{air}}$ | 5 $X \cdot W_{\text{air}}$ | 6 $\frac{X}{W_{\text{air}}}$ |
| 7 $X \cdot \Psi$ | 8 $\frac{\Psi}{\mu_{\text{en}}} \cdot X$ | 9 $\frac{\Psi}{\mu_{\text{en}}} \cdot \frac{1}{X}$ |
| 10 $X \cdot \mu_{\text{en}} \cdot \Psi \cdot W_{\text{air}}$ | 11 $X \cdot \frac{\Psi}{\mu_{\text{en}}} \cdot W_{\text{air}}$ | |

Ⅲ 速中性子と物質との主な相互作用は原子核との \boxed{D} であり、これにより原子核に運動エネルギーが与えられる。生体軟組織においては、速中性子は主として \boxed{E} 原子核との \boxed{D} により \boxed{F} を生成し、 \boxed{F} は原子との非弾性衝突により、電離や励起を起こし、物質にエネルギーを与える。1回の \boxed{D} で速中性子のエネルギーは平均して $\boxed{シ}$ になり、この過程を繰り返すことにより、中性子のエネルギーが 1/1,000 以下になるためには、少なくとも $\boxed{ス}$ 回の \boxed{D} が必要である。

速中性子は \boxed{D} を繰り返して熱中性子となり、生体軟組織中の原子核に吸収される。 \boxed{E} 原子核の場合には \boxed{G} 反応を起こし、物質にエネルギーを与える。

< D～Fの解答群 >

- | | | |
|-------------|---------|----------|
| 1 反跳電子 | 2 散乱中性子 | 3 散乱光子 |
| 4 反跳陽子 | 5 重荷電粒子 | 6 水素 |
| 7 炭素 | 8 窒素 | 9 酸素 |
| 10 水 | 11 弾性散乱 | 12 非弾性散乱 |
| 13 ラザフォード散乱 | 14 核反応 | 15 放射化 |

< シ、スの解答群 >

- | | | | | |
|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| 1 $\frac{1}{40}$ | 2 $\frac{1}{20}$ | 3 $\frac{1}{10}$ | 4 $\frac{1}{5}$ | 5 $\frac{1}{3}$ |
| 6 $\frac{1}{2}$ | 7 $\frac{2}{3}$ | 8 4 | 9 6 | 10 8 |
| 11 10 | 12 16 | 13 20 | 14 32 | 15 64 |

< Gの解答群 >

- | | | | |
|------------------|----------|-----------|------------------|
| 1 (n, α) | 2 (n, p) | 3 (n, n') | 4 (n, γ) |
| 5 (n, f) | 6 光核 | 7 核融合 | |

問2 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。

原子番号 z 、質量数 A の原子核（以下、荷電粒子と呼ぶ）が、非相対論的な速さ v で物質に入射した場合の、物質との相互作用について考えよう。

I 荷電粒子の相互作用の相手の大部分は物質中の電子（電荷 $-e$ 、質量 m ）であり、両者の間には□A□が働く。図に示すとおり、荷電粒子と電子の間の距離を r とすると、□A□の大きさ F は $F = k$ □ア□ (k は正の比例定数) と表せ、電子の得る運動量はこの□A□に伴う□B□に等しい。荷電粒子の速度が電子の速度に比べ十分大きい場合、運動量の□C□成分は荷電粒子が近づく間と遠ざかる間で互いに相殺されるため、その□B□の大きさ P の評価においては□D□成分のみを考慮すればよい。

時刻 t から時刻 $t+dt$ の間に働く□A□の大きさが F であり、また、荷電粒子の進行方向と、荷電粒子から見た電子の方向のなす角を θ とすると、 P は

$$P = \left| \int_{-\infty}^{+\infty} k \text{ □ア□ □イ□ } dt \right| \dots \dots \dots (1)$$

と書ける。なお、 $| \quad |$ は絶対値を示す。

ここで、

$$\frac{d(\cot\theta)}{dt} = -\frac{1}{\sin^2\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} \dots \dots \dots (2)$$

また荷電粒子が電子に最接近した際の両者の距離を r_{\min} とすると、

$$\frac{d(\cot\theta)}{dt} = \frac{d\left(\frac{r\cos\theta}{r_{\min}}\right)}{dt} = \frac{1}{r_{\min}} \cdot \frac{d(r\cos\theta)}{dt} = \frac{\text{□ウ□}}{r_{\min}} \dots \dots (3)$$

の関係があり、よって、(2) および (3) 式より $dt = -\frac{r_{\min}}{\text{□ウ□}} \sin^{-2}\theta d\theta$ を得る。これを (1)

式に反映させ、さらに $r = r_{\min} \sin^{-1}\theta$ の関係を用いると

$$\begin{aligned} P &= \left| \int_{-\infty}^{+\infty} k \text{ □ア□ □イ□ } dt \right| \\ &= \text{□エ□} \int_0^\pi \text{ □イ□ } d\theta = 2 \text{ □エ□ } \dots \dots \dots (4) \end{aligned}$$

となる。

また電子の得た運動量 P と運動エネルギー E の間には $E =$ の関係があることから、電子の得るエネルギー (= 荷電粒子の失うエネルギー) は荷電粒子の電荷 ze の 乗に、また速さ v の 乗にそれぞれ比例する。

