

令和5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。

(令和5年度) 第1種化学

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 人体中には炭素が重量で18%含まれている。現代の炭素中の放射性炭素 ^{14}C の原子数比($^{14}\text{C}/\text{C}$)を 1.2×10^{-12} とすると、体重50 kgの人の ^{14}C の放射能[Bq]として最も近い値は、次のうちどれか。ただし、 ^{14}C の半減期は 1.8×10^{11} 秒とする。

- 1 2.1×10^2 2 5.4×10^2 3 2.1×10^3 4 5.4×10^3 5 2.1×10^4

〔解答〕 3

〔解説〕 体重50 kgの人に含まれる炭素重量は、9,000 gである。 $^{14}\text{C}/\text{C}$ 比が 1.2×10^{-12} であることから、 ^{14}C が含まれる重量は、 1.08×10^{-8} gである。

ここで、1 Bqの放射性核種の質量 m は、

$$m = 8.62 \times 10^{-21} MT \quad (M: \text{原子質量 (質量数 } A \text{ で代用できる)、} T: \text{半減期 [h]})$$

で表されるので、 $m = 6.03 \times 10^{-12}$ g

よって、体内に含まれる ^{14}C の放射能は約 1.8×10^3 Bq

問2 核種A(半減期2時間)と核種B(半減期4時間)の2つの放射性核種の混合物がある。これらの核種はそれぞれ安定核種に壊変する。混合物の全放射能が600 kBqであったとき($t=0$)から4時間後($t=4$ 時間)の全放射能は250 kBqであった。 $t=0$ での核種Aの放射能[kBq]として正しい値は、次のうちどれか。

- 1 50 2 100 3 150 4 200 5 250

〔解答〕 4

〔解説〕 核種Aの放射能を a kBq、核種Bの放射能を b kBq とすると

$$a + b = 600$$

$$a/4 + b/2 = 250$$

の連立方程式が得られ、 $a = 200$ kBq

問3 700 TBqの ^{137}Cs の物質[mol]に最も近い値は、次のうちどれか。ただし、 ^{137}Cs の半減期は30年とする。

- 1 0.002 2 0.2 3 2 4 20 5 40

〔解答〕 3

〔解説〕 1Bqの質量 m (g) は以下の式で示される。

$$m = 8.62 \times 10^{-21} MT \quad \dots\dots \textcircled{1}$$

ここで、 M =原子質量(質量数)、 T =半減期(h)である。

700TBq の ^{137}Cs の質量 (m) は式①より、 $8.62 \times 10^{-21} \times M \times T \times 700 \times 10^{12}$
物質質量[mol]は、 m/M となるため、

$$\frac{m}{M} = \frac{8.62 \times 10^{-21} \times 137 \times 30 \times 365 \times 24 \times 700 \times 10^{12}}{137} \approx 1.6$$

問4 塩素 (Cl) 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 塩素には2つの安定同位体がある。
- B ^{36}Cl が壊変して生じた中性原子の基底状態の最外殻電子は M 殻にある。
- C Cl 原子の最外殻電子は L 殻にある。
- D ^{38}Cl の半減期は ^{36}Cl の半減期より長い。

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

〔解答〕 2

〔解説〕

- A：正 塩素には、同位体存在度 75.8%の ^{35}Cl と 24.2%の ^{37}Cl がある。
- B：正 ^{36}Cl が β^- 壊変して生じる ^{36}Ar の基底状態の電子配置は、 $(1s)^2(2s)^2(2p)^6(3s)^2(3p)^6$ 、 β^+ 壊変、EC壊変して生じる ^{36}S の基底状態の電子配置は $(1s)^2(2s)^2(2p)^6(3s)^2(3p)^4$ であり、ともに最外殻は M 殻である。
- C：誤 第3周期に属する塩素の最外殻電子は、M 殻にある。
- D：誤 ^{36}Cl の半減期は 3.01×10^5 年に対し、 ^{37}Cl の半減期は 37.24 分である。

問5 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^{45}Ca について 1 モル当たりの放射能 [$\text{Bq} \cdot \text{mol}^{-1}$] が大きい順に並んでいるものは、次のうちどれか。

