

令和3年度

第1種放射線取扱主任者試験

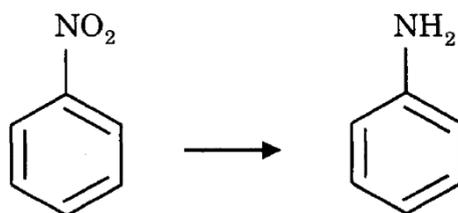
問題と解答例

化学

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 比放射能が  $370 \text{ kBq} \cdot \text{g}^{-1}$  の  $^{14}\text{C}$ ニトロベンゼンを亜鉛で還元して  $^{14}\text{C}$ アニリンを合成した(図)。生成した  $^{14}\text{C}$ アニリンの比放射能  $[\text{kBq} \cdot \text{g}^{-1}]$  として、最も近い値は次のうちどれか。ただし、ニトロベンゼンとアニリンの分子量はそれぞれ123と93、収率は70%とする。



- 1 190    2 270    3 340    4 490    5 700

〔解答〕4

〔解説〕  $^{14}\text{C}$ ニトロベンゼン1 molの放射能は、ニトロベンゼンの分子量が123なので、 $370 \text{ kBq} \cdot \text{g}^{-1} \times 123 = 45510 \text{ kBq}$ 。 $^{14}\text{C}$ ニトロベンゼン1 molから生成する  $^{14}\text{C}$ アニリンは、収率が70%なので0.7 molであり、その放射能は  $45510 \times 0.7 = 31857 \text{ kBq}$ 。生成した  $^{14}\text{C}$ アニリンの比放射能を  $X \text{ kBq} \cdot \text{g}^{-1}$  とすると、アニリンの分子量は93なので、 $X \times 93 \times 0.7 = 31857 \text{ kBq}$  であり、 $X = 489.35 \text{ kBq} \cdot \text{g}^{-1}$  となる。

問2 次の逐次壊変において、核種Iと核種IIが放射平衡となりうるものの組合せはどれか。ただし、( )内は半減期と壊変形式を示す。

核種 I		核種 II	
A $^{42}\text{Ar}$ (32.9 年、 $\beta^-$ )	→	$^{42}\text{K}$ (12.4 時間、 $\beta^-$ )	→
B $^{55}\text{Co}$ (17.5 時間、EC、 $\beta^+$ )	→	$^{55}\text{Fe}$ (2.77 年、EC)	→
C $^{68}\text{Ge}$ (271 日、EC)	→	$^{68}\text{Ga}$ (67.8 分、EC、 $\beta^+$ )	→
D $^{87}\text{Y}$ (79.8 時間、EC、 $\beta^+$ )	→	$^{87\text{m}}\text{Sr}$ (2.82 時間、IT、EC)	→
E $^{125}\text{Xe}$ (16.9 時間、EC、 $\beta^+$ )	→	$^{125}\text{I}$ (59.4 日、EC)	→

- 1 ABDのみ    2 ABEのみ    3 ACDのみ    4 BCEのみ    5 CDEのみ

〔解答〕3

〔解説〕放射平衡とは、親核種とそれが崩壊してできた子孫核種の放射能の量がほぼ一定の比率になること。親核種の半減期が子孫核種のそれよりも十分に長い場合に起こる。

問3 放射性核種 A から放射性核種 B が生成し、両者は過渡平衡の関係になる。次の記述のうち、正しいものはどれか。ただし、最初は放射性核種 A のみであったとする。

- 1 核種 B の壊変定数は核種 A の壊変定数より小さい。
- 2 核種 B の放射能が核種 A の放射能と等しくなることはない。
- 3 過渡平衡に達すると、核種 B の放射能は核種 A の放射能より常に小さい。
- 4 過渡平衡に達すると、核種 B も核種 A も核種 A の半減期で減衰する。
- 5 核種 B の放射能が最大となる時、核種 A と核種 B の放射能の和も最大となる。

〔解答〕 4

〔解説〕 過渡平衡は、親核種の半減期が子孫核種の半減期よりも長い場合に起こる(=壊変定数は、親核種が小さい)。最初は親核種の壊変により、子孫核種の放射能は急激に増加し極大に達する。その後十分な時間が経過すると、子孫核種は親核種の半減期で減少するようになる。

問4 1 GBq の  $^{140}\text{Ba}$ (半減期 13 日)の質量[g]は、これと過渡平衡にある  $^{140}\text{La}$ (半減期 40 時間)の質量[g]の何倍か。次のうち最も近い値はどれか。

- 1 0.15
- 2 0.75
- 3 1.6
- 4 3.3
- 5 6.8

〔解答〕 5

〔解説〕 過渡平衡の時、親核種 A の個数  $N_A$  と子孫核種 B の個数  $N_B$  の比は以下のように一定となる。

$$N_A/N_B = (\lambda_B - \lambda_A) / \lambda_A \quad (\lambda_A, \lambda_B \text{ はそれぞれ親核種 A と子孫核種 B の壊変定数})$$

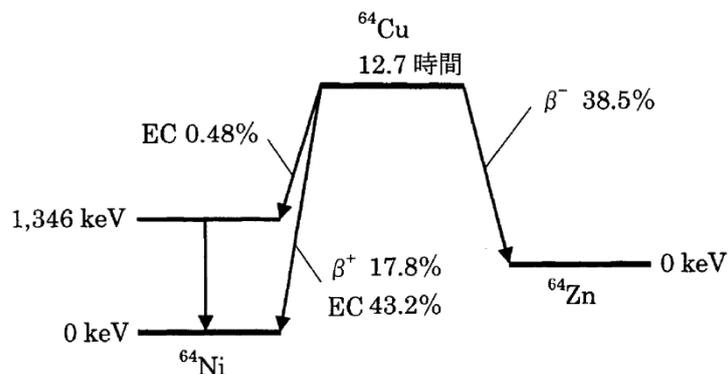
$^{140}\text{Ba}$  の半減期  $T_{1/2}$  は 13 日なので、 $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$  より、 $^{140}\text{Ba}$  の壊変定数  $\lambda_A$  は、

$$\lambda_A = 0.693 / (13 \times 24 \times 60 \times 60) = 6.2 \times 10^{-7}$$

また  $^{140}\text{La}$  (半減期 40 時間) の壊変定数  $\lambda_B = 0.693 / (40 \times 60 \times 60) = 4.81 \times 10^{-6}$

$$\lambda_A \text{ と } \lambda_B \text{ を } N_A/N_B = (\lambda_B - \lambda_A) / \lambda_A \text{ に代入して、} N_A/N_B = 6.758$$

問5 図に  $^{64}\text{Cu}$ (半減期 12.7 時間)の壊変図式が示されている。 $^{64}\text{Cu}$  線源の性質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 壊変してできる  $^{64}\text{Ni}$  と  $^{64}\text{Zn}$  の数の比はおおよそ 2:3 である。

- B NiのX線が放出される。  
C  $\beta$ 壊変に伴って1,346 keVの $\gamma$ 線が放出される。  
D 511 keVの光子が観測される。  
E  $\beta$ 線を測定すると、その計数率は半減期33時間で減衰する。
- 1 AとB    2 AとC    3 BとD    4 CとE    5 DとE