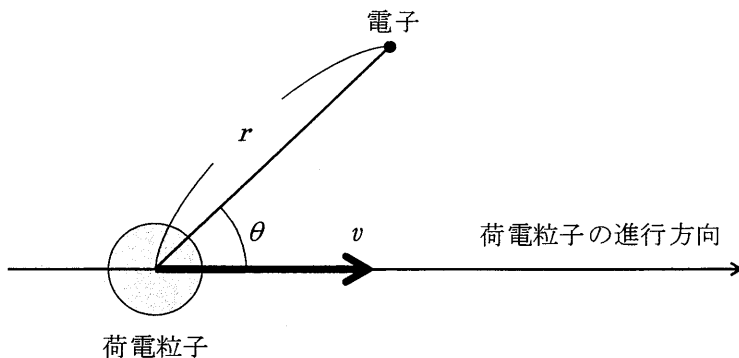


図 荷電粒子と電子の相互作用

< A、B の解答群 >

- | | | | |
|-----------|---------------|----------|-----------|
| 1 電界 | 2 磁力 | 3 力積 | 4 スピン |
| 5 コリオリ力 | 6 クーロン力 | 7 ローレンツ力 | 8 慣性モーメント |
| 9 運動エネルギー | 10 ファンデルワールス力 | | |

< アの解答群 >

- | | | | |
|---------------------|------------------------|--------------------|----------------------|
| 1 $\frac{ze}{r}$ | 2 $\frac{ze^2}{r}$ | 3 $\frac{ze}{r^2}$ | 4 $\frac{ze^2}{r^2}$ |
| 5 $\frac{ze}{v}$ | 6 $\frac{ze^2}{v}$ | 7 $\frac{ze}{v^2}$ | 8 $\frac{ze^2}{v^2}$ |
| 9 $\frac{ze}{Av^2}$ | 10 $\frac{ze^2}{Av^2}$ | | |

< C、D の解答群 >

- | | |
|-----------------|--------------------|
| 1 荷電粒子の進行方向の | 2 荷電粒子の進行方向に垂直な |
| 3 荷電粒子と電子を結ぶ方向の | 4 荷電粒子と電子を結ぶ方向に垂直な |

< イ、ウの解答群 >

- | | | | |
|---------------------|---------------------|---------------------|----------------|
| 1 $\sin^{-1}\theta$ | 2 $\cos^{-1}\theta$ | 3 $\tan^{-1}\theta$ | 4 $\sin\theta$ |
| 5 $\cos\theta$ | 6 $\tan\theta$ | 7 θ^{-1} | 8 θ |
| 9 θ^2 | 10 v^{-1} | 11 v | 12 v^2 |
| 13 $r\sin\theta$ | 14 $r\cos\theta$ | 15 $r\tan\theta$ | |

<エの解答群>

- | | | | | | | | |
|---|---------------------------------|---|----------------------------|---|-------------------------------|---|------------------------------|
| 1 | 0 | 2 | $k \frac{ze^2}{vr_{\min}}$ | 3 | $k \frac{ze^2}{v^2 r_{\min}}$ | 4 | $k \frac{ze^2}{vr_{\min}^2}$ |
| 5 | $k \frac{ze^2}{v^2 r_{\min}^2}$ | 6 | $k \frac{ze}{vr_{\min}}$ | 7 | $k \frac{ze}{v^2 r_{\min}}$ | 8 | $k \frac{ze}{vr_{\min}^2}$ |
| 9 | $k \frac{ze}{v^2 r_{\min}^2}$ | | | | | | |

<オの解答群>

- | | | | | | | | |
|---|------------------|---|-------------------|---|-----------------|---|------------------|
| 1 | $\frac{P}{m}$ | 2 | $\frac{P}{2m}$ | 3 | $\frac{P^2}{m}$ | 4 | $\frac{P^2}{2m}$ |
| 5 | $\frac{P^2}{mv}$ | 6 | $\frac{P^2}{2mv}$ | | | | |

<カ、キの解答群>

- | | | | | | | | | | |
|----|----|---|----|---|----|---|----|----|----|
| 1 | -5 | 2 | -4 | 3 | -3 | 4 | -2 | 5 | -1 |
| 6 | 0 | 7 | 1 | 8 | 2 | 9 | 3 | 10 | 4 |
| 11 | 5 | | | | | | | | |

II これまで1個の電子と荷電粒子が相互作用する場合のエネルギーの授受について述べたが、数多くの電子を含む現実の物質に対しては、相互作用を表す量として、荷電粒子が物質中で単位長さ dx 当たりに失うエネルギーである \boxed{E} が一般に用いられる。 \boxed{E} は前述の荷電粒子の電荷 ze と速さ v に対する依存性に加え、物質の電子密度 n_e にも比例する。

また、 \boxed{E} を物質の密度 ρ で割ったものは \boxed{F} と呼ばれる。単位体積中に含まれる物質のモル数は、その物質の原子番号を Z 、原子量を M とし、アボガドロ数を N_A とすると、密度を用いて \boxed{K} と表せ、また電子密度を用いて \boxed{L} と表せる。したがって電子密度と密度の比は物質の原子番号と原子量の比に比例する。 \boxed{G} を除けば、この比はほぼ $1/3$ から $1/2$ の値を取ることから、 \boxed{F} は物質の種類にはあまり依存しない。

荷電粒子が物質中で運動エネルギーを失い停止するまでに通過した距離を \boxed{H} と呼ぶが、連続減速近似のもとでは、荷電粒子の運動エネルギーを T とすると、 \boxed{H} の大きさ R は次式で表される。

$$R = \int_0^R dx = \int_T^0 \frac{dx}{dT} dT = \int_T^0 \left(\frac{dT}{dx} \right)^{-1} dT \quad \dots \dots (5)$$

すなわち、 \boxed{H} は \boxed{E} の逆数を T で積分した長さとして表される。

(5) 式に従えば、速さの等しい二つの異なる荷電粒子の飛程の比は、両者の運動エネルギーの比が に比例することとこれまでの結果を利用すれば求めることができる。例えば、150 MeV の陽子の水中飛程が 16 cm であったとすると、等速の ^{12}C イオンの運動エネルギーは MeV であり、水中飛程は陽子の水中飛程 16 cm の 倍となる。

