

平成24年度 放射線取扱主任者試験

正 誤 表

試験日 試験区分	平成24年8月22日(水)
	1時限目(10:00~11:45)
	第1種
課 目	物化生
板書事項	<p>11 ページ 問4 II</p> <p>1. 問題文 8~9行目の 「また照射時間tが$2T$では、・・・ K である。」 の部分を削除する。</p> <p>2. 13行目の < J、Kの解答群 > を < Jの解答群 > に変更する。</p> <p>マークシートの記入には注意してください。</p>

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（17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いただいて結構です。
- ⑦ 不正行為を行った者は、受験を中止させ、退場を命じます。

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、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。
- 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、1つの問いに対して、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、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、それぞれの解答群の中から1つだけ選べ。

I 荷電粒子が磁場の中を運動するとき、軌道が曲がることはよく知られている。質量 M 、電荷 ze の荷電粒子が速度 v で磁束密度 B の磁場中で磁場に直角に運動するとき、粒子には□ A と呼ばれる力 F が働き、

$$F = \text{ア}$$

である。このとき、この力 F と粒子に働く□ B が釣り合っって円運動をすることから、その円運動の軌道半径を r とすると、

$$F = \text{イ}$$

が成り立つ。粒子が円軌道を一周するのに要する時間 T_r は、

$$T_r = \frac{2\pi r}{v} = \text{ウ}$$

となる。□ C 的速度の範囲では、 T_r は粒子のエネルギーによらずほぼ一定であると見なすことができる。このように、周回の周波数 $1/T_r$ が粒子のエネルギーによらないという性質を利用している加速器が□ D である。

この加速器では、磁場に直角に□ E と呼ばれる2個の半円形電極を向かい合わせにおき、これに高周波電圧を印加する。粒子は2つの電極間ギャップを通過するときに印加された電圧に対応するエネルギーを得る。加速により粒子の軌道半径は大きくなるが、周期は変わらない。粒子が半回転して、もう一方の電極に達したときに電圧が逆転するようにすると、粒子はまた加速され、加速と共にその軌道半径は大きくなる。粒子の円軌道の最大半径を R とすれば、最終的に得られる粒子エネルギー E は、

$$E = \text{エ}$$

となる。最大軌道半径 0.5 [m]、磁束密度を 2 [T] とし ${}^4\text{He}^{2+}$ を加速すると、この粒子に与えられるエネルギーは□ オ [MeV] となる。ただし、1 [T] = 1 [V·s·m⁻²]、1 [u] = 1.66 × 10⁻²⁷ [kg] とする。

<A~Cの解答群>

- | | | | |
|---------|---------|---------|----------|
| 1 クーロン力 | 2 引力 | 3 重力 | 4 ローレンツ力 |
| 5 核力 | 6 遠心力 | 7 電子親和力 | 8 非相対論 |
| 9 相対論 | 10 統計力学 | 11 電磁気学 | |

<D、Eの解答群>

- | | | | |
|---------------------|------------------|-----------|------------|
| 1 コッククロフト・ウォルトン型加速器 | 2 ファン・デ・グラーフ型加速器 | | |
| 3 サイクロトロン | 4 ベータトロン | 5 シンクロトロン | 6 クライストロン |
| 7 マグネトロン | 8 ディー | 9 導波管 | 10 偏向電極 |
| 11 グリッド | 12 超伝導加速空洞 | 13 リニアック | 14 マイクロトロン |