〔解答〕 3

〔解説〕

- A：誤  ${}^{64}\text{Ni}$ は $0.48\%(\text{EC})+17.8\%(\beta^+)+43.2\%(\text{EC})=61.48\%$ 。一方、 ${}^{64}\text{Zn}$ は $38.5\%$ 。そのため、 ${}^{64}\text{Ni}$ と ${}^{64}\text{Zn}$ の数の比は $61.48:38.5$ となる。
- B：正 ECに伴い、特性X線が放出される。
- C：誤 EC( $0.48\%$ )に伴い、 $1,346\text{ keV}$ の $\gamma$ 線が放出される。
- D：正  $\beta^+$ 壊変によって生じた陽電子は周りには電子と結合して消滅するが、その際約 $180^\circ$ 方向に2本の光子を放出する。これを消滅放射線と呼ぶ。
- E：誤  $\beta$ 線の計数率は、半減期 $12.7$ 時間で減衰する。

問6 次の核反応のうち、貴ガス(希ガス)の同位体を生成するものの組合せはどれか。

- A  ${}^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})$   
B  ${}^{19}\text{F}(\alpha,\text{pn})$   
C  ${}^{20}\text{Ne}(\text{n},\text{p})$   
D  ${}^{23}\text{Na}(\text{p},\alpha)$   
E  ${}^{24}\text{Mg}(\gamma,\text{n})$
- 1 AとB    2 AとE    3 BとD    4 CとD    5 CとE

〔解答〕 3

〔解説〕 核反応では、両辺の質量数の和と原子番号の和が等しくならなければならない。

- A：誤  ${}^{18}\text{O} + {}^1_1\text{p} \rightarrow {}^{18}\text{F} + {}^1_0\text{n}$   
B：正  ${}^{19}\text{F} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{21}\text{Ne} + {}^1_1\text{p} + {}^1_0\text{n}$  ( ${}^{21}\text{Ne}$ は希ガス)  
C：誤  ${}^{20}\text{Ne} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{20}\text{F} + {}^1_1\text{p}$   
D：正  ${}^{23}\text{Na} + {}^1_1\text{p} \rightarrow {}^{20}\text{Ne} + {}^4_2\text{He}$  ( ${}^{20}\text{Ne}$ は希ガス)  
E：誤  ${}^{24}\text{Mg} \rightarrow {}^{23}\text{Mg} + {}^1_0\text{n}$

問7 ある岩石に含まれる金の濃度を求めるために、熱中性子放射化分析を行った。5 gの岩石と標準試料の金箔 $8.5\ \mu\text{g}$ のそれぞれを化学処理して、2つの照射試料を作った。2つの照射試料をひとつの中性子照射用カプセルに詰めて中性子照射をした。照射終了してから2.7日経過後に、それぞれの照射試料について、中性子捕獲反応で生成した ${}^{198}\text{Au}$ (半減期2.7日)の $\gamma$ 線( $412\text{ keV}$ )をGe半導体検出器で続けて測定した。岩石試料では360秒間の測定

で4,680カウント、標準試料では60秒間の測定で12,600カウントであった。この岩石中の金の濃度 $[\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}]$ として最も近い値は次のうちどれか。ただし、 $^{197}\text{Au}$ の天然同位体存在度は100%、化学処理の収率は岩石試料と標準試料ともに100%とし、カウント数はバックグラウンドを差し引いた値である。

- 1 0.049    2 0.11    3 0.27    4 0.53    5 1.3

〔解答〕 2

〔解説〕 カウントを毎秒に換算すると、岩石試料で $4680/360 = 13 \text{ cps}$  (count per second)、標準試料で $12600/60 = 210 \text{ cps}$ 。cpsは $^{197}\text{Au}$ の量に比例するので、岩石中に $^{197}\text{Au}$ が $X \mu\text{g}$ あるとすると、 $X : 8.5 = 13 : 210$ となり、 $X = 0.526 \mu\text{g}$ 。これが岩石5g中にあるので、 $0.526/5 = 0.105 \mu\text{g/g}$

問8 次のうち、単核種元素を含んでいないものの組合せはどれか。

- |   |    |    |    |
|---|----|----|----|
| 1 | H  | C  | Na |
| 2 | He | N  | Mg |
| 3 | Li | O  | Al |
| 4 | Be | F  | Si |
| 5 | B  | Ne | P  |

〔解答〕 2

〔解説〕 Na ( $^{23}\text{Na}$ )、Al ( $^{27}\text{Al}$ )、Be ( $^9\text{Be}$ )、F ( $^{19}\text{F}$ )、P ( $^{31}\text{P}$ )は単核種元素(安定同位体が1つ)。

問9 ヨウ素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  $^{123}\text{I}$ は $^{235}\text{U}$ の核分裂生成物である。
- B  $^{125}\text{I}$ はラジオイムノアッセイに利用されている。
- C  $^{127}\text{I}$ は安定同位体である。
- D  $^{129}\text{I}$ はサイクロトロンで製造されている。
- E  $^{131}\text{I}$ は甲状腺機能亢進症の内用療法に利用されている。

- 1 ABDのみ    2 ABEのみ    3 ACDのみ    4 BCEのみ    5 CDEのみ

〔解答〕 4

〔解説〕

- A : 誤  $^{235}\text{U}$ の核分裂生成物は $^{131}\text{I}$
- B : 正  $^{125}\text{I}$ はラジオイムノアッセイに頻用される核種である。
- C : 正  $^{127}\text{I}$ は安定同位体である。
- D : 誤  $^{129}\text{I}$ は半減期が長く(1570万年)、宇宙線やウランの自発核分裂により絶えず一定

量、大気中に存在している。

E：正  $^{131}\text{I}$  は甲状腺機能亢進症や甲状腺癌の内用療法に用いられている。

問10  $\beta^+$ 又はEC壊変をする核種、安定な核種、 $\beta^-$ 壊変をする核種として正しいものの組合せは次のうちどれか。ただし、準安定状態のものは考慮しない。

	$\beta^+$ 又はEC	安定	$\beta^-$
A	$^{54}\text{Mn}$	$^{55}\text{Mn}$	$^{56}\text{Mn}$
B	$^{54}\text{Fe}$	$^{55}\text{Fe}$	$^{56}\text{Fe}$
C	$^{58}\text{Co}$	$^{59}\text{Co}$	$^{60}\text{Co}$
D	$^{64}\text{Zn}$	$^{65}\text{Zn}$	$^{66}\text{Zn}$

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

〔解答〕 2

〔解説〕

A：正  $^{54}\text{Mn}$  はEC壊変、 $^{55}\text{Mn}$  は安定同位体、 $^{56}\text{Mn}$  は $\beta^-$ 壊変

B：誤  $^{54}\text{Fe}$  と $^{56}\text{Fe}$  は安定同位体、 $^{55}\text{Fe}$  はEC壊変

C：正  $^{58}\text{Co}$  は $\beta^+$ 壊変およびEC壊変、 $^{59}\text{Co}$  は安定同位体、 $^{60}\text{Co}$  は $\beta^-$ 壊変

D：誤  $^{64}\text{Zn}$  と $^{66}\text{Zn}$  は安定同位体、 $^{65}\text{Zn}$  は $\beta^+$ 壊変およびEC壊変

問11 トリチウム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 1日でトリチウムの約100分の1が壊変する。