< E ~ I の解答群 >

- | | | |
|-----------|--------------|---------------|
| 1 W 値 | 2 酸素 | 3 水素 |
| 4 飛程 | 5 重水素 | 6 阻止能 |
| 7 断面積 | 8 質量数 | 9 原子番号 |
| 10 ヘリウム | 11 線減弱係数 | 12 質量阻止能 |
| 13 質量減弱係数 | 14 平均励起エネルギー | 15 エネルギーフルエンス |

< ク、ケの解答群 >

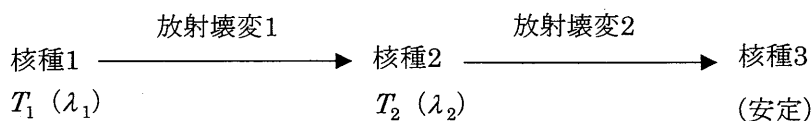
- | | | | |
|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 $\frac{\rho}{M}$ | 2 $\frac{M}{\rho}$ | 3 $\frac{\rho}{ZM}$ | 4 $\frac{ZM}{\rho}$ |
| 5 $\frac{n_e}{N_A}$ | 6 $\frac{N_A}{n_e}$ | 7 $\frac{n_e}{ZN_A}$ | 8 $\frac{ZN_A}{n_e}$ |
| 9 $\frac{n_e}{MN_A}$ | 10 $\frac{MN_A}{n_e}$ | | |

< コ、サの解答群 >

- | | | | |
|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| 1 150 | 2 450 | 3 900 | 4 1,350 |
| 5 1,800 | 6 2,400 | 7 $\frac{1}{16}$ | 8 $\frac{1}{9}$ |
| 9 $\frac{1}{8}$ | 10 $\frac{1}{4}$ | 11 $\frac{1}{3}$ | 12 4 |
| 13 8 | 14 9 | 15 16 | |

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 核種1が半減期 T_1 (壊変定数 λ_1) で壊変して核種2となり、さらにその核種2も半減期 T_2 (壊変定数 λ_2) で壊変して安定な核種3となる壊変系列がある (下図参照)。



核種1と核種2の原子数を N_1 、 N_2 とすると次の (1)、(2) 式が成り立つ。

$$\frac{dN_1}{dt} = \boxed{\text{A}} \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \boxed{\text{B}} \dots \dots \dots (2)$$

時間 $t=0$ において $N_1=N_{10}$ とし、核種2は存在しない ($N_{20}=0$) とすると、次の (3)、(4) 式が成り立つ。

$$N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \dots \dots \dots (3)$$

$$N_2 = \boxed{\text{C}} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \dots \dots \dots (4)$$

核種1、核種2の放射能をそれぞれ A_1 、 A_2 とする。核種2の放射能 A_2 は、(4) 式の両辺に λ_2 を乗じて、 $\lambda_1 N_{10} = A_{10}$ とすると (5) 式が得られる。

$$A_2 = \boxed{\text{D}} A_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \dots \dots \dots (5)$$

核種1の半減期 T_1 が核種2の半減期 T_2 よりも大きい ($T_1 > T_2$ 、又は $\lambda_1 < \lambda_2$) 場合、時間 t が十分に経過 ($t > 10 T_2$ 程度) すると、(5) 式の $e^{-\lambda_2 t}$ は $e^{-\lambda_1 t}$ に対して無視できるほど小さくなる。

$A_{10} e^{-\lambda_1 t} = A_1$ として、(5) 式から放射能比 $\frac{A_2}{A_1}$ を T_1 、 T_2 で表すと (6) 式が得られる。

$$\frac{A_2}{A_1} = \boxed{\text{E}} \dots \dots \dots (6)$$

(6) 式から、時間 t が十分に経過すると、核種2の放射能が核種1の放射能よりも大きく、その比は一定になる。このような放射平衡状態は過渡平衡と呼ばれる。

また、核種2の放射能が最大となる時間 t_{\max} は (5) 式で $\frac{dA_2}{dt} = 0$ より、(7) 式で求められる。

$$t_{\max} = \boxed{\text{F}} \ln \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{1}{\ln 2} \times \boxed{\text{G}} \ln \frac{T_1}{T_2} \dots \dots (7)$$

< A、Bの解答群 >

- | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 $\lambda_1 N_1$ | 2 $-\lambda_1 N_1$ | 3 $\lambda_1 N_2$ | 4 $-\lambda_1 N_2$ |
| 5 $\lambda_2 N_1$ | 6 $-\lambda_2 N_1$ | 7 $\lambda_2 N_2$ | 8 $-\lambda_2 N_2$ |
| 9 $\lambda_1 N_1 + \lambda_2 N_2$ | 10 $\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$ | 11 $-\lambda_1 N_1 + \lambda_2 N_2$ | 12 $-\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$ |

< C、Dの解答群 >

- | | | | |
|---|---|---|---|
| 1 $\frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2}$ | 2 $\frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2}$ | 3 $\frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}$ | 4 $\frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2}$ |
| 5 $\frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2}$ | 6 $\frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2}$ | 7 $\frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1}$ | 8 $\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$ |
| 9 $\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$ | | | |

< Eの解答群 >

- | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 $\frac{1}{T_1 - T_2}$ | 2 $\frac{1}{T_2 - T_1}$ | 3 $\frac{T_1}{T_1 - T_2}$ | 4 $\frac{T_2}{T_1 - T_2}$ |
| 5 $\frac{T_1}{T_2 - T_1}$ | 6 $\frac{T_2}{T_2 - T_1}$ | 7 $\frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2}$ | 8 $\frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1}$ |
| 9 $\frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2}$ | 10 $\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2}$ | | |