- 1 $^3\text{H} > ^{14}\text{C} > ^{45}\text{Ca} > ^{32}\text{P}$
- 2 $^{32}\text{P} > ^{45}\text{Ca} > ^{14}\text{C} > ^3\text{H}$
- 3 $^{32}\text{P} > ^3\text{H} > ^{45}\text{Ca} > ^{14}\text{C}$
- 4 $^{32}\text{P} > ^{45}\text{Ca} > ^3\text{H} > ^{14}\text{C}$
- 5 $^{45}\text{Ca} > ^{32}\text{P} > ^3\text{H} > ^{14}\text{C}$

〔解答〕 4

〔解説〕 1 Bq の放射性核種の質量 m は、 $m = 8.62 \times 10^{-21} MT$ (M : 原子質量 (質量数 A で代用できる)、 T : 半減期 [h]) で表されるので、1 Bq の放射性核種の物質質量は、 $m = 8.62 \times 10^{-21} T$ 、即ち半減期に依存する。

問6 比放射能 $70 \text{ kBq} \cdot \text{mg}^{-1}$ の ^{14}C エタノール ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) を酸化して得られる ^{14}C 酢酸 (CH_3COOH) の比放射能 [$\text{kBq} \cdot \text{mg}^{-1}$] の値に最も近いものは、次のうちどれか。ただし、原

子量は H=1、C=12、O=16 とする。

1 13 2 30 3 36 4 54 5 91

〔解答〕 4

〔解説〕 ^{14}C エタノールの分子量が 46 であるのに対して、 ^{14}C 酢酸の分子量が 60 であるため、 ^{14}C 酢酸の比放射能は、 $70 \times (46/60) \approx 53.7$

問7 次の2核種間に永続平衡が成立し得るものとして、正しいものの組合せはどれか。

A ^{68}Ge ^{68}Ga

B ^{90}Sr ^{90}Y

C ^{137}I ^{137}Cs

D ^{226}Ra ^{222}Rn

E ^{241}Am ^{237}Np

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

〔解答〕 2

〔解説〕 時間 t が経過したときの子孫核種の原子数 N_2 は次の式で与えられる。

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

親核種の半減期 T_1 が、子孫核種の半減期 T_2 より極めて長い場合、 $(\lambda_2 - \lambda_1) = \lambda_2$ 、即ち $(T_1 - T_2) = T_1$ と見なせるので、親核種の放射能を A_1 、子孫核種の放射能を A_2 とすると

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{T_2}{T_1} \quad \rightarrow \quad N_1 \lambda_1 = N_2 \lambda_2 \quad \rightarrow \quad A_1 = A_2$$

の永続平衡が成立する。

A : 正 ^{68}Ge : 270.95 d ^{68}Ga : 67.71 m 永続平衡

B : 正 ^{90}Sr : 28.79 y ^{90}Y : 64.00 h 永続平衡

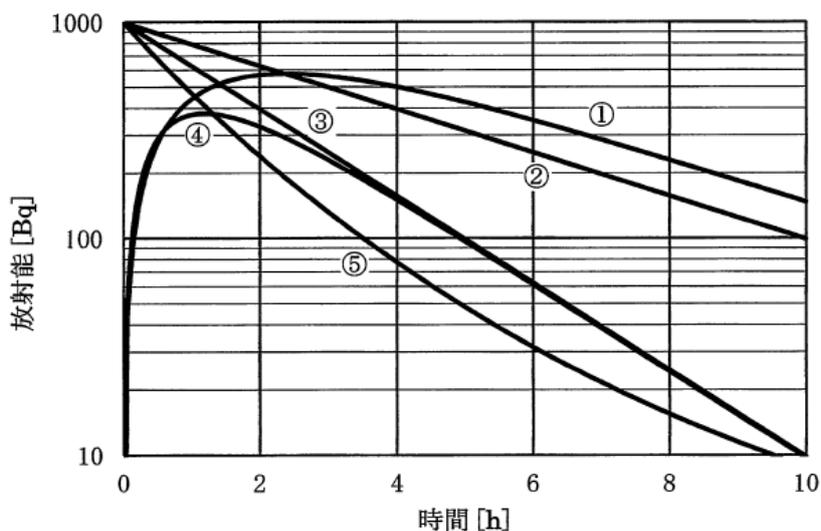
C : 誤 ^{137}I : 24.13 s ^{137}Cs : 30.1671 y