B 核融合炉の燃料としての利用が研究されている。

C 地球上では、宇宙線による生成と、壊変による減衰が平衡し、常に約1TBqが存在する。

D トリチウム水の測定では液体シンチレーションカウンタが用いられる。

E 天然ガス中のメタンにはほとんど含まれない。

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

〔解答〕 4

〔解説〕

A：誤 トリチウムの半減期は12.3年(4489.5日)なので、1日では1/100も壊変しない。

B：正 重水素との核融合が研究されている。

C：誤 宇宙線による年間生成量は70PBqであり、1TBqよりはるかに多い。またトリチウムの半減期は12.3年なので、1年程度で1TBq以下までは減少しない。

D：正

E：正 天然ガス中のメタンは化石燃料で数百万年前が起源である。トリチウムの半減期は12.3年なので、天然ガス中のトリチウムは、ほぼ0である。

問12 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A  $^{45}\text{Sc}$  はスカンジウムの唯一の安定核種である。
- B  $^{90}\text{Y}$  の  $\beta$  壊変で生成する  $^{90}\text{Zr}$  は  $\gamma$  線を放出する。
- C  $^{147}\text{Pm}$  からの  $\gamma$  線は厚さ計に利用される。
- D  $^{225}\text{Ac}$  からの  $\beta$  線はがん治療に利用される。
- E  $^{241}\text{Am}$ -Be 線源は中性子源として利用される。

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

〔解答〕 2

〔解説〕

A：正

B：誤  $^{90}\text{Zr}$  は安定同位体である。

C：誤  $^{147}\text{Pm}$  からの  $\beta$ 線は厚さ計に利用される。

D：誤  $^{225}\text{Ac}$  は  $\alpha$  および  $\gamma$  線放出核種であり、 $\beta$ 線は放出しない。 $^{225}\text{Ac}$  は前立腺がんの治療に用いられる ( $^{225}\text{Ac}$ -PMSA-617)。

E：正  $^{241}\text{Am}$  からの  $\alpha$  線による核反応 ( $^9\text{Be} + ^4\text{He} \rightarrow ^{12}\text{C} + ^1_0\text{n}$ ) で中性子が放出される。

問13 次の壊変系列を作る核種のうち、 $\alpha$ 線放出核種の組合せはどれか。

- A  $^{234}\text{U}$
- B  $^{233}\text{U}$
- C  $^{230}\text{Th}$
- D  $^{228}\text{Ra}$

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

〔解答〕 1

〔解説〕

A：正 ウラン ( $4n+2$ ) 系列

B：正 ネプツニウム ( $4n+1$ ) 系列

C：正 ウラン ( $4n+2$ ) 系列

D：誤 トリウム ( $4n$ ) 系列であるが、 $\alpha$ 崩壊しない。

問14 環境放射能分析に関する次の記述のうち、正しいものはどれか。

- 1 水中の  $^3\text{H}$  の濃縮には溶媒抽出の際の同位体効果を利用する。
- 2 貝殻中の  $^{14}\text{C}$  の加速器質量分析では  $^{14}\text{C}$  をまずメタンガスとして単離する。
- 3 大気中の  $^{85}\text{Kr}$  は塩化カルシウムに吸着させて濃縮できる。
- 4  $^{90}\text{Sr}$  とその娘核種  $^{90}\text{Y}$  の放射平衡の成立を待って、 $^{90}\text{Y}$  の  $\beta$  線を測定することで  $^{90}\text{Sr}$  の放射

能を求める。

- 5 ウラン系列で放射平衡が成立している場合、 $^{208}\text{Tl}$  の  $\gamma$  線測定から  $^{238}\text{U}$  を定量することができる。

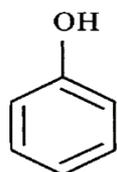
〔解答〕 4

〔解説〕

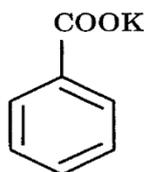
- 1: 誤 水中の  $^3\text{H}$  の濃縮には電解濃縮が行われる。  
2: 誤 燃焼または酸化を利用して  $\text{CO}_2$  を単離する。  
3: 誤 Kr は冷却して回収する。  
4: 正  
5: 誤  $^{208}\text{Tl}$  はトリウム (4n) 系列である。

問 15 次の操作のうち、化学反応によって放射性の気体が発生するものはどれか。

- 酢酸に  $\text{K}_2^{14}\text{CO}_3$  を加える。
- 塩酸に  $\text{Mg}^{35}\text{SO}_4$  を加える。
- 硫酸に  $^{22}\text{NaCl}$  を加える。
- 希硝酸に  $^{45}\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  を加える。
- フェノールに  $^{14}\text{C}$  安息香酸カリウムを加える。なお、構造式は次のとおり。



フェノール



安息香酸カリウム

〔解答〕 1

〔解説〕

- 1: 正  $2\text{CH}_3\text{COOH} + \text{K}_2^{14}\text{CO}_3 \rightarrow \underline{^{14}\text{CO}_2 \uparrow} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{CH}_3\text{COOK}$   
2: 誤  $2\text{HCl} + \text{Mg}^{35}\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2^{35}\text{SO}_4 + \text{MgCl}_2$   
3: 誤 常温では気体のナトリウム化合物は無い。  
4: 誤 常温では気体のカルシウム化合物は無い。  
5: 誤 この場合も放射性気体は発生しない。

問 16 次の文章の  ~  に入るイオンとして、最も適切な組合せは次のうちどれか。

それぞれ担体を含む  $^{45}\text{Ca}^{2+}$ 、 $^{67}\text{Cu}^{2+}$ 、 $^{84}\text{Rb}^+$ 、 $^{203}\text{Hg}^{2+}$  の水溶液に以下の操作を行った。塩化ナトリウム ( $\text{NaCl}$ ) 水溶液を加えると  が沈殿した。 を分離した後、硫化ナトリウム ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) 水溶液を加えると  が沈殿した。さらに  を分離した後、フッ化ナトリウ

ム(NaF)水溶液を加えると  が沈殿した。 の沈殿を分離した水溶液に  が残った。

	<input type="text" value="ア"/>	<input type="text" value="イ"/>	<input type="text" value="ウ"/>	<input type="text" value="エ"/>
1	$^{45}\text{Ca}^{2+}$	$^{203}\text{Hg}^{2+}$	$^{67}\text{Cu}^{2+}$	$^{84}\text{Rb}^{+}$
2	$^{203}\text{Hg}^{2+}$	$^{84}\text{Rb}^{+}$	$^{67}\text{Cu}^{2+}$	$^{45}\text{Ca}^{2+}$
3	$^{203}\text{Hg}^{2+}$	$^{67}\text{Cu}^{2+}$	$^{45}\text{Ca}^{2+}$	$^{84}\text{Rb}^{+}$
4	$^{45}\text{Ca}^{2+}$	$^{67}\text{Cu}^{2+}$	$^{84}\text{Rb}^{+}$	$^{203}\text{Hg}^{2+}$
5	$^{67}\text{Cu}^{2+}$	$^{84}\text{Rb}^{+}$	$^{203}\text{Hg}^{2+}$	$^{45}\text{Ca}^{2+}$

〔解答〕 3

〔解説〕 [ア]  $^{203}\text{Hg}^{2+}$ 、 [イ]  $^{67}\text{Cu}^{2+}$ 、 [ウ]  $^{45}\text{Ca}^{2+}$ 、 [エ]  $^{84}\text{Rb}^{+}$