<ア、イの解答群>

1 zeB

2 $\frac{ze}{B}$

3 $zevB$

4 zev^2B

5 $\frac{zev}{B}$

6 $\frac{zev^2}{B}$

7 $\frac{Mv}{r}$

8 $\frac{Mv^2}{r}$

9 $\frac{Mv}{r^2}$

10 $\frac{Mv^2}{r^2}$

11 $\frac{Mzev}{r}$

12 $\frac{Mzev}{r^2}$

<ウ、エの解答群>

1 $\frac{2\pi zeM}{B}$

2 $\frac{2\pi B}{zeM}$

3 $\frac{2\pi M}{zeB}$

4 $\frac{2\pi M}{ze}$

5 $\frac{2\pi(ze)^2 M}{B}$

6 $\frac{BzeR}{2M}$

7 $\frac{(BzeR)^2}{2M}$

8 $\frac{zeR}{2MB}$

9 $\frac{(zeR)^2}{2MB}$

10 $\frac{BzeR}{4\pi M}$

11 $\frac{(BzeR)^2}{4\pi M}$

<オの解答群>

1 10

2 17

3 24

4 34

5 41

6 48

7 55

8 62

9 69

10 76

11 83

12 90

II 質量数 a 、運動エネルギー E の入射粒子と質量数 A の静止した標的核が衝突を起こし、一体となって複合核を形成した後、何らかの粒子を放出してある原子核に壊変する場合を考える。衝突の前後の粒子や原子核の質量差をエネルギーに換算したものは、 $\boxed{\text{F}}$ あるいは Q 値と呼ばれる。 Q 値が正の場合を $\boxed{\text{G}}$ 反応といい、負の場合を $\boxed{\text{H}}$ 反応という。

$\boxed{\text{H}}$ 反応の場合には、入射粒子のエネルギーが Q 値の絶対値を超えないと反応は起こらない。核反応が起こるための入射粒子の最小エネルギー E_{\min} を $\boxed{\text{I}}$ という。ここで、複合核の概念を用いて最小エネルギー E_{\min} を求めてみる。複合核の運動エネルギー E_c は、運動量保存則を用いて、

$$E_c = \boxed{\text{カ}} E$$

となる。 E_{\min} は、反応の Q 値の絶対値と複合核の運動エネルギーの和に等しくなる入射粒子のエネルギーに相当するから、

$$E_{\min} = \boxed{\text{キ}} |Q|$$

となる。

ここで、 $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$ の核反応を考える。標的核は静止しているとする、反応の Q 値は $\boxed{\text{ク}}$ MeV となり $\boxed{\text{J}}$ 反応である。このとき、反応を起こすために必要な入射粒子である $\boxed{\text{K}}$ の最小エネルギーは、 $\boxed{\text{ケ}}$ MeV である。ただし、 ^{27}Al 、 ^4He 、 ^{24}Na の結合エネルギーを、それぞれ 224.9520 MeV、28.2957 MeV、193.5235 MeV とし、陽子及び中性子の静止エネルギーをそれぞれ 938.2796 MeV 及び 939.5731 MeV とする。

放出粒子が荷電粒子の場合には、標的核が大きくなると、複合核からの粒子放出がその間のクーロン障壁によって妨げられることがある。

< F ~ I の解答群 >

- | | | |
|-----------|---------------|-------------|
| 1 運動エネルギー | 2 ポテンシャルエネルギー | 3 イオン化エネルギー |
| 4 反応エネルギー | 5 しきいエネルギー | 6 換算エネルギー |
| 7 吸熱 | 8 発熱 | 9 化学 |
| 10 可逆 | 11 不可逆 | 12 壊変 |
| 13 転移 | | |

< J、K の解答群 >

- | | | | |
|---------------|---------------------|--------|--------------------|
| 1 吸熱 | 2 発熱 | 3 化学 | 4 可逆 |
| 5 不可逆 | 6 壊変 | 7 転移 | 8 ^{27}Al |
| 9 α 粒子 | 10 ^{24}Na | 11 中性子 | |

<カ、キの解答群>

1 $\frac{a+A}{A}$

2 $\frac{A}{a+A}$

3 $\frac{a}{a+A}$

4 $\frac{a+A}{a}$

5 $\left(\frac{a+A}{A}\right)^2$

6 $\left(\frac{A}{a+A}\right)^2$

7 $\left(\frac{a}{a+A}\right)^2$

8 $\left(\frac{a+A}{a}\right)^2$

9 $\frac{a+A}{A^2}$

10 $\frac{A}{(a+A)^2}$

11 $\frac{a}{(a+A)^2}$

12 $\frac{a+A}{a^2}$

<ク、ケの解答群>

1 -3.37

2 -3.31

3 -3.25

4 -3.19

5 -3.13

6 -3.07

7 -3.01

8 0.00

9 3.01

10 3.07

11 3.13

12 3.19

13 3.25

14 3.31

15 3.37

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 天然のウランには、主として天然同位体存在度が約99.3%の□Aと約0.7%の□Bの同位体がある。□Bは熱中性子を吸収すると、□Cを起こしエネルギーを放出する。□B原子核では、□Dの数が□Eの数より□ア個多く、1回の□Cでは□Fが2~3個程度放出される。