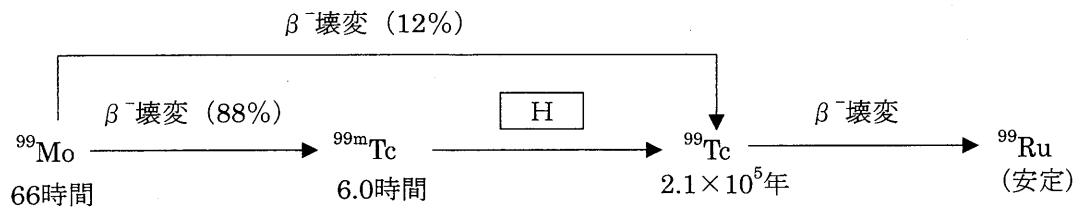
< Fの解答群 >

- | | | | |
|---|---|---|---|
| 1 $\frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2}$ | 2 $\frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2}$ | 3 $\frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}$ | 4 $\frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2}$ |
| 5 $\frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2}$ | 6 $\frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2}$ | 7 $\frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1}$ | 8 $\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$ |
| 9 $\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$ | | | |

< Gの解答群 >

- | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 $\frac{1}{T_1 - T_2}$ | 2 $\frac{1}{T_2 - T_1}$ | 3 $\frac{T_1}{T_1 - T_2}$ | 4 $\frac{T_2}{T_1 - T_2}$ |
| 5 $\frac{T_1}{T_2 - T_1}$ | 6 $\frac{T_2}{T_2 - T_1}$ | 7 $\frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2}$ | 8 $\frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1}$ |
| 9 $\frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2}$ | 10 $\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2}$ | | |

II ^{99}Mo は半減期 66 時間で β^- 壊変し、その 88% は $^{99\text{m}}\text{Tc}$ に、残りの 12% は $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を経由せず直接 ^{99}Tc になる (下図参照)。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ はさらに半減期 6.0 時間で $\boxed{\text{H}}$ して ^{99}Tc になる。この際、 $\boxed{\text{I}}$ keV の γ 線を放出する。 ^{99}Tc は β^- 壊変して ^{99}Ru (安定) になる。



過渡平衡にある ^{99}Mo や $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の原子数と放射能の関係は、I の (4)、(5)、(6) 式の右辺に 0.88 を乗ずることにより求められる。したがって、100 MBq の ^{99}Mo と過渡平衡にある $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の放射能は $\boxed{\text{J}}$ MBq となる。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ は、核医学診断に適した核種で最も多く利用されている。その $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を得るには、 ^{235}U の核分裂生成物から単離精製した $^{99}\text{MoO}_4^{2-}$ を $\boxed{\text{K}}$ カラムに吸着させる方法が使われている。 $^{99}\text{MoO}_4^{2-}$ が吸着したカラムに生理食塩水を通すと $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ が溶出される。その後カラム内に新たに生成する $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の放射能が最大になるのは、I の (7) 式よりおよそ $\boxed{\text{L}}$ 時間後となる (ただし、 $\ln 2 = 0.693$ 、 $\ln 11 = 2.4$ とする)。このように放射平衡を利用して短半減期の娘核種を繰り返し取り出す装置をジェネレータといい、その操作は $\boxed{\text{M}}$ と呼ばれる。なお、近年 ^{99}Mo を得るために ^{235}U の核分裂ではなく、Mo を原料として用いる方法が研究されている。その 1 例として、加速器からの高速中性子を ^{100}Mo に照射して $^{100}\text{Mo} \xrightarrow{\text{N}} ^{99}\text{Mo}$ 反応を利用する方法がある。

<Hの解答群>

- | | | | |
|---------------|----------------|----------------|----------|
| 1 α 壊変 | 2 β^- 壊変 | 3 β^+ 壊変 | 4 核異性体転移 |
| 5 電子捕獲 | | | |

<Iの解答群>

- | | | | |
|---------|---------|---------|-------|
| 1 59.5 | 2 141 | 3 279 | 4 514 |
| 5 1,116 | 6 1,333 | 7 1,461 | |

<Jの解答群>

- | | | | |
|-------|--------|-------|-------|
| 1 32 | 2 55 | 3 63 | 4 77 |
| 5 97 | 6 110 | 7 125 | 8 140 |
| 9 220 | 10 320 | | |

<Kの解答群>

- | | | |
|------------|------------|--------|
| 1 陽イオン交換樹脂 | 2 陰イオン交換樹脂 | 3 アルミナ |
| 4 シリカゲル | | |

<Lの解答群>

- | | | | | |
|------|------|------|------|--------|
| 1 6 | 2 12 | 3 23 | 4 36 | 5 46 |
| 6 60 | 7 72 | 8 84 | 9 94 | 10 120 |

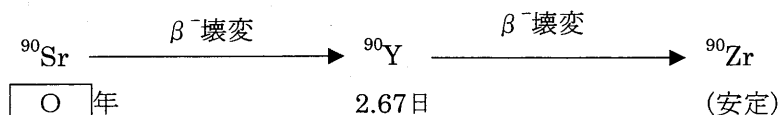
<Mの解答群>

- | | | |
|-----------|----------|-----------|
| 1 スカベンジング | 2 スクラビング | 3 ストリッピング |
| 4 ミルキング | | |

<Nの解答群>

- | | | | | |
|-----------------|-------------|-------------|------------|-----------------|
| 1 (n, γ) | 2 $(n, 2n)$ | 3 $(n, 3n)$ | 4 (n, p) | 5 (n, α) |
|-----------------|-------------|-------------|------------|-----------------|

Ⅲ 放射平衡において、 $T_1 \gg T_2$ ($\lambda_1 \ll \lambda_2$) の場合、十分な時間 t ($t \geq 10T_2$) が経過すると核種 1 と核種 2 の放射能はほとんど等しくなる。この状態は永続平衡と呼ばれる。 ^{90}Sr は半減期 $\square \text{ O}$ 年で β^- 壊変し ^{90}Y になり、さらに ^{90}Y も半減期 2.67 日で β^- 壊変して ^{90}Zr (安定) になる (下図参照)。