イオン化傾向：Rb > Ca > Cu > Hg

イオン化傾向の小さい順に析出する。

問 17 次の文章の  ～  に入るイオンとして、最も適切な組合せは次のうちどれか。

それぞれ担体を含む  $^{58}\text{Co}^{2+}$ 、 $^{59}\text{Fe}^{3+}$ 、 $^{57}\text{Ni}^{2+}$ 、 $^{65}\text{Zn}^{2+}$  の濃塩酸溶液がある。この溶液を、強塩基性陰イオン交換樹脂を充填したカラムに流したところ、 が溶解した。次に、4 M 塩酸をカラムに流すと、 が溶解した。さらに、0.5 M 塩酸をカラムに流すと、 が溶解した。カラムには  が残った。ただし、1 M = 1 mol · L<sup>-1</sup> である。

	<input type="text" value="ア"/>	<input type="text" value="イ"/>	<input type="text" value="ウ"/>	<input type="text" value="エ"/>
1	$^{58}\text{Co}^{2+}$	$^{59}\text{Fe}^{3+}$	$^{57}\text{Ni}^{2+}$	$^{65}\text{Zn}^{2+}$
2	$^{65}\text{Zn}^{2+}$	$^{58}\text{Co}^{2+}$	$^{57}\text{Ni}^{2+}$	$^{59}\text{Fe}^{3+}$
3	$^{59}\text{Fe}^{3+}$	$^{58}\text{Co}^{2+}$	$^{65}\text{Zn}^{2+}$	$^{57}\text{Ni}^{2+}$
4	$^{57}\text{Ni}^{2+}$	$^{65}\text{Zn}^{2+}$	$^{59}\text{Fe}^{3+}$	$^{58}\text{Co}^{2+}$
5	$^{57}\text{Ni}^{2+}$	$^{58}\text{Co}^{2+}$	$^{59}\text{Fe}^{3+}$	$^{65}\text{Zn}^{2+}$

〔解答〕 5

〔解説〕 [ア]  $^{57}\text{Ni}^{2+}$ 、 [イ]  $^{58}\text{Co}^{2+}$ 、 [ウ]  $^{59}\text{Fe}^{3+}$ 、 [エ]  $^{65}\text{Zn}^{2+}$

$^{57}\text{Ni}^{2+}$  は強塩基性陰イオン交換樹脂にほとんど吸着しない。また  $^{58}\text{Co}^{2+}$ 、 $^{59}\text{Fe}^{3+}$ 、 $^{65}\text{Zn}^{2+}$  は、塩化物イオンが存在するとそれぞれ  $\text{FeCl}_4^-$ 、 $\text{CuCl}_4^{2-}$ 、 $\text{ZnCl}_4^{2-}$  などのクロロ錯体を形成し、強塩基性イオン交換樹脂に吸着するようになる。これらを塩酸溶液で溶出する時は、クロロ錯体の形成が強いものほど塩酸濃度の薄いものを用いる必要がある。 $\text{Co}^{2+}$  は 4M の HCl、 $\text{Fe}^{3+}$  は 0.5M の HCl、 $\text{Zn}^{2+}$  は 0.005M の HCl でそれぞれ溶出する。

問18 純度100%のトリチウムガス( ${}^3\text{H}_2$ )が、アンプルの中に  $2.0 \times 10^5 \text{Pa}$ (室温)で封入されている。このアンプルが温度一定のまま1半減期経過したとき、アンプル内部の圧力[Pa]として、最も近い値は次のうちどれか。ただし、トリチウムは $\beta$ 壊変し、アンプル中のトリチウムは常にトリチウムガスとして存在する。

- 1  $1.5 \times 10^5$     2  $2.0 \times 10^5$     3  $2.5 \times 10^5$     4  $3.0 \times 10^5$     5  $3.5 \times 10^5$

〔解答〕 4

〔解説〕  ${}^3\text{H}_2$ は $\beta$ 崩壊で2個の ${}^3\text{He}$ になり容積は倍になる。このため、圧力も倍になる。したがって1半減期経過後は容積が1.5倍で圧力も1.5倍となる。

問19 1.0 GBqの ${}^{11}\text{C}$ の質量[g]に最も近い値は、次のうちどれか。ただし ${}^{11}\text{C}$ の壊変定数は  $5.7 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ 、アボガドロ数は  $6.0 \times 10^{23}$ とする。

- 1  $3.2 \times 10^{-11}$     2  $1.1 \times 10^{-10}$     3  $3.8 \times 10^{-10}$     4  $1.2 \times 10^{-9}$     5  $8.6 \times 10^{-9}$

〔解答〕 1

〔解説〕 1Bqの質量(m)は以下の式で求められる。

$$m = 8.62 \times 10^{-21} M T \cdots \text{式 (1)}$$

また、壊変定数と半減期の関係は以下の通りである。

$$\lambda T = 0.693 \cdots \text{式 (2)}$$

ただし、 $M$ : 質量数、 $T$ : 半減期(h)、 $\lambda$ : 壊変定数

式(2)に壊変定数  $5.7 \times 10^{-4} \text{s}$ をあてはめると ${}^{11}\text{C}$ の半減期0.337hが求められる。

式(1)に半減期0.337h、質量数11をあてはめると、 ${}^{11}\text{C}$  1Bqの質量  $3.2 \times 10^{-20} \text{g}$ が求められる。したがって、1.0 GBqの ${}^{11}\text{C}$ の質量は  $3.2 \times 10^{-11} \text{g}$ となる。

問20 次の標識化合物の表記とその種類のうち、正しいものの組合せはどれか。

表記	種類
A [U- ${}^{14}\text{C}$ ]ロイシン	均一標識化合物
B [6- ${}^3\text{H}$ ]ウラシル	特定標識化合物
C [9,10- ${}^3\text{H}(\text{N})$ ]オレイン酸	全般標識化合物
D [G- ${}^3\text{H}$ ]トリプトファン	名目標識化合物

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

〔解答〕 1

〔解説〕

A: 正

B: 正

C: 誤 名目(N)標識化合物

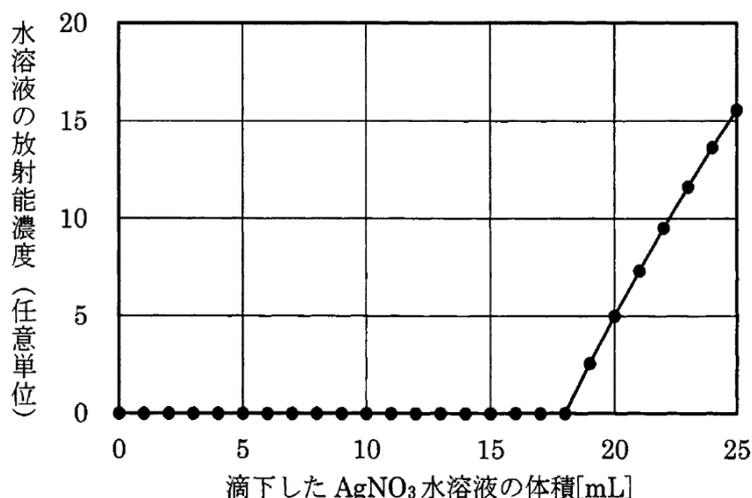
D: 誤 全般 (G) 標識化合物

標識化合物は、標識の状態によって以下のように分類される。

- 1) 均一 (U) 標識化合物: すべての位置にほぼ均一に標識されているもの
- 2) 特定 (S) 標識化合物: 特定の位置への標識率が 95% 以上のもの
- 3) 全般 (G) 標識化合物: さまざまな位置にランダムに標識されているが、標識の位置に片寄りがみられるもの
- 4) 名目 (N) 標識化合物: 特定位置への標識率が 95% 未満のもの