<A~Fの解答群>

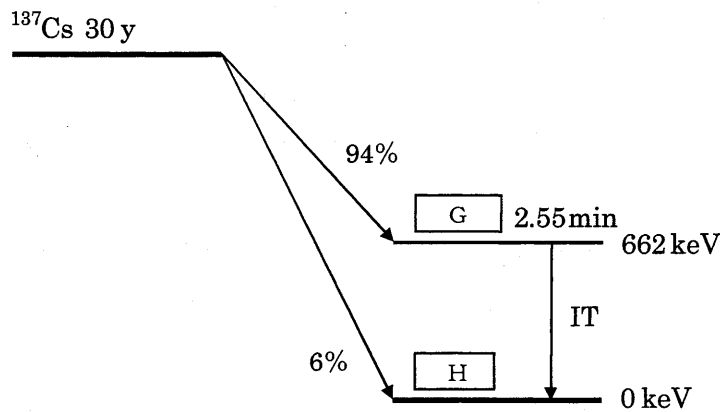
- | | | | |
|--------------------|---------------------|---------------------|-----------|
| 1 核融合 | 2 核分裂 | 3 核破砕 | 4 中性子捕獲反応 |
| 5 電子 | 6 陽電子 | 7 陽子 | 8 中性子 |
| 9 ^{234}U | 10 ^{235}U | 11 ^{238}U | |

<アの解答群>

- | | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| 1 51 | 2 54 | 3 71 | 4 74 |
| 5 143 | 6 146 | 7 153 | 8 156 |

II ^{137}Cs は代表的な核分裂生成物の 1 つである。以下に ^{137}Cs の壊変図を示す。図中の空欄は上から順に \square G、 \square H である。図の 0 keV のレベルは \square H の \square I 状態を示すが、 ^{137}Cs は 9 割以上の確率で \square J 状態のエネルギー準位に壊変する。図中の IT は \square K を示し、 \square G は半減期約 2.6 分で \square I 状態へと到達する。この際に 662 keV の γ 線を放出する場合と、 γ 線を放出する代わりにこのエネルギーを軌道電子に与える場合がある。後者は \square L と呼ばれる。

0.25 GBq の ^{137}Cs 点線源から 0.5 m 離れた点における 662 keV の γ 線の空気に対する吸収線量率を求めよう。 γ 線放出に対する電子の放出比 (\square M 係数) が 0.11 であるとする、線源から毎秒放出される γ 線の数はい \square イ s^{-1} である。散乱や減弱を無視すれば、線源から 0.5 m 離れた点におけるエネルギーフルエンス率は \square ウ $\text{MeV}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ である。空気の線エネルギー吸収係数と密度をそれぞれ $3.8\times 10^{-8}\text{ m}^{-1}$ 、 $1.3\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ であるとする、電子平衡が成立するならば求める値は、 \square エ $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ である。



< G、H の解答群 >

- | | | | |
|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------|
| 1 ^{129}I | 2 ^{131}I | 3 ^{133}I | 4 ^{137}Xe |
| 5 $^{137\text{m}}\text{Xe}$ | 6 ^{134}Cs | 7 $^{137\text{m}}\text{Cs}$ | 8 ^{137}Ba |
| 9 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ | 10 ^{140}La | | |

< I ~ M の解答群 >

- | | | | |
|---------|----------|--------|----------|
| 1 基底 | 2 励起 | 3 平衡 | 4 不斉 |
| 5 内部転換 | 6 オージェ効果 | 7 電子捕獲 | 8 核異性体転移 |
| 9 同位体効果 | | | |

< イ ~ エ の解答群 >

- | | | | |
|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 1 5 | 2 75 | 3 80 | 4 93 |
| 5 4.5×10^7 | 6 4.8×10^7 | 7 5.5×10^7 | 8 2.1×10^8 |
| 9 2.6×10^8 | 10 2.1×10^9 | | |