新たに分離精製した ^{90}Sr 試料中には ^{90}Y が生成し、おおよそ 1 ヶ月で永続平衡に達する。永続平衡にある ^{90}Y の ^{90}Sr に対する原子数比 (N_Y/N_{Sr}) は $\square \text{ P}$ となる。 ^{90}Sr 試料中に生成する ^{90}Y は無担体で取り出すことができる。永続平衡に達するまでの ^{90}Y の原子数は、放射化や RI 製造における飽和係数を使うことにより求めることができる。例えば、一旦 ^{90}Y を分離除去した ^{90}Sr 試料には、2.67 日間経過すると、永続平衡時の $\square \text{ Q}$ % の ^{90}Y が生成する。

^{90}Y は β^- 線 (最大エネルギー $E_{\text{max}} = \square \text{ R}$ MeV) を放出する核種であり、悪性リンパ腫の内用療法に利用されている。この方法では、治療に先だち $\square \text{ S}$ 放出核種である ^{111}In の標識抗体を投与して、腫瘍への集積性をシンチグラフィで確かめ、治療の適切性を確認する。

< O の解答群 >

- | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 2.60 | 2 5.27 | 3 10.8 | 4 12.3 | 5 28.8 |
| 6 100 | | | | |

< P の解答群 >

- | | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 2.5×10^{-4} | 2 5.0×10^{-4} | 3 7.5×10^{-4} | 4 2.5×10^{-3} |
| 5 5.0×10^{-3} | 6 7.5×10^{-3} | 7 2.5×10^{-2} | 8 5.0×10^{-2} |
| 9 7.5×10^{-2} | | | |

< Q の解答群 >

- | | | | | |
|------|------|------|------|------|
| 1 33 | 2 50 | 3 75 | 4 88 | 5 94 |
| 6 97 | 7 98 | 8 99 | | |

< R の解答群 >

- | | | | | |
|----------|---------|---------|--------|--------|
| 1 0.0186 | 2 0.257 | 3 0.546 | 4 1.71 | 5 2.28 |
|----------|---------|---------|--------|--------|

< S の解答群 >

- | | | | |
|--------------|---------------|---------------|--------------|
| 1 α 線 | 2 β^- 線 | 3 β^+ 線 | 4 γ 線 |
|--------------|---------------|---------------|--------------|

問4 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。

I 安定な核種はおおよそ280種類ある。その中でも陽子数 Z 、中性子数 N ともに偶数の核種(偶偶核)の数が最も多い。質量数 A が奇数のものがそれにつき、 Z と N がともに奇数の安定核種は□A等の4種類しか存在しない。 Z と N がともに奇数の核種の中には、壊変系列をつくらず長寿命の□Bとして天然に存在しているものがある。半減期□C年の ^{40}K や、 ^{138}La が代表的である。

Z が偶数の非放射性元素は、□Dを除いて複数の安定同位体を持つ。偶偶核の中でも、特に魔法数と呼ばれる数の Z や N をもつ同位体は安定なものも多く、例えば Z が□Eであるスズは、10種類もの安定同位体をもつ。

天然に存在する A が205以上の核種は壊変系列を作っている。このうち $A=4n+3$ (n は整数)で表される□F系列は、半減期が□G年で A が□Hの核種から始まり、安定同位体の ^{207}Pb で終わる。半減期□Iの ^{222}Rn は、天然壊変系列核種に属する希ガス同位体の中では最も長寿命で、 $A=4n+2$ で表わされる□J系列に属し、大気中に α 線放出核種として存在する。 $A=4n+1$ の系列核種の多くは地球年齢に比べて短寿命であり、地球生成時に存在していた核種は消滅している。ただし、最終安定核種□Kの親核種だけは、□Lする長半減期の核種であり、地球生成時から残存している。

< A~Cの解答群 >

- | | | |
|--------------------------|----------------------|----------------------|
| 1 ^{10}B | 2 ^{18}F | 3 ^{26}Al |
| 4 ^{38}Cl | 5 ^{68}Ga | 6 1.25×10^8 |
| 7 4.47×10^8 | 8 1.25×10^9 | 9 4.47×10^9 |
| 10 1.25×10^{10} | 11 一次放射性核種 | 12 二次放射性核種 |
| 13 宇宙線生成核種 | 14 誘導放射性核種 | |

< D、Eの解答群 >

- | | | | |
|--------|---------|-------|----------|
| 1 ヘリウム | 2 ベリリウム | 3 ネオン | 4 マグネシウム |
| 5 アルゴン | 6 28 | 7 50 | 8 54 |
| 9 64 | 10 82 | | |

< F~Hの解答群 >

- | | | | |
|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 アクチニウム | 2 ウラン | 3 トリウム | 4 ネプツニウム |
| 5 プルトニウム | 6 7.04×10^7 | 7 1.41×10^8 | 8 7.04×10^8 |
| 9 1.41×10^9 | 10 7.04×10^9 | 11 215 | 12 223 |
| 13 231 | 14 235 | 15 239 | |

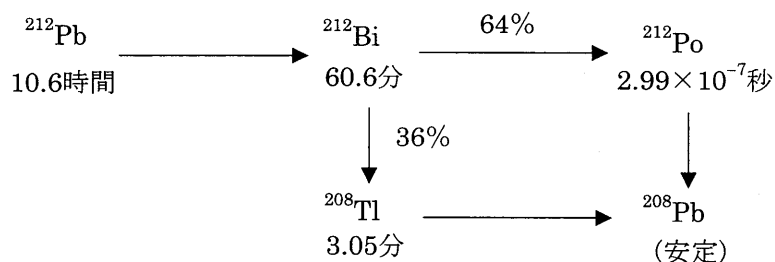
< I、J の解答群 >

- | | | | |
|----------|------------|----------|----------|
| 1 アクチニウム | 2 ウラン | 3 トリウム | 4 ネプツニウム |
| 5 プルトニウム | 6 55.6 秒 | 7 3.82 日 | 8 138 日 |
| 9 22.3 年 | 10 1,600 年 | | |