表記中の U や N は、標識化合物の分類を示す。また、標識位置が明らかな場合、特定 (S) 標識化合物は、その位置が数字で示される。したがって上記 A~D で正しいのは A と B のみ

問 21 未知量の塩化物イオンを含む試料水 20.0 mL に  $^{110m}\text{Ag}$  を含む濃度  $1.00 \times 10^{-2} \text{ M}$  の  $\text{AgNO}_3$  水溶液を滴下して、放射分析を行ったところ、 $\text{AgNO}_3$  水溶液の滴下量と水溶液の放射能濃度は以下のグラフのようになった。試料水にもともと含まれていた塩化物イオンの濃度 [M] に最も近い値は次のうちどれか。ただし、 $1 \text{ M} = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  である。



- 1  $3.00 \times 10^{-3}$     2  $9.00 \times 10^{-3}$     3  $1.11 \times 10^{-2}$     4  $3.00 \times 10^{-2}$     5  $1.11 \times 10^{-1}$

[解答] 2

[解説] 塩化物イオンは、 $\text{AgNO}_3$  と反応して  $\text{AgCl}$  として沈殿する。

$1.00 \times 10^{-2} \text{ M}$  の  $\text{AgNO}_3$  を 18 mL 滴下するまで  $\text{AgCl}$  は沈殿するため、含有される  $\text{Ag}$  及び  $\text{Cl}$  は以下のとおり。

$$1.00 \times 10^{-2} \times \frac{18}{1000} = 1.8 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

この mol 数の  $\text{Cl}$  が 20 mL 溶液内に入っているため、塩化物イオンの濃度は

$$1.8 \times 10^{-4} \times \frac{1000}{20} = 9.0 \times 10^{-3} \text{ M}$$

問22 液体シンチレーションカウン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 測定試料を直接シンチレータに溶かし込むことで幾何学的効率は100%になる。
- B  $^{210}\text{Po}$  の放射能測定に利用される。
- C 水溶液試料中の  $^3\text{H}$  や  $^{14}\text{C}$  はチェレンコフ光を利用して測定できる。
- D 複数の光電子増倍管を用いた同時計数法により S/N 比を向上させている。

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

〔解答〕 2

〔解説〕

- A：正 液体のシンチレータに試料が溶解しているため試料による自己吸収がなく、幾何学的効率はほぼ100%になる。
- B：正 飛程距離が短く吸収効果が大きい $\alpha$ 線の定量評価に、吸収がない状態で測定できる液体シンチレーション測定は効果的である。
- C：誤 水中でチェレンコフ光を発生するための電子のしきいエネルギーは、263keVである。粒子速度 $v$ を用いて $\beta=v/c$ 、エネルギーを $E$ としたときの関係式は以下のとおりである。なお、媒体が水である場合、 $\beta=0.7508$ となる。

$$\beta = \left[ 1 - \left( \frac{1}{(E/511) + 1} \right)^2 \right]^{1/2}$$

- D：正 各光電子増倍管の雑音は独立現象であるため、同時計数法により S/N 比は向上する。

問23 放射性核種を利用した分析法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 機器中性子放射化分析では、生成核種の $\gamma$ 線スペクトルを測定して、多元素同時分析を行う。
- B 放射分析では、放射性の試薬又は指示薬を用いる。
- C メスバウアー分光法では、 $\beta$ 線の散乱を利用して、目的成分の状態分析を行う。
- D 同位体希釈法では、目的成分の定量的分離が必要である。

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

〔解答〕 1

〔解説〕

- A：正 機器中性子放射化分析では、試料中の安定同位体に対する $(n, \gamma)$ 反応を利用して生成した核種の $\gamma$ 線スペクトルを測定する。

- B：正 放射分析は、非放射性である物質を、放射性試薬を用いて定量する方法である。
- C：誤 メスバウアー分光法は、低エネルギー $\gamma$ 線の無反跳共鳴吸収により得られたスペクトルから、対象原子核周辺の電子状態を明らかにする分析である。
- D：誤 同位体希釈法は、定量したい物質に同じ化学形の標識した試料を混合し、混合前後の比放射能の変化から対象物質を定量する手法である。

問 24 ある混合物試料の成分 A を、同位体希釈法(直接法)で定量した。試料に成分 A の標識化合物 20 mmol(比放射能 500 dpm・mmol<sup>-1</sup>)を加えて、十分に混合したのち、成分 A を分離した。分離した成分 A の放射能と物質量を測定したところ、それぞれ 4,000 dpm と 100 mmol であった。もともとの試料中の成分 A の物質量[mmol]として、最も近い値は次のうちどれか。なお、操作中の放射能の減衰はないものとする。

- 1 13    2 40    3 200    4 230    5 250

〔解答〕 4

〔解説〕 もともとの試料、添加物質、それらを混合した混合物の関係は、下表のとおりである。

	物質量	比放射能	全放射能
もともとの試料	$x$	0	0
添加物質	$M$	$S_0$	$S_0M$
混合物	$x+M$	$S$	$S(x+M)$

混合前後の全放射能は等しいので、 $S_0M = S(x+M)$ であり、

$$x = \left(\frac{S_0}{S} - 1\right)M$$

この式に  $S_0 = 500$  dpm/mmol、 $S = 4000/100 = 40$  dpm/mmol、 $M = 20$  mmol を代入して  
 $x = 230$  mmol

問 25 担体に関する次の記述のうち、正しいものはどれか。

- A シラード-チャルマー反応を利用すれば、(n,  $\gamma$ )反応によって無担体の放射性核種を製造できる。
- B 放射性核種の分離の際に加える担体は、対象とする核種の同位体に限られる。
- C 無担体の核種の比放射能は核種によって決まる。
- D 担体を加えてもラジオコロイドの生成は防げない。
- 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 (n,  $\gamma$ )反応の際のホットアトム効果により、生成核種の化学形をターゲットの化学形と異ならせるので、無担体の核種が製造できる。
- B: 誤 目的核種の同位体を担体として用いる同位体担体の他、同位体でないものを用いる非同位体担体もある。
- C: 正 質量  $m$  (g)、放射能  $A$  (Bq)の物質の比放射能  $A/m$  (Bq/g)は、以下のとおり対象原子の原子量  $a$ 、アボガドロ数  $N_A$ 、壊変定数  $\lambda$  (s<sup>-1</sup>)で表され、核種について固有のものである。
- $$\frac{A}{m} = \frac{\lambda N}{aN/N_A} = \frac{\lambda N_A}{a}$$
- D: 誤 錯イオンを添加し錯体を形成することで、ラジオコロイドの生成を抑制することができる。

問 26 核種とその用途の関係として、正しいものの組合せは次のうちどれか。

	核種	用途
A	<sup>11</sup> C	考古遺物の年代測定
B	<sup>18</sup> F	陽電子放射断層撮影 (PET)
C	<sup>57</sup> Co	ジャガイモの発芽防止
D	<sup>111</sup> In	蛍光 X 線分析装置
E	<sup>55</sup> Mn	アクチバブルトレーサー

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

〔解答〕 4

〔解説〕

- A: 誤 考古遺物年代測定によく用いられる核種は <sup>14</sup>C である。
- B: 正
- C: 誤 ジャガイモの発芽防止を目的として <sup>60</sup>Co の  $\gamma$  線が照射される。
- D: 誤 蛍光 X 線発生用放射線源として、<sup>55</sup>Fe、<sup>109</sup>Cd、<sup>241</sup>Am、<sup>57</sup>Co がある。
- E: 正