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 すべての物質は多数の原子が集まってできている。原子の大きさは□ア m 程度であり、原子の中心には、さらにその数万分の1の大きさの原子核がある。この原子の大きさには原子核を取り巻く□イの広がりが反映されている。原子核を構成する陽子と中性子の質量はほぼ等しく、それぞれ約□エグラムであり、□アの質量の約1,840倍である。1モルの原子の質量は、原子核内の陽子と中性子の数の和である□Bにグラムをつけた値に近く、□アの質量はほとんど無視できる。一方、原子間の結合は□アが担い、原子の化学的な性質は□アによって支配されている。しかし□アの数は、中性原子では陽子の数に等しく、陽子の数が元素を決め、各元素に対応する□C番号となる。同じ元素(同じ□C番号)でありながら、中性子の数が異なる(したがって□Bが異なる)核種どうしは□Dと呼ばれ、化学的な性質はほぼ同じである。

<アの解答群>

- | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 10^{-6} | 2 10^{-8} | 3 10^{-10} | 4 10^{-12} |
| 5 10^{-14} | 6 10^{-16} | 7 10^{-18} | 8 10^{-20} |

<イの解答群>

- | | | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 1.7×10^{-24} | 2 3.4×10^{-24} | 3 1.7×10^{-23} | 4 3.4×10^{-23} |
| 5 6.0×10^{-23} | 6 6.0×10^{23} | 7 6.0×10^{24} | |

<A～Dの解答群>

- | | | | |
|--------|--------|----------|--------|
| 1 原子 | 2 原子核 | 3 電子 | 4 陽子 |
| 5 中性子 | 6 中間子 | 7 質量 | 8 質量数 |
| 9 核異性体 | 10 同位体 | 11 同中性子体 | 12 同重体 |

II 地殻中に大量に存在し、動植物にとって必須元素であるカリウムは、天然同位体存在度が ^{39}K : 93.26%、 ^{40}K : 0.0117%、 ^{41}K : 6.73% であり、カリウムの原子量は 39.1 となる。この内、 ^{40}K は半減期 12.5 億年の放射性核種であり、46 億年前の地球誕生時における ^{40}K の存在量は現在の約 倍であったと推定される。 ^{40}K は、その放射壊変において、89.1%が 壊変して ^{40}Ca になり、10.7%が 壊変して ^{40}Ar になり 1.46 MeV の光子を放出する。

地球大気中に約 1% 存在する気体アルゴンの 99.6% は ^{40}Ar であり、これは主に ^{40}K から生成した。他に ^{36}Ar が 0.34%、 ^{38}Ar が 0.06% 存在し、アルゴンの原子量は となる。その結果、アルゴンとカリウムでは原子番号順で原子量の逆転が起きている。

カリウムは、元素の周期表では などとともにアルカリ金属と呼ばれ、 になりやすい。カルシウムは、 などとともにアルカリ土類金属と呼ばれ、 になりやすい。一方、アルゴンは希ガス(貴ガス)と呼ばれ、化学的に安定で反応しない。

< E の解答群 >

- | | | | |
|--------|-------|------|-----|
| 1 0.08 | 2 0.1 | 3 2 | 4 4 |
| 5 8 | 6 12 | 7 20 | |

< F、G の解答群 >

- | | | | |
|------------|-------------|------------|------|
| 1 α | 2 β^- | 3 γ | 4 EC |
|------------|-------------|------------|------|

< H の解答群 >

- | | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| 1 39.0 | 2 39.2 | 3 39.4 | 4 39.6 |
| 5 39.8 | 6 40.0 | | |

< I、J の解答群 >

- | | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| 1 C | 2 Cd | 3 Ce | 4 Co |
| 5 Cr | 6 Cs | 7 Cu | 8 S |
| 9 Sb | 10 Sc | 11 Se | 12 Si |
| 13 Sn | 14 Sr | | |

< ウ、エの解答群 >

- | | | | |
|------------|------------|------------|------------|
| 1 3 価の陽イオン | 2 2 価の陽イオン | 3 1 価の陽イオン | 4 3 価の陰イオン |
| 5 2 価の陰イオン | 6 1 価の陰イオン | | |