< K、L の解答群 >

- | | | | |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 ^{205}Tl | 2 ^{205}Pb | 3 ^{205}Hg | 4 ^{209}Pb |
| 5 ^{209}Bi | 6 ^{209}Ra | 7 電子捕獲 | 8 核異性体転移 |
| 9 β^+ 壊変 | 10 α 壊変 | 11 β^- 壊変 | |

II 下図は、A が $4n$ の系列の一部である。 ^{212}Bi は、64% が ^{212}Po へ、36% が ^{208}Tl に分岐壊変する。 ^{208}Tl への壊変の部分半減期は $\boxed{\text{ア}}$ 分である。下図の核種が放射平衡になっているとき、単位時間内に ^{212}Bi と ^{212}Po が放出する α 線の数の比 ($^{212}\text{Bi} / ^{212}\text{Po}$) は、 $\boxed{\text{イ}}$ である。このような平衡状態にある核種の混合水溶液から特定の核種を分離する方法の一つに溶媒抽出法がある。この例では、 $\boxed{\text{M}}$ のようなキレート形成剤を使うことによって、弱酸性水溶液から ^{212}Bi を有機相に選択的に分離抽出することができる。



一般的に抽出効率には抽出剤の選択性や溶媒の使用量に大きく依存する。水相：有機相の体積比が 1 : 1 のときに、放射性核種の水相/有機相の放射能比が 0.10 となるような抽出を考える。水相にある 100 kBq の放射性核種に対して、水相の 4 倍の体積の有機相で 2 回抽出を行うと、水相には、 $\boxed{\text{ウ}}$ Bq が残る。

^{208}Tl を水相から有機相に選択的に分離するには、Fe(III) に用いられるようなイオン会合体抽出が効果的で、水相を $\boxed{\text{N}}$ 溶液として、 $\boxed{\text{O}}$ を有機相に用いる分離が行われる。

<ア～ウの解答群>

1 0.56	2 0.78	3 1.0	4 1.3
5 1.8	6 21.8	7 38.8	8 48.4
9 59.5	10 94.7	11 168	12 250
13 625	14 1,000	15 6,250	

<M～Oの解答群>

1 ジチゾン (ジフェニルチオカルバゾン)	2 エタノール
3 アセトン	4 ジエチルエーテル
5 EDTA(エチレンジアミン四酢酸)	6 クエン酸
7 塩化アンモニウム	8 $6 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 塩酸
9 $0.2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 酢酸	10 $6 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 硝酸
11 $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 硫酸	12 $2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ アンモニア水
13 $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水酸化ナトリウム水溶液	

問5 次のI～III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。なお、解答群の選択肢は必要に応じて2回以上使ってもよい。

I 細胞は放射線に被ばくすると細胞障害や細胞死などを起こす。その感受性は、細胞の種類によって異なり、□Aの法則では、細胞分裂の頻度が□B細胞ほど、将来長期にわたり分裂を続ける細胞ほど、また、形態及び機能において□C細胞ほど感受性が高いとしている。

臓器・組織の感受性は、構成する細胞の放射線感受性によって決まる。造血系は最も感受性が高い組織の一つである。成人では通常□Dが造血機能を持つ。造血系の障害により血液細胞の供給が止まると、末梢血の血球数の減少となって現れる。ただし、□Eについては放射線被ばく後、数時間から1日の間に□Fを起こすことにより、最も早期に細胞数の減少が観察される。一方、□Gについては、放射線感受性が低く細胞寿命が約120日と長いため、出血を伴わない場合には、急速な減少はみられない。また、□Hの血液内での通常の寿命は1日以内と短く、被ばく後第1日目に急激に増加するが、その後線量依存的に減少する。

急性障害は、高線量率で高線量の放射線を被ばくした後に、多数の細胞に細胞障害や細胞死が生じることによって起きる障害をいう。全身に被ばくした場合に、数週間以内に生じる一連の症状を急性放射線症と言ひ、一般に、約1 Gy以上の線量を被ばくすると起きる。被ばく後の時間経過は、典型的には、前駆期、潜伏期、発症期、回復期に分けられる。

前駆期は、放射線宿酔と呼ばれる症状などが一過性に現れる48時間以内の時期を指す。前駆期に現れる初期症状のうち、IAEAの放射線障害に関するガイドでは、1 Gyの被ばくで10%程度の人に2時間以降で現れ、線量の増加とともに頻度の上昇と発現時期の早期化がみられる□Iを、線量推計の参考となる臨床的症状としている。1時間以内に□Iがみられる場合、少なくとも□J Gy以上の被ばくと考えられ、専門医療機関での医療処置が必要となる。

その後、潜伏期を経て、発症期に入ると、被ばく線量に応じた放射線障害が現れる。例えば、治療をしない場合、被ばく線量が約□K Gy以上になると、腸管上皮の再生ができなくなり、腸死が生じ始める。

< Aの解答群 >

- | | |
|----------------|---------------|
| 1 キュリー・ワイス | 2 ランベルト・ベール |
| 3 ベルゴニー・トリボンドー | 4 ハーディ・ワインバーグ |

< B、Cの解答群 >

- | | | |
|---------------|------|--------------|
| 1 低い | 2 高い | 3 未熟な (未分化の) |
| 4 成熟した (分化した) | | |

< Dの解答群 >

- | | | | |
|--------|--------|------|------|
| 1 脾臓 | 2 膵臓 | 3 肝臓 | 4 腎臓 |
| 5 白色骨髄 | 6 赤色骨髄 | | |