問 27 放射線の空気への照射に伴って発生する現象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  $\alpha$  線によりイオン化されるのは主にアルゴンである。
- B  $\beta^+$ 線の飛程の終端付近ではポジトロニウムが生成する。
- C  $\gamma$  線では窒素はイオン化しない。
- D 熱中性子照射では <sup>41</sup>Ar が生成する。
- E 陽子(10 MeV)照射では  $\beta^-$ 線放出核種が主に生成する。

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

〔解答〕 3

〔解説〕

A：誤 イオン化エネルギーは元素によらずほぼ一定である。

B：正

C：誤 光電効果やコンプトン効果で $N_2$ ガスはイオン化する。

D：正

E：誤 陽子線との反応で、陽電子放出核種が生成する。照射により陽子が増えるので、減る方向に進む。

問 28 イメージングプレート(IP)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 放射線強度に対するIPの発光強度のダイナミックレンジは4桁から5桁におよぶ。

B 光輝尽性蛍光体( $BaFBr:Eu^{2+}$ や $BaFI:Eu^{2+}$ など)が用いられている。

C  $\alpha$ 線は検出できない。

D 露光から読み取り操作までの時間が長いと、フェーディングの影響を受けやすい。

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 もっとも弱い放射線から飽和が起こる最強の放射線まで、少なくとも5桁に渡る線量まで使用可能である。

B：正 もっともよく用いられる蛍光体は $BaFBr:Eu^{2+}$ であり、比較的大きな実効的原子番号は、入射放射線に対して検出効率を上げるのに役立っている。

C：誤 主にX線画像用に用いられているが、 $\alpha$ 線、電子線、中性子線の画像化にも応用できる。

D：正 蓄積された電荷は、時間経過に伴い熱による作用の結果、自発的に失われる。

問 29 放射線の効果・測定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 W値は、気体の種類にはよらず、放射線のエネルギーに依存する。

B 水中の4 MeVの $\alpha$ 粒子のLETは、8 MeVの $\alpha$ 粒子のLETに比べて大きい。

C フリッケ線量計は、放射線照射による $Fe^{3+}$ の還元を利用した化学線量計である。

D G値は、物質が吸収した放射線のエネルギー100 eVあたりに、その物質で変化を受ける原子や分子種の個数で示される。

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 W 値は、放射線のエネルギーにはあまり依存せず、気体の種類によって変化する。  
B: 正 同一種の放射線において、LET はエネルギーに反比例する。  
C: 誤 放射線照射により第一鉄イオン ( $\text{Fe}^{2+}$ ) が第二鉄イオン ( $\text{Fe}^{3+}$ ) に酸化された水溶液を分光光度計で測定し、吸収スペクトルの強度から生成した  $\text{Fe}^{3+}$  の個数を求め、吸収線量を算出することが、フリッケ線量計の原理である。  
D: 正

問 30 放射線照射により 1 MeV のエネルギーを吸収した物質中で、 $1 \times 10^6$  個の着目する化学種が変化した。このときの放射線化学収量を SI 単位 ( $\text{mol} \cdot \text{J}^{-1}$ ) で表した値として、最も近い値は次のうちどれか。ただし、 $1\text{J}=6.2 \times 10^{18} \text{ eV}$  とする。

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

〔解答〕 3

〔解説〕 放射線化学収量は、放射線で誘起された反応により変化した物質の量 (mol) をその時に付与されたエネルギー量 (J) で割った値である。放射線化学では、G 値 (100eV 当たりに変化する着目分子数) が専ら用いられる。

アボガドロ数  $6.0 \times 10^{23}$  を用いて mol に換算し、eV を J に換算する。

$$(1 \times 10^6 / 6.0 \times 10^{23}) / (1 \times 10^6 / 6.2 \times 10^{18}) = 1 \times 10^{-5}$$

問 31 次の文章の  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。

あらゆる化合物は元素から作られる。現在、118 種類の元素が発見されており、そのうち、金や鉄など 9 種類は古代から知られていた。新元素発見の歴史は中世まで遡り、メンデレーエフが周期表を発明したころには約 60 種類の元素が発見されていた。19 世紀後半から 20 世紀前半にかけて、X 線、放射能、原子核、同位体が発見された。元素は、安定同位体をもつ元素(安定元素)と安定同位体を持たない元素(放射性元素)に分類される。最も原子番号の大きい安定元素は  で、これよりも原子番号の大きい元素はすべて放射性元素である。1925 年には、安定元素として最後のレニウムが見つかった。これで 1 番元素の水素から 92 番元素の  までのほとんどの元素が発見されたが、放射性元素である 、プロメチウム、アスタチン、フランシウムは未発見で、これらは  と呼ばれてきた。 とプロメチウム、及び原子番号が  よりも大きな元素は、一般には核反応により製造される人工放射性元素である。しかし、このうちのいくつかの元素はごくわずかであるが天然起源のものも存在することが現在では確認されている。例えば、94 番元素プルトニウムは、鉱物中で  の  反応を通して生成することが知られている。

1930 年代初期に加速器が開発され、その後、原子核反応により、人工的に放射性核種が合成されるようになった。 元素の 1 つである 85 番元素アスタチンは、サイクロトロンからの

32 MeV の  $\alpha$  粒子を照射したビスマスから初めて発見された。すなわち、 $^{209}\text{Bi}(\alpha, 2n)$  反応により生成した [ア] をビスマス標的から化学的に分離後、これから軟 X 線と、飛程の異なる 2 種類の  $\alpha$  線とが観測され、これらの計数率はともに半減期 7.5 時間<sup>注)</sup> で減少することが確認された。さらに、飛程の長い  $\alpha$  線は [ア] の娘核種が放出すること、X 線は 84 番元素ポロニウムの K-X 線であること、ならびに陽電子は放出されていないことが分かった。これらより、[ア] は [G] をすることが分かった。32 MeV における  $^{209}\text{Bi}(\alpha, 2n)$  反応の核反応断面積を 800 mb とし、32 MeV の  $\alpha$  粒子を毎秒  $2.0 \times 10^{10}$  個ですべて  $418 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$  のビスマス標的に [ア] の半減期と等しい時間照射すると、照射終了時には [イ] Bq の [ア] が生成する。ただし、標的中の  $\alpha$  粒子のエネルギー損失はないものとする。

[H] 元素の 1 つであるフランシウムは  $^{227}\text{Ac}$  (半減期 22 年) の  $\alpha$  壊変の娘核種  $^{223}\text{Fr}$  (半減期 22 分) として初めて発見された。 $^{227}\text{Ac}$  は、[I] に属する [J] 天然放射性核種で、天然に存在する元素として最後に発見されたのがフランシウムであった。 $^{227}\text{Ac}$  は分岐壊変する核種の 1 つで、主として  $\beta^-$  壊変 (分岐比 99%) して  $^{227}\text{Th}$  (半減期 19 日) となる。放射平衡にある  $^{227}\text{Ac}$  の放射能は、 $^{227}\text{Th}$  の放射能と  $^{223}\text{Fr}$  の放射能の和と等しい。このとき、 $^{227}\text{Th}$  の原子数は  $^{223}\text{Fr}$  の原子数の [ウ] 倍となる。