Ⅲ 人にとって必須元素であるヨウ素は $\boxed{\text{K}}$ になりやすいハロゲンの一つである。ヨウ素は安定同位体が $\boxed{\text{L}}$ のみの単核種元素であるが、放射性同位体は数多く知られている。とくに $\boxed{\text{M}}$ (半減期 8.02 日) は、 ^{235}U などの核分裂によって大量に生成し、原子炉事故時における環境汚染が問題になるが、一方では甲状腺疾患のアイソトープ治療などにも多く利用されている。その製造には、天然組成の $\boxed{\text{N}}$ を原子炉で中性子照射し、 $^{130}\text{N} (\text{n}, \gamma) ^{131}\text{N} \xrightarrow[25 \text{ min}]{\beta^-} \boxed{\text{M}}$ の反応が利用される。生成したヨウ素の揮発性を利用して、加熱により $\boxed{\text{M}}$ を分離して得ることができる。安定同位体より中性子過剰の $\boxed{\text{M}}$ は β^- 壊変して ^{131}O になる。逆に中性子不足の ^{123}I や ^{125}I などでは EC 壊変して、それぞれ ^{123}P や ^{125}P になる。

< K の解答群 >

- | | | | |
|------------|------------|------------|------------|
| 1 3 価の陽イオン | 2 2 価の陽イオン | 3 1 価の陽イオン | 4 1 価の陰イオン |
| 5 2 価の陰イオン | 6 3 価の陰イオン | | |

< L、M の解答群 >

- | | | | |
|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 ^{121}I | 2 ^{123}I | 3 ^{124}I | 4 ^{125}I |
| 5 ^{127}I | 6 ^{128}I | 7 ^{129}I | 8 ^{130}I |
| 9 ^{131}I | 10 ^{132}I | 11 ^{133}I | 12 ^{135}I |

< N～P の解答群 >

- | | | | |
|------|------|------|------|
| 1 Se | 2 Te | 3 Po | 4 Br |
| 5 At | 6 Ar | 7 Kr | 8 Xe |

問4 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。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 放射性同位体(RI)の製造には種々の核反応が用いられる。標的核の原子番号を Z とすると、目的とするRIの原子番号が $Z+1$ のときには、(p, n)反応や(□A, pn)反応などが利用可能である。目的RIの原子番号が $Z-1$ のときには、(n, p)反応や(p, □B)反応などが使える。(n, □C)反応のように標的核と目的RIの原子番号が同じ場合には、目的RIを無担体で得ることはできないが、熱中性子を□Dに照射して核分裂反応を起こさせると、一度に多種類のRIを無担体で得ることができる。

標的核と照射粒子の核反応の起こりやすさは□Eで表され、□Eと照射粒子エネルギーの関係は□Fと呼ばれる。中性子の捕獲反応の□Eは、低いエネルギー領域では中性子エネルギーを E_n とすると、□Gに比例する。

<A～Dの解答群>

- | | | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|------------|
| 1 p | 2 d | 3 α | 4 γ |
| 5 ^{99}Mo | 6 ^{235}U | 7 ^{238}U | |

<E、Fの解答群>

- | | | | |
|------------|---------|---------|-----------|
| 1 励起関数 | 2 波動関数 | 3 仕事関数 | 4 反応エネルギー |
| 5 しきいエネルギー | 6 光学的深さ | 7 反応断面積 | |

<Gの解答群>

- | | | | |
|---------|----------------|-------------------|--------------------------|
| 1 E_n | 2 $\sqrt{E_n}$ | 3 $\frac{1}{E_n}$ | 4 $\frac{1}{\sqrt{E_n}}$ |
|---------|----------------|-------------------|--------------------------|