D : 正 ^{226}Ra : 1600 y ^{222}Rn : 3.8235 d 永続平衡

E : 誤 ^{241}Am : 432.2 y ^{237}Np : 2.144×10^6 y

問8 半減期 3 h の核種 A から半減期 1 h の核種 B が生成する。はじめに核種 A のみが 1,000 Bq

存在していたとき、AとBの放射能の時間変化を表すグラフは以下のどれか。



- | | A | B |
|---|---|---|
| 1 | ② | ① |
| 2 | ③ | ④ |
| 3 | ⑤ | ④ |
| 4 | ③ | ① |
| 5 | ② | ④ |

〔解答〕 1

〔解説〕 核種 A、B について、半減期を T_1, T_2 、壊変定数を λ_1, λ_2 、原子数を N_1, N_2 、放射能を A_1, A_2 とする。

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$

この微分方程式を解くと

$$N_1 = N_{1,0} e^{-\lambda_1 t}$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{1,0} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_{2,0} e^{-\lambda_2 t}$$

ただし、 $N_{1,0}$ 及び $N_{2,0}$ は、それぞれ $t=0$ における核種 A 及び核種 B の原子数である。

ここで、 $t=0$ のとき、 $N_2 = N_{2,0} = 0$ なので

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{1,0} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

となる。このとき核種 A 及び B の放射能は、 $t=0$ のときの放射能をそれぞれ $A_{1,0}, A_{2,0}$ としたとき

$$A_1 = \lambda_1 N_1 = \lambda_1 N_{1,0} e^{-\lambda_1 t} = A_{1,0} e^{-\lambda_1 t}$$

$$A_2 = \lambda_2 N_2 = \lambda_2 \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{1,0} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} A_{1,0} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

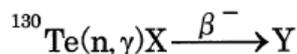
となる。

過渡平衡の条件 ($T_1 > T_2$) で時間が十分に経過すると、 $e^{-\lambda_2 t}$ は $e^{-\lambda_1 t}$ に対して無視できるほど小さくなるので、放射能比 A_2/A_1 は、

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{1}{A_{1,0} e^{-\lambda_1 t}} \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} A_{1,0} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

の関係になり、十分に時間が経過した後は、半減期の長い親核種 A と半減期の短い娘核種 B の比は、はじめの比とは無関係に一定になる。

問9 下の核反応によって生成する核種 X の壊変でつくられる核種 Y は、次のうちどれか。



- 1 ${}^{130}\text{Sb}$ 2 ${}^{130}\text{I}$ 3 ${}^{131}\text{Te}$ 4 ${}^{131}\text{I}$ 5 ${}^{131}\text{Xe}$

〔解答〕 4

〔解説〕 (n, γ) 反応により、反応後は質量数が 1 増加し、 β^- 壊変により、反応後は原子番号が 1 増加するため、 ${}^{130}\text{Te}(n, \gamma) {}^{131}\text{Te} \rightarrow {}^{131}\text{I}$

問10 次の核反応のうち、 ${}^{18}\text{F}$ を直接生成する正しいものの組合せはどれか。

- A ${}^{14}\text{N}(\alpha, n)$
 B ${}^{16}\text{O}({}^3\text{He}, p)$
 C ${}^{16}\text{O}(d, n)$
 D ${}^{18}\text{O}(p, n)$
 E ${}^{20}\text{Ne}(d, \alpha)$

- 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 (α, n) 反応により、反応後は原子番号が 2 増加し、質量数が 3 増加するため、
 ${}^{14}\text{N}(\alpha, n) {}^{17}\text{F}$

B : 正 (${}^3\text{He}, p$) 反応により、反応後は原子番号が 1 増加し、質量数が 2 増加するため、
 ${}^{16}\text{O}({}^3\text{He}, p) {}^{18}\text{F}$

C : 誤 (d, n) 反応により、反応後は原子番号が 1 増加し、質量数が 1 増加するため、
 ${}^{16}\text{O}(d, n) {}^{17}\text{F}$

(令和5年度) 第1種化学

D: 正 (p, n)反応により、反応後は原子番号が1増加し、質量数は増減しないため、
 $^{18}\text{O} (p, n) ^{18}\text{F}$

E: 正 (d, α)反応により、反応後は原子番号が1減少し、質量数が2減少するため、
 $^{20}\text{Ne} (d, \alpha) ^{18}\text{F}$

問11 核分裂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 ^{238}U は高速中性子で核分裂する。