注) 現在、半減期は 7.2 時間とされている。

<A~C の解答群>

- |          |           |         |        |
|----------|-----------|---------|--------|
| 1 モリブデン  | 2 テクネチウム  | 3 アンチモン | 4 セシウム |
| 5 金      | 6 鉛       | 7 ラジウム  | 8 ウラン  |
| 9 プルトニウム | 10 アメリシウム |         |        |

<D の解答群>

- |            |        |        |        |
|------------|--------|--------|--------|
| 1 欠員(欠損)元素 | 2 同位元素 | 3 必須元素 | 4 同族元素 |
|------------|--------|--------|--------|

<E の解答群>

- |                   |                   |          |                  |          |
|-------------------|-------------------|----------|------------------|----------|
| 1 ( $\alpha, n$ ) | 2 ( $\gamma, n$ ) | 3 (d, p) | 4 (n, $\gamma$ ) | 5 (p, n) |
|-------------------|-------------------|----------|------------------|----------|

<F の解答群>

- |            |            |          |
|------------|------------|----------|
| 1 アルカリ金属   | 2 アルカリ土類金属 | 3 ハロゲン   |
| 4 貴ガス(希ガス) | 5 希土類      | 6 アクチノイド |

<アの解答群>

- |                      |                      |                      |                     |                      |
|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| 1 $^{200}\text{At}$  | 2 $^{201}\text{At}$  | 3 $^{203}\text{At}$  | 4 $^{205}\text{At}$ | 5 $^{207}\text{At}$  |
| 6 $^{208}\text{At}$  | 7 $^{209}\text{At}$  | 8 $^{210}\text{At}$  | 9 $^{211}\text{At}$ | 10 $^{212}\text{At}$ |
| 11 $^{213}\text{At}$ | 12 $^{214}\text{At}$ | 13 $^{215}\text{At}$ |                     |                      |

<G の解答群>

- |                             |                              |                             |
|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1 $\beta^-$ 壊変と $\gamma$ 壊変 | 2 $\beta^-$ 壊変と $\beta^+$ 壊変 | 3 $\alpha$ 壊変と EC 壊変        |
| 4 $\beta^-$ 壊変と EC 壊変       | 5 $\alpha$ 壊変と $\gamma$ 壊変   | 6 $\alpha$ 壊変と $\beta^+$ 壊変 |

<イの解答群>

- |          |          |          |         |         |
|----------|----------|----------|---------|---------|
| 1 480    | 2 960    | 3 1,920  | 4 4,800 | 5 9,600 |
| 6 19,200 | 7 48,000 | 8 96,000 |         |         |

<Hの解答群>

- |            |            |          |
|------------|------------|----------|
| 1 アルカリ金属   | 2 アルカリ土類金属 | 3 ハロゲン   |
| 4 貴ガス(希ガス) | 5 希土類      | 6 アクチノイド |

<I、Jの解答群>

- |            |         |            |
|------------|---------|------------|
| 1 アクチニウム系列 | 2 ウラン系列 | 3 ネプツニウム系列 |
| 4 トリウム系列   | 5 一次    | 6 二次       |
| 7 誘導       |         |            |

<ウの解答群>

- |                        |                        |                        |                   |                   |
|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|
| 1 $8.3 \times 10^{-6}$ | 2 $8.3 \times 10^{-2}$ | 3 $1.0 \times 10^{-2}$ | 4 $1.2 \times 10$ | 5 $9.9 \times 10$ |
| 6 $1.2 \times 10^3$    | 7 $1.2 \times 10^5$    | 8 $1.2 \times 10^8$    |                   |                   |

[解答] A-6 B-8 C-2 D-1 E-4 F-3 ア-9 G-3 イ-5 H-1  
I-1 J-6 ウ-7

[解説]

A: 原子番号が83以降のBiより大きな元素はすべて放射性であり、最も大きな安定元素はPb(鉛)である。

B: 原子番号92番はU(ウラン)である。

C: Tc(テクネチウム)、Pm(プロメチウム)、At(アスタチン)、Fr(フランシウム)は天然には存在せず、実在するものはすべて人工的に作られた元素である。

D: 天然には存在しないTc(テクネチウム)、Pm(プロメチウム)、At(アスタチン)、Fr(フランシウム)を欠員元素と呼ぶ。

E:  ${}^{238}_{92}\text{U}$  に(n,  $\gamma$ )反応が起こると  ${}^{239}_{92}\text{U}$  が生成され、 ${}^{239}_{92}\text{U}$  が $\beta$ -壊変することにより  ${}^{239}_{93}\text{Np}$  となる。さらに  ${}^{239}_{93}\text{Np}$  が $\beta$ -壊変することで  ${}^{239}_{94}\text{Pu}$  が生成される。

F: At(アスタチン)は $\alpha$ 線核種で、ヨウ素と同じハロゲン族であるため、抗体への標識が容易であることから放射線内用療法で注目されている核種である。

G:  ${}^{211}_{85}\text{At}$  は $\alpha$ 壊変とEC(電子捕獲)壊変をする。

H: Fr(原子番号87)であり、希ガスであるRn(原子番号86)であるため、アルカリ金属になる。またアクチノイド系列の一番始めがAc(アクチニウム)で $\alpha$ 壊変することでFrである。

I:  ${}^{227}_{89}\text{Ac}$  はアクチニウム系列に属する。

J: 天然の放射性核種として残り、現在まで存在するものを一次放射性核種と呼ぶ。一次放射性核種が壊変することにより存在するものを二次放射性核種と呼ぶ。

ア:  ${}^{209}_{83}\text{Bi}$  が( $\alpha$ , 2n)反応すると、原子番号は2増え、質量数も2増えることから、 ${}^{211}_{85}\text{At}$  となる。

イ: 飽和係数  $(1 - e^{-\lambda t})$  は  ${}^{211}_{85}\text{At}$  の半減期と等しい時間照射しているため、 $(1/2)$  となる。

このため、生成核の放射能Aは単位時間当たりの照射粒子数  $2 \times 10^{10}$  (n/s)  $\times$  核反

応断面積  $0.8 \times 10^{-24}$  (b)  $\times$  (ビスマスの単位面積あたりの質量/ビスマスの質量数)  
 $\times (418/209) \times$  アボガドロ定数  $6 \times 10^{23} \times$  飽和係数 (1/2)  
 $= 9600$  (Bq) となる。

ウ：放射平衡が成り立ち、かつ  $^{227}\text{Ac}$  の放射能が  $^{227}\text{Th}$  の放射能と  $^{223}\text{Fr}$  の放射能の和が等しいため、 $^{227}\text{Ac}$  の壊変定数  $\lambda_1$ 、原子数を  $N_1$ 、半減期を  $T_1$  とし、 $^{227}\text{Th}$  の壊変定数  $\lambda_2$ 、原子数を  $N_2$ 、半減期を  $T_2$ 、 $^{223}\text{Fr}$  の壊変定数  $\lambda_3$ 、原子数を  $N_3$ 、半減期を  $T_3$  とすると、

$$\lambda_2 N_2 = 0.99 \lambda_1 N_1 \dots \textcircled{1}$$

$$\lambda_3 N_3 = 0.01 \lambda_1 N_1 \dots \textcircled{2}$$

で示すことができるため、①式を②式で割ると、

$$\therefore N_2/N_3 = 99 \times (\lambda_3/\lambda_2)$$

$$= 99 \times (T_2/T_3)$$

$$= 123120$$

となり、おおよそ  $1.2 \times 10^5$  倍である。

問 32 非密封放射性同位元素の化学分離に関する次の文章の□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。