II 標的核を照射して半減期 T の RI を製造するとき、RI の生成と壊変が同時に進行するので、その生成核の数 N を表す式は以下のようになる。

$$\frac{dN}{dt} = \boxed{\text{H}} - \lambda N$$

ここで、 n は標的核の数、 f は照射粒子フルエンス率、 σ は $\boxed{\text{E}}$ 、 λ は生成核の壊変定数、 t は照射時間である。この式から、

$$\lambda N = nf\sigma \boxed{\text{I}}$$

となる。 $\boxed{\text{I}}$ を飽和係数と呼び、たとえば照射時間 t が T と等しいときには飽和係数は $\boxed{\text{J}}$ となる。また照射時間 t が $2T$ では、それまでに生成した RI のうち、 $2T$ までに壊変してしまった RI の数 (d) と、壊変せずに残っている RI の数 (r) の比の値 (d/r) は $\boxed{\text{K}}$ である。

<H、I の解答群>

- | | | | |
|--------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1 nfo | 2 $\frac{nf}{\sigma}$ | 3 $\frac{n}{f\sigma}$ | 4 $\frac{n\sigma}{f}$ |
| 5 $e^{-\lambda t}$ | 6 $e^{\lambda t}$ | 7 $(e^{\lambda t} - 1)$ | 8 $(1 - e^{-\lambda t})$ |

<J、K の解答群>

- | | | | |
|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 $\frac{1}{3}$ | 2 $\frac{1}{e}$ | 3 $\frac{1}{2}$ | 4 $\ln 2$ |
| 5 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ | 6 $\frac{3}{4}$ | 7 $\frac{3}{2}$ | 8 $\frac{5}{3}$ |
| 9 $\frac{8}{3}$ | | | |

III 照射物質と生成 RI の分離には種々の化学的手法が用いられる。例として、 $^{65}\text{Cu}(p, n)^{65}\text{Zn}$ 反応による ^{65}Zn トレーサーの製造を考える。荷電粒子反応で照射物質が発熱することや標的核の密度が大きいことから、照射物質は金属銅が望ましい。照射物質が固体の場合には、酸やアルカリ水溶液に溶解して分離を行うことが多い。金属銅は $\boxed{\text{L}}$ のような $\boxed{\text{M}}$ のある酸で溶解する。水溶液からの銅と亜鉛の分離にはいくつかの方法が考えられる。 $\boxed{\text{N}}$ では硫化物イオンとの反応で CuS が沈殿するが ZnS は沈殿しないことを利用し、 CuS を沈殿として分離する沈殿法がある。一般に無担体の RI は、溶液中で $\boxed{\text{O}}$ に達して沈殿を生成することはまずない。銅イオンの方が $\boxed{\text{P}}$ ため、電気分解法では銅を陰極に選択的に析出させることができる。また $\boxed{\text{Q}}$ の方がクロロ錯体を形成しやすいことを利用して、 $\boxed{\text{R}}$ を使って $\boxed{\text{Q}}$ を捕集するのも 1 つの方法である。さらに錯形成能の違いを利用して分離する方法に溶媒抽出法がある。オキシシ(8-オキシキノリノール)が pH3 では、銅と錯体を形成するが、亜鉛とは形成しないことを利用して、銅の錯体を $\boxed{\text{S}}$ のような溶媒に抽出して分離することができる。

< L~O の解答群 >

- | | | | |
|----------|----------|---------|---------|
| 1 酸化力 | 2 還元力 | 3 電子親和力 | 4 起電力 |
| 5 塩酸 | 6 硝酸 | 7 酢酸 | 8 酸性 |
| 9 中性 | 10 アルカリ性 | 11 モル濃度 | 12 イオン積 |
| 13 イオン強度 | 14 溶解度積 | | |

< P、Q の解答群 >

- | | | | |
|-----------|-----------|-----|------|
| 1 還元されやすい | 2 酸化されやすい | 3 銅 | 4 亜鉛 |
|-----------|-----------|-----|------|

< R、S 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 |
| 5 エタノール | 6 アセトン | 7 クロロホルム | |

問5 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 放射線により、細胞には様々なタイプのDNA損傷が生じる。代表的なものとして、DNAを構成するチミンにヒドロキシルラジカル(•OH)が付加されることで生じるチミングリコールなどの□A□やDNA糖鎖の損傷による□B□がある。□A□の修復には、□A□の部位だけを切り出して正しい塩基を挿入する□C□と、□A□の周辺の塩基を含めた広い範囲を取り去り修復を行う□D□がある。また、DNA鎖切断の一つであるDNA2本鎖切断の修復には、□E□と□F□が関与する。この二つの修復には細胞周期に関連した特徴があり、G₁期の細胞では□E□による修復が主体となり、S期後半の細胞では□F□によりDNA2本鎖切断が効率的に修復される。