B 外部からエネルギーを与えられて起こる核分裂を誘導核分裂とよぶ。

C 熱中性子による ^{235}U の核分裂において、核分裂生成物の質量収率曲線では、ピークは1つである。

D 熱中性子による ^{235}U の核分裂では1分裂あたり平均4個の中性子が放出される。

1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕 1

〔解説〕

A: 正

B: 正

C: 誤 ^{235}U 核分裂による核分裂生成物は質量95と138付近に核分裂収率の極大があり、極小が質量数118付近になるように分布する。

D: 誤 核分裂の際に放出される中性子は1分裂あたり2,3個である。

問12 ランタノイド元素とアクチノイド元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 ランタノイド元素には、安定核種のない元素がある。

B ランタノイド元素には、単核種元素がない。

C すべてのアクチノイド元素は、放射性である。

D すべてのアクチノイド元素は、3価の状態が最も安定である。

1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕 2

〔解説〕

A: 正 ランタノイド元素のうち、プロメチウム (Pm) は放射性同位体のみである。

B: 誤 ランタノイド元素には、 ^{141}Pr ・ ^{159}Tb ・ ^{165}Ho ・ ^{169}Tm などの単核種元素がある。

C: 正

D: 誤 アクチノイド元素は3価のほか4価6価をとる元素が多く、最も安定な状態は元素ごとに異なる。

(令和5年度) 第1種化学

問13 放射性元素の化学的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。

- | 放射性元素 | 化学的性質 |
|----------|-------------------|
| A テクネチウム | 安定なオキソ酸イオンを形成する。 |
| B ラドン | 大気中では単原子の状態である。 |
| C フランシウム | 1族元素のセシウムと類似している。 |
| D ラジウム | 硫酸塩は不安定で分解し易い。 |
| E ウラン | 水溶液では5価が安定である。 |

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

〔解答〕 1

〔解説〕

A：正 使用済み核燃料の再処理で発生する高レベル廃液から、希少金属である Tc を選択的分離・回収する際にこの性質を利用する。

B：正

C：正 フランシウム (Fr：原子番号 87) もセシウムと同じ 1 族元素であり、同族元素は互いに似た化学的性質を示す。

D：誤 既知のすべての硫酸塩のなかで最も溶解度がひくい。

E：誤 ウランは 4 価や 6 価が安定で、その他では不安定である。

問14 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 I⁻を含む水溶液中に Ag⁺を加えると難溶性塩が生じる。
- B 安定な核種は ¹²⁷I のみである。
- C ¹³¹I は甲状腺機能亢進症の内用療法に利用されている。
- D I⁻を I₂に酸化することで、水溶液中のヨウ素がクロロホルムに抽出される。

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

〔解答〕 5

〔解説〕

A：正

B：正

C：正 ¹³¹I 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。

D：正 元素状ヨウ素 (I₂) とすることで、水溶液中のヨウ素がクロロホルム相に移る (溶媒抽出法)。

問15 トリチウム (T) 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 海水中では主に HTO として存在している。
- B トリチウムの測定では主に液体シンチレーションカウンタが用いられる。
- C T₂O の沸点は H₂O に比べて高い。

D 最大エネルギー18.6 keV の β^- 線が放出される。

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

〔解答〕 5

〔解説〕

A：正 海水中で HTO の形態で水分子の一部として存在する。

B：正 低エネルギー β 線核種の測定には液体シンチレーションカウンタを用いる。

C：正 T_2O の沸点は $101.5^\circ C$ であり、 H_2O の沸点 $100^\circ C$ より高い。

D：正 トリチウムから放出される β^- 線の最大エネルギーは $18.6keV$ で非常に低い。

問 16 炭素とその同位体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 炭素の原子量は正確に 12 である。

B ^{11}C -メチオニンが PET に使われる。

C ^{13}C の半減期は 12.3 年である。

D 地球上の ^{14}C は、主として大気上層部において(n, p)反応で生成する。

- 1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとC 5 BとD

〔解答〕 5

〔解説〕

A：誤 自然界において炭素には ^{12}C 、 ^{13}C 、 ^{14}C の同位体が存在し、その存在比は ^{12}C (98.892%)、 ^{13}C (1.108%)、 ^{14}C は無視できる程度である。原子量はそれぞれの相対質量と存在比の積を足し合わせて求められる。よって、炭素の原子量は 12.011 である。

B：正 PET 核種は ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F 。メチオニンは必須アミノ酸の一つであり、細胞分裂が活発な腫瘍細胞に取り込まれる性質をもつことから、 ^{11}C -メチオニンは脳腫瘍の診断に用いられる。