< E～Hの解答群 >

- | | | | |
|-----------|--------|----------|----------|
| 1 好中球 | 2 リンパ球 | 3 血小板 | 4 赤血球 |
| 5 細胞分化 | 6 脱分化 | 7 アポトーシス | 8 ネクローシス |
| 9 オートファジー | | | |

< Iの解答群 >

- | | | | |
|----------|------------|------|------|
| 1 唾液腺の腫脹 | 2 おう
嘔吐 | 3 下痢 | 4 頭痛 |
| 5 発熱 | 6 初期紅斑 | | |

< J、Kの解答群 >

- | | | | | |
|-----|-----|-----|------|------|
| 1 1 | 2 2 | 3 4 | 4 10 | 5 50 |
|-----|-----|-----|------|------|

II 放射線被ばくにより細胞に誘発されたDNAの損傷が正しく修復されないまま細胞が増殖した場合、発がんに至ることがある。発がんのリスクは疫学データに基づいて推定されている。1万人当たりの症例数を、対照群で I_c 、1 Gy被ばく群で I_r とすると、1万人、1 Gy当たりの過剰絶対リスクは \boxed{L} で、1 Gy当たりの過剰相対リスクは \boxed{M} で表される。広島・長崎の原爆被爆者の死亡率に関する調査結果では、男女平均の1 Gy当たりの過剰相対リスクとして、30歳で被爆した人が70歳になった時点で \boxed{N} との結果が得られている。

< L、Mの解答群 >

- | | | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 $I_r + I_c$ | 2 $I_r - I_c$ | 3 $\frac{I_r}{I_c}$ | 4 $\frac{I_c}{I_r}$ |
| 5 $\frac{I_r}{I_c} - 1$ | 6 $\frac{I_c}{I_r} - 1$ | 7 $1 - \frac{I_r}{I_c}$ | 8 $1 - \frac{I_c}{I_r}$ |

< Nの解答群 >

- | | | | | |
|---------|--------|---------|--------|-------|
| 1 0.042 | 2 0.42 | 3 1.042 | 4 1.42 | 5 4.2 |
| 6 5.2 | 7 42 | 8 43 | | |

Ⅲ 母親の胎内で放射線被ばくを受けた結果、胎児が被ばくすることを胎内被ばくという。放射線影響の観点から、受精から出生までの間は3つに区分されている。

着床前期は、ヒトでは受精後 までの期間である。この時期の主な放射線影響は である。 のしきい線量は、マウスでは であり、被ばくにより に至らなかったものは、成長を正常に続け影響は残らないと考えられている。

器官形成期は、ヒトでは着床後から受精後 までの期間である。この時期の主な放射線影響は である。 のしきい線量は、ヒトでは 程度と考えられている。

器官形成期の後、出生までが胎児期である。この時期では、精神発達遅滞や発育遅延が観察されている。

<ア～エの解答群>

- | | | | |
|-----------|-----------|-----------|---------|
| 1 1日 | 2 4日 | 3 8日 | 4 4週 |
| 5 8週 | 6 13週 | 7 27週 | 8 40週 |
| 9 0.01 Gy | 10 0.1 Gy | 11 0.5 Gy | 12 1 Gy |
| 13 5 Gy | 14 10 Gy | 15 15 Gy | |

<O、Pの解答群>

- | | | | |
|--------------|-------|---------|-------|
| 1 遺伝性 (的) 影響 | 2 発がん | 3 奇形 | 4 胚死亡 |
| 5 骨髄死 | 6 腸死 | 7 中枢神経死 | |

問6 次のⅠ～Ⅲの文章の□の部分に入る最も適切な語句又は数値を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。なお、解答群の選択肢は必要に応じて2回以上使ってもよい。

Ⅰ 放射線の生物作用に深く関わるDNAは生命の設計図とも言われる。細胞骨格成分や酵素などとして機能するタンパク質は、DNAの塩基の配列をもとに、グリシン、アラニンなどの20種類のアミノ酸を決まった配列で重合させることによって作られる。

タンパク質が合成される際、まず、DNAをもとに、塩基の相補性に基づいてRNAが合成される。この過程を□A□といい、合成されたRNAをmRNAという。なお、mRNAにはDNAに含まれるチミン(T)が含まれず、代わりにウラシル(U)が含まれる。mRNAは核から運び出されて、タンパク質合成が行われる□B□に結合する。□B□では、mRNAの塩基3個を1組として、1個のアミノ酸を対応させることにより、タンパク質の合成が行われる。この過程を□C□といい、mRNAの塩基3個の組をコドンという。□D□はコドンに対応するアミノ酸を□B□に運ぶ役割を担う。

<A～Dの解答群>

- | | | | |
|---------|----------|-----------|------------|
| 1 転写 | 2 転移 | 3 複写 | 4 複製 |
| 5 変換 | 6 翻訳 | 7 プロテアソーム | 8 ペルオキシソーム |
| 9 リソソーム | 10 リボソーム | 11 gRNA | 12 rRNA |
| 13 tRNA | 14 siRNA | | |

II 放射線、紫外線などによる DNA 損傷や DNA 複製過程でのエラーにより、DNA の塩基の配列に変化が生じることを変異という。DNA に生じた変異はタンパク質のアミノ酸の配列に変化を与える。

細胞周期制御やアポトーシス誘導に関わる p53 タンパク質は、多くのヒトがんで変異が認められる。下の図 1 に、ヒト p53 タンパク質の mRNA の塩基配列の一部を示す。mRNA の塩基の番号は、タンパク質合成が開始されるコドンの 1 番目の塩基を 1 番とし、以下、タンパク質合成が進行する方向に向かって増えるように付けることとする。また、タンパク質のアミノ酸の番号は、タンパク質合成が開始されるコドンに対応するアミノ酸を 1 番とし、以下、タンパク質合成が進行する方向に向かって増えるように付けることとする。