< A、Bの解答群 >

- | | | |
|---------------|---------|----------|
| 1 塩基の遊離(AP部位) | 2 塩基損傷 | 3 DNA鎖切断 |
| 4 メチル化 | 5 脱アミノ化 | |

< C～Fの解答群 >

- | | | |
|-----------|-----------|--------------|
| 1 相同組換え | 2 非相同末端結合 | 3 ヌクレオチド除去修復 |
| 4 ミスマッチ修復 | 5 塩基除去修復 | 6 V(D)J組換え |
| 7 SOS修復 | | |

II 放射線により細胞に生じた DNA 損傷が正確に修復されないと、細胞に突然変異が生じる可能性があり、がんや遺伝性(的)影響リスクが増加すると考えられている。がんについては、放射線により白血病の発生リスクが増加することがよく知られている。原爆被爆者のこれまでの疫学調査の結果から、放射線による白血病の過剰発生は、被爆後約 の潜伏期を経て、被爆後約 前後にピークとなり、その後減少するという推移をたどる。この白血病の線量反応は、被ばく線量が 2 Gy 以下では モデルに従う。また被ばく時年齢については、1 Gy 被ばくの場合の白血病死亡の過剰絶対リスクは、10 歳での被ばくは、30 歳での被ばくと比較して 。また、病型別でみると、急性骨髄性白血病発生の相対リスクは増加するが、 のそれは有意な増加は認められていないことがわかっている。

< G、H の解答群 >

- | | | |
|--------|--------|-------|
| 1 6 カ月 | 2 2 年 | 3 7 年 |
| 4 12 年 | 5 17 年 | |

< I の解答群 >

- | | | |
|------|------------|---------|
| 1 直線 | 2 直線-2 次曲線 | 3 2 次曲線 |
|------|------------|---------|

< J の解答群 >

- | | | |
|------|---------|------|
| 1 高い | 2 ほぼ等しい | 3 低い |
|------|---------|------|

< K の解答群 >

- | | | |
|------------|---------------|-------------|
| 1 慢性骨髄性白血病 | 2 急性リンパ芽球性白血病 | 3 慢性リンパ性白血病 |
|------------|---------------|-------------|

Ⅲ 生殖細胞の放射線被ばくにより子孫に現れる影響を遺伝性(的)影響という。低 LET 放射線に関するマウスを用いた Russell らの特定座位法による検討では、精原細胞の突然変異率は線量の増加とともに 的に増加する。一方、同一線量で比較すると、約 900 mGy/min の高線量率で照射した場合は線量率が約 100 分の 1 である約 8 mGy/min の場合と比べて突然変異率は ことが分かっている。また、線量率が約 8 mGy/min の場合と 0.007~0.05 mGy/min の場合とを比較すると、前者による突然変異率は後者のそれと比べて ことが示されている。このことは、ある線量率以下では DNA 損傷の修復効率が ことを示唆している。

放射線による生殖細胞の突然変異誘発率に関しては、生殖細胞の発育段階により差があり、精子は精原細胞より誘発率が 。この要因の一つとして精子が精原細胞と比べて放射線による細胞致死感受性が ことが挙げられる。

放射線被ばくによる遺伝性(的)影響を評価する方法の一つに 法がある。 法では、自然発生する突然変異率と同率の突然変異を誘発する 線量を用いる。つまり、この 線量が大きいほど子孫への影響は起こり ことになる。

< L~O の解答群 >

- | | | |
|-----------|-----------|-------|
| 1 直線 | 2 直線-2次曲線 | 3 直接 |
| 4 等価 | 5 倍加線量 | 6 高まる |
| 7 低下する | 8 変化しない | 9 吸収 |
| 10 遺伝有意線量 | | |

< ア~エの解答群 >

- | | | |
|------|------|---------|
| 1 高い | 2 低い | 3 ほぼ等しい |
|------|------|---------|