C：誤 ^{13}C は安定同位体である。

(^{11}C 半減期 20.4 分、 ^{12}C 安定同位体、 ^{14}C 半減期 5700 年)

D：正 自然界において大気の上層で宇宙線により生じる中性子が空気中の ^{14}N に作用し、 $^{14}N(n, p)^{14}C$ 反応によって ^{14}C が生成する。

問 17 次の記述のうち、 ^{90}Sr と ^{137}Cs の両者に当てはまるものとして、正しいものの組合せはどれか。

A 熱中性子による ^{235}U の核分裂反応によって生成する。

B β^- 壊変核種である。

C アルカリ土類金属元素である。

D 人体に取り込まれると甲状腺に集積しやすい。

- 1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとC 5 BとD

〔解答〕 1

〔解説〕

A：正 熱中性子による ^{235}U の核分裂によって、 ^{131}I 、 ^{133}Xe 、 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr などが生成する。

B：正 ^{90}Sr は β^- 線のみを放出する。

C：誤 ^{90}Sr はアルカリ土類金属元素、 ^{137}Cs はアルカリ金属元素である。

D：誤 ^{90}Sr は骨、 ^{137}Cs は筋肉に蓄積する。甲状腺に蓄積しやすいのはヨウ素核種である。

問 18 次の分析の目的、利用する計測装置および計測対象核種として、正しいものの組合せはどれか。

分析目的	計測装置	計測対象核種
A 文化財に使われている木材の年代測定	加速器質量分析装置	^{14}C
B 土壌中の安定セシウム(133Cs)の放射化分析	NaI(Tl)検出器	^{137}Cs
C ^{151}Eu のアクチバブルレーザー利用	Ge 検出器	^{152}Eu
D 岩石中のウラン同位体の放射平衡	蛍光 X 線分析装置	^{238}U と ^{234}U
E ^{32}P -標識化合物水溶液のチェレンコフ光測定	GM 管式検出器	^{32}P

1 AとB 2 AとC 3 BとD 4 CとE 5 DとE

〔解答〕 2

〔解説〕

A：正

B：誤 安定セシウム(^{133}Cs)が放射化して生じるのは ^{137}Cs ではなく ^{134}Cs である。また、土壌中の放射性セシウムの濃度測定を目的とした場合は、NaI(Tl)検出器よりも分解能が優れているゲルマニウム半導体検出器による計測が望ましく、 ^{137}Cs のみならず ^{134}Cs を計測対象核種とする。

C：正

D：誤 試料中から分離・精製し、 α 線スペクトロメトリーによって ^{234}U および ^{238}U の放射能濃度を測定し、その放射能比 ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) を求める。

E：誤 ^{32}P のような高エネルギー β 線放出核種が発するチェレンコフ光の測定には、液体シンチレーションカウンタを用いる。

問 19 次の ^{14}C 標識化合物のうち、蒸気圧が高く揮発性が最も大きいものはどれか。

- 1 四塩化炭素
- 2 エタノール
- 3 酢酸
- 4 ジエチルエーテル
- 5 アセトン

〔解答〕 4

〔解説〕 基本的に沸点が低いほど揮発性は高い。

- 1: 四塩化炭素 (CCl₄: 沸点 約 76.7°C)
- 2: エタノール (C₂H₆O₄: 沸点 約 78.4°C)
- 3: 酢酸 (CH₃COOH: 沸点 約 118°C)
- 4: ジエチルエーテル (C₄H₁₀O: 沸点 約 34.6°C)
- 5: アセトン (C₃H₆O: 沸点 約 56.5°C)

問 20 次の実験操作のうち、放射性気体を発生するものの組合せはどれか。

- A [³H]NH₄Cl 水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を加える。
- B [¹⁴C]BaCO₃ に塩酸を加える。
- C [¹³¹I]KI 水溶液に Na₂SO₃ 水溶液を加える。
- D [³²P]Na₃PO₄ 水溶液に塩酸を加える。

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

〔解答〕 1

〔解説〕

- A: 正 $[^3\text{H}]\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + [^3\text{H}]\text{NH}_3 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$
- B: 正 $[^{14}\text{C}]\text{BaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{BaCl}_2 + [^{14}\text{C}]\text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$
- C: 誤
- D: 誤 $[^{32}\text{P}]\text{Na}_3\text{PO}_4 + 3\text{HCl} \rightarrow 3\text{NaCl} + [^{32}\text{P}]\text{H}_3\text{PO}_4$