15族元素のリンは、あらゆる生物の必須元素であり、農業における肥料の主要元素の1つである。リンの主な放射性同位体には、 $^{30}\text{P}$ 、 $^{32}\text{P}$ 、 $^{33}\text{P}$  があげられる。 $^{30}\text{P}$ (半減期 2.50 分、 $\beta^+$ および EC 壊変)は、1934 年に□アに  $\alpha$  線を照射して合成された人類最初の人工放射性核種である。 $^{32}\text{P}$ (半減期□イ日、 $\beta^-$ 壊変)は、最大エネルギー□ア MeV の  $\beta$  線のみを放出する核種で、ヌクレオチド標識化合物や放射性医薬品など生命科学分野では広く利用されている。 $^{33}\text{P}$ (半減期 25.3 日、 $\beta^-$ 壊変)は、DNA シークエンス決定に使われてきた。 $\beta$  線のエネルギーが低いので□ウにより、生体試料における  $^{33}\text{P}$  の 2 次元分布を高い解像度で観測できる。

$^{32}\text{P}$  は、硫黄や塩素を中性子照射することで得られる。ここでは、塩素を標的とする場合を考える。塩素には、同位体存在度 75.8% の  $^{35}\text{Cl}$  と 24.2% の  $^{37}\text{Cl}$  がある。塩化アンモニウム  $\text{NH}_4\text{Cl}$  を標的として中性子で照射すると、 $^{35}\text{Cl}$  からは□B 反応により  $^{32}\text{P}$  が生成するが、同時に□C 反応により  $^{35}\text{S}$ (半減期 87.4 日、□エ壊変)も生成する。

$^{32}\text{P}$  と  $^{35}\text{S}$  を分離してそれぞれの無担体溶液を得るためには、共沈法と溶媒抽出法を行う。中性子照射した  $\text{NH}_4\text{Cl}$  を希塩酸に溶かした後、コロイド状の沈殿を作るための□オを加える。溶液を温めた後にアンモニア水を加えると赤褐色の沈殿が生じ、 $^{32}\text{P}$  は酸化数+5 のリン酸イオン(化学形□カ)の形で沈殿に吸着される。 $^{35}\text{S}$  は硫酸イオン(化学形□キ)として大部分が上澄み液に残るので、遠心分離で沈殿と上澄み液を分けると、 $^{35}\text{S}$  の無担体溶液が得られる。 $^{32}\text{P}$  は、沈殿を塩酸で溶かした後、 $8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  溶液として分液漏斗に移す。□クを加えて溶媒抽出すると、 $^{32}\text{P}$  は無担体として水相に残る。 $^{32}\text{P}$  の 1 g の放射能(比放射能)は□D  $\text{MBq} \cdot \text{g}^{-1}$  で、 $^{35}\text{S}$  の比放射能のおおよそ□E 倍である。

<アの解答群>

(令和3年度) 第1種化学

1 Mg 2 Al 3 Si 4 P 5 S

<イの解答群>

1 3.2 2 14.3 3 27.7 4 44.5 5 59.4

<Aの解答群>

1 0.55 2 1.17 3 1.39 4 1.71 5 2.28

<ウの解答群>

1 PIXE法 2 ラジオイムノアッセイ  
3 オートラジオグラフィ 4 シングルフォトン断層撮影 (SPECT)  
5 蛍光X線分析

<B、Cの解答群>

1 (n,  $\alpha$ ) 2 (n,2n) 3 (n,3n) 4 (n,  $^3\text{H}$ ) 5 (n,  $\gamma$ )  
6 (n,  $\alpha$ n) 7 (n,d) 8 (n,pn) 9 (n,p) 10 (n,2p)

<エの解答群>

1 EC 2 IT 3  $\alpha$  4  $\beta^-$  5  $\beta^+$

<オの解答群>

1  $\text{Mg}^{2+}$  2  $\text{Ca}^{2+}$  3  $\text{Fe}^{3+}$  4  $\text{Ag}^+$  5  $\text{Ba}^{2+}$

<カ、キの解答群>

1  $\text{P}^{5-}$  2  $\text{PO}_3^-$  3  $\text{P}_2\text{O}_3^-$  4  $\text{PO}_4^{2-}$  5  $\text{PO}_4^{3-}$   
6  $\text{S}^{2-}$  7  $\text{SO}_3^-$  8  $\text{S}_2\text{O}_3^-$  9  $\text{SO}_4^{2-}$  10  $\text{SO}_4^{3-}$

<クの解答群>

1 プロパノール 2 イソプロピルエーテル 3 アセトン  
4 クロロホルム 5 EDTA

<Dの解答群>

1  $1.2 \times 10^8$  2  $1.1 \times 10^{10}$  3  $1.2 \times 10^{12}$  4 3.5 5 6.7

<Eの解答群>

1 0.16 2 0.48 3 1.1 4 3.5 5 6.7

[解答] アー2 イー2 Aー4 ウー3 Bー1 Cー9 エー4 オー3 カー5 キー9  
クー2 Dー2 Eー5

[解説]

ア、B、C： $\alpha$ 線の照射や反応前後の陽子数、中性子数の増減から判断する。

イ、A、ウ、エ：代表的な放射性核種については、半減期等の特性は覚えておく。

$^{30}\text{P}$  (半減期 2.50分,  $\beta^+$ , 99.8%, 3.210MeV 及び EC0.14%)

$^{32}\text{P}$  (半減期 14.263日,  $\beta^-$ , 100%, 1.711MeV)

$^{33}\text{P}$  (半減期 25.34日,  $\beta^-$ , 100%, 0.249MeV)

$^{35}\text{S}$  (半減期 87.51日,  $\beta^-$ , 100%, 0.167MeV)

オ、カ、キ、ク：共沈法 大量の溶液から目的とする放射性同位体のイオンを分離あるいは濃

縮するために利用される方法で、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 $\text{CuS}$ 、 $\text{BaCO}_3$ などが利用される。 $\text{PO}_4^{3-}$ と $\text{SO}_4^{2-}$ が共存する溶液に、 $\text{Fe}^{3+}$ を加えてアンモニア水を滴下し $\text{Fe}(\text{OH})_2$ を沈殿させると、 $\text{PO}_4^{3-}$ はほぼ完全に共沈するが $\text{SO}_4^{2-}$ は共沈しない。

溶媒抽出 放射性同位体を含む水溶液を水に不溶な有機溶媒（ベンゼン、トルエン、四塩化炭素、イソプロピルエーテルなど）と振り混ぜたのち水相と有機相に分離する。両相への溶解度の違いを利用した分離方法である。

D, E: 1 Bq の放射性核種の質量と比放射能の関係は次式である。

$$m = MT / (\ln(2) \cdot N_A) = 8.62 \times 10^{-21} MT$$

$$S = 1/m = 1.16 \times 10^{20} / MT$$

$m$ : 1Bq の質量[g]      $T$ : 半減期[h]      $M$ : 原子質量 (質量数  $A$ )

$S$ : 無担体の放射性核種の比放射能[Bq/g]      $N_A$ : アボガドロ数

$$^{32}\text{P} \text{ 1 g の比放射能} = 1.16 \times 10^{20} / (32 \times 14.3 \times 24) = 1.056 \times 10^{16} [\text{Bq/g}] = 1.056 \times 10^{10} [\text{MBq/g}]$$

$$^{35}\text{S} \text{ の比放射能との比} = (35 \times 87.4 \times 24) / (32 \times 14.3 \times 24) = 6.68$$