< P の解答群 >

- | | |
|-------|-------|
| 1 やすい | 2 にくい |
|-------|-------|

問6 次のI～IV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。

放射線の細胞致死効果は、物理的、化学的、あるいは生物学的な要因によって左右されることが知られている。

I 放射線の飛跡に沿って物質に、単位長さ当たりどれほどのエネルギーを与えるかを表す指標に□Aがある。同じ吸収線量を与えても□Aが異なると、致死効果が大きく異なる場合がある。ある効果を起こすのに必要な標準となる放射線の吸収線量と、ある放射線でその反応を起こすのに必要な吸収線量との比を□Bという。一般に□Aが高くなるにつれ、致死効果に関する□Bは大きくなるが、□C keV・ μm^{-1} 程度で最大値となり、それ以上では□Aの増加とともに低下する。

同じ吸収線量を、2回あるいはそれ以上に分割して間隔をおいて照射すると、1回で照射した場合に比べて致死効果は□D。このような、線量の分割によって見られる現象を□E回復と呼ぶ。

<A～Eの解答群>

- | | | | |
|---------------|--------|---------|-----------|
| 1 RBE | 2 OER | 3 LET | 4 SLD |
| 5 PLD | 6 1～2 | 7 10～20 | 8 100～200 |
| 9 1,000～2,000 | 10 大きい | 11 小さい | |

II 照射された細胞内では、標的分子が直接電離あるいは励起される直接作用と、まず細胞内の水分子が電離あるいは励起され、その結果生じたフリーラジカルが標的分子に損傷を与える間接作用とが致死効果に関わっている。後者の場合には、フリーラジカルを除去することによって、標的分子の損傷を低減し致死効果を小さくする物質がある。このような物質は「ラジカル□F」と呼ばれ、代表例として□Gが挙げられる。一般に γ 線における間接作用の寄与は□H%程度とされている。致死効果に関する主な標的分子であるDNAを水に溶かして凍結しX線照射した場合には、凍結せずに同一線量を照射した場合に比べDNA損傷の生成率が□I。これは凍結状態では□Jの寄与が□Kためである。

<F～Kの解答群>

- | | | | |
|----------|-----------|----------|----------|
| 1 サプレッサー | 2 スカベンジャー | 3 プロモーター | 4 グルタチオン |
| 5 グルコース | 6 グリシン | 7 5～10 | 8 20～40 |
| 9 50～80 | 10 90～100 | 11 大きい | 12 小さい |
| 13 直接作用 | 14 間接作用 | | |

III 酸素分圧の高い状態で照射すると、無酸素状態で照射した場合に比べ、致死効果は 。これを酸素効果と呼ぶ。この機序としては、酸素の存在がラジカルの化学的収率を増加させるということの他に、標的分子の損傷が酸素と反応してより 形になることが考えられる。酸素効果の程度を表す指標に がある。細胞致死効果に関する は、無酸素状態で一定の細胞致死効果を得るのに必要な線量を、酸素分圧の高い状態で同様の効果を得るのに要する線量で割ったもので、X線や γ 線の場合にはその値の最大値は 程度である。LETの高い放射線の場合には、低い放射線に比べ酸素効果は 。

<L~Pの解答群>

- | | | | |
|---------|--------|-----------|-----------|
| 1 小さい | 2 大きい | 3 修復されやすい | 4 修復されにくい |
| 5 RBE | 6 OER | 7 SLD | 8 PLD |
| 9 0.5~1 | 10 1~2 | 11 2~3 | 12 3~5 |
| 13 5~10 | | | |

IV 細胞は、細胞分裂期(M期)→G₁期→DNA複製期(S期)→G₂期の周期を繰り返しながら増殖する。この細胞周期の各時期に照射して細胞致死効果を調べると G₂期から M 期にかけて最も感受性が 。これに対し S 期の後半では感受性が 。培養細胞において、照射後に増殖培地の代わりに生理食塩水中で数時間培養すると、増殖培地でそのまま培養した場合に比べ生存率が 。この現象は、回復と呼ばれる。

<Q~Tの解答群>

- | | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| 1 高い | 2 低い | 3 OER | 4 PLD |
| 5 SLD | 6 RBE | 7 LET | |