塩基の番号：1 番から 30 番

AUGGAGGAGCCGCAGUCAGAUCCUAGCGUC

塩基の番号：391 番から 420 番

AACAAGAUGUUUUGCCCAACUGGCCAAGACC

図 1

下の表 1 はコドンとアミノ酸の対応を示したもので、遺伝暗号表あるいはコドン表などと呼ばれる。

表 1

1番目の塩基	3番目の塩基	2番目の塩基							
		U		C		A		G	
U	U	UUU	フェニルアラニン	UCU	セリン	UAU	チロシン	UGU	システイン
	C	UUC		UCC		UAC		UGC	
	A	UUA	ロイシン	UCA		UAA	終止コドン	UGA	終止コドン
	G	UUG		UCG		UAG		UGG	トリプトファン
C	U	CUU	ロイシン	CCU	プロリン	CAU	ヒスチジン	CGU	アルギニン
	C	CUC		CCC		CAC		CGC	
	A	CUA		CCA		CAA	グルタミン	CGA	
	G	CUG		CCG		CAG		CGG	
A	U	AUU	イソロイシン	ACU	トレオニン	AAU	アスパラギン	AGU	セリン
	C	AUC		ACC		AAC		AGC	
	A	AUA	ACA	AAA		リシン	AGA	アルギニン	
	G	AUG	メチオニン	ACG		AAG		AGG	
G	U	GUU	バリン	GCU	アラニン	GAU	アスパラギン酸	GGU	グリシン
	C	GUC		GCC		GAC		GGC	
	A	GUA		GCA		GAA	グルタミン酸	GGA	
	G	GUG		GCG		GAG		GGG	

表 1 を参照すると、ヒト p53 タンパク質における 1 番のアミノ酸は **E**、2 番のアミノ酸は **F** であることが分かる。また、ヒト p53 タンパク質は 393 個のアミノ酸から構成される。したがって、ヒト p53 タンパク質の mRNA の終止コドンの 3 番目の塩基の番号は **ア** 番となる。

あるヒトがん組織において p53 タンパク質の mRNA の塩基配列を調べたところ、一本下線で示した 404 番の G が U に変化している例が見られた。正常な p53 タンパク質において、この塩基を含むコドンによって指定される **イ** 番のアミノ酸は本来 **G** であるが、変異した p53 タンパク質では **H** に置き換わっている。このような変異を **I** 変異という。また、別のヒトがん組織では二本下線で示した 405 番目の C が A に変化していた。この結果、**イ** 番のアミノ酸を指定するコドンが終止コドンに変化する。このような変異を **J** 変異という。

また、ヒトがん組織では、p53 タンパク質の mRNA に塩基の欠失や挿入が見られる場合もある。欠失するあるいは挿入される塩基の数が **K**、コドンの組み合わせが変わり、変異が起こった位置以降でのタンパク質アミノ酸配列が大きく変化する。このような変異を **L** 変異という。

< E ~ H の解答群 >

- | | | | |
|----------|---------|-----------|-------------|
| 1 アラニン | 2 グリシン | 3 アスパラギン | 4 アスパラギン酸 |
| 5 アルギニン | 6 グルタミン | 7 グルタミン酸 | 8 システイン |
| 9 セリン | 10 チロシン | 11 トレオニン | 12 フェニルアラニン |
| 13 メチオニン | 14 ロイシン | 15 イソロイシン | |

< ア、イの解答群 >

- | | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| 1 115 | 2 125 | 3 131 | 4 132 |
| 5 135 | 6 145 | 7 393 | 8 394 |
| 9 1,115 | 10 1,179 | 11 1,182 | 12 1,215 |
| 13 1,315 | 14 1,415 | | |

< I ~ L の解答群 >

- | | | | |
|-------------|---------------|-------------|--------------|
| 1 サイレント | 2 ナンセンス | 3 フレームシフト | 4 ミスセンス |
| 5 偶数であれば | 6 奇数であれば | 7 3 の倍数であれば | 8 3 の倍数でなければ |
| 9 5 の倍数であれば | 10 5 の倍数でなければ | | |

Ⅲ 染色体の数または構造の変化を伴う遺伝情報の変化を染色体異常という。染色体異常にはさまざまなものがある。下の図2の2本の染色体で、染色体1のa-b間と染色体2のc-d間でDNA二本鎖切断が生じたとする。このとき、誤って染色体1のa側の末端と染色体2のc側の末端が結合されると、が生じる。また、染色体1のa側の末端と染色体2のd側の末端が結合され、同時に染色体1のb側の末端と染色体2のc側の末端が結合されると、が生じる。

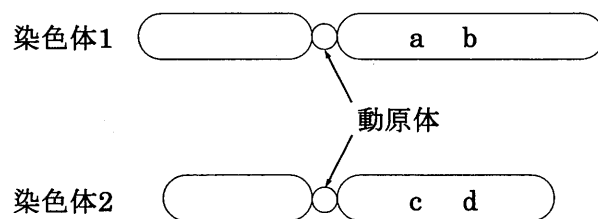


図2

染色体異常は安定型染色体異常と不安定型染色体異常に分類できる。やは染色体異常に分類される。安定型染色体異常と不安定型染色体異常のうち、がん化に関するものは染色体異常であると考えられている。また、急性期における放射線被ばく線量の生物学的推定は染色体異常を指標として行うことが多い。

<M~Rの解答群>

- | | | |
|-----------|------------|---------|
| 1 環状染色体 | 2 姉妹染色分体交換 | 3 相同染色体 |
| 4 二動原体染色体 | 5 逆位 | 6 欠失 |
| 7 転座 | 8 安定型 | 9 不安定型 |