問 21 ラジオコロイド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 直径 1~100 nm 程度の粒子である。
- B アルカリ性溶液で生じやすい。
- C ガラス容器の壁に吸着されない。
- D 溶液中に存在する不純物粒子に吸着しやすい。

- 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 コロイドとは直径 1~100 nm 程度の粒子であり、別の物質中に分散している。放射性同位元素がコロイドになったものをラジオコロイドという。
- B: 正 酸と比較したらアルカリ性の方が生じやすい。
- C: 誤 例えば ⁹⁰Y はガラスへ吸着されやすい。
- D: 正

問22 放射性核種の化学分離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 ^{90}Sr と ^{137}Cs を含む希塩酸水溶液を陽イオン交換樹脂のカラムに通すと、 ^{90}Sr の方が樹脂に強く吸着する。
- B 担体を含む ^{140}Ba 水溶液に希硫酸を加えると沈殿を生成する。
- C 非放射性的の CrO_4^{2-} は $^{51}\text{Cr}^{3+}$ を化学分離する際の担体として用いられる。
- D $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 塩酸水溶液中に溶存している $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ の混合試料からジ(2-エチルヘキシル)リン酸の20%トルエン溶液を用いて溶媒抽出をおこなうと ^{90}Y が有機相に抽出される。
- 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 希塩酸水溶液中で ^{90}Sr は2価の陽イオン、 ^{137}Cs は1価の陽イオンであり、陽イオン交換樹脂には2価の陽イオンの方がより強く吸着する。
- B：正 担体には非放射性的のバリウムが使われるが、バリウムイオンは希硫酸中の硫酸イオンと結合して、水に不溶性の硫酸バリウムを生じる。
- C：誤 CrO_4^{2-} 中のCrは6価 (Cr^{6+}) であり、 $^{51}\text{Cr}^{3+}$ とは化学的性質が異なるため。
- D：正 ジ(2-エチルヘキシル)リン酸 (DEHPA) は抽出剤であり、 ^{90}Y イオンと有機相に溶解しやすい複合体を形成するが、 ^{90}Sr は DEHPA との複合体形成効率が低く、水相に留まる。

問23 ^{14}C と ^3H で標識された少量の有機化合物を完全燃焼させて発生した気体を、まず①塩化カルシウム管に通し、次いで②ソーダ石灰管 ($\text{NaOH} + \text{Ca}(\text{OH})_2$) に通した。①と②に捕集されるラジオアイソトープ (RI) の組合せは、次のうちどれか。

- | ①で捕集される RI | ②で捕集される RI |
|----------------------------------|--------------------------------|
| 1 ^3H と ^{14}C | なし |
| 2 ^{14}C | ^3H |
| 3 ^3H | ^{14}C |
| 4 ^3H と ^{14}C | ^3H |
| 5 なし | ^{14}C と ^3H |

〔解答〕3

〔解説〕 ^{14}C と ^3H で標識された有機化合物を完全燃焼させると、 $^{14}\text{CO}_2$ (二酸化炭素) と $^3\text{H}_2\text{O}$ (水蒸気) が発生する。塩化カルシウムは水分を吸収し、ソーダ石灰は二酸化炭素を吸収する性質がある。

問24 γ 線スペクトロメトリーによる放射能測定についての次の記述のうち、正しいものの組合

せはどれか。

- A トレーサビリティの確保のために個々の測定装置について国家標準で校正しなければならない。
- B 放射能既知の体積線源と同一形状の容器に測定試料を封入して幾何学的影響を打ち消す。
- C マリネリ容器に試料を入れて測定することで、高い計数効率での測定が可能となる。
- D 放射能標準物質の測定を定期的を実施することで分析値の品質を管理する。

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

〔解答〕 4

〔解説〕

- A：誤 放射性同位元素等の規制に関する法律施行規則第20条で定められた測定に用いる測定器でなければ、国家標準で校正する必要はない。
- B：正 このようにすることで測定の正確性を向上させることができる。
- C：正 マリネリ容器は底に測定器の検出器が入るくぼみがあり、試料からの放射線がなるべく均等に検出器に到達するようになっている。
- D：正 このような定期的な機能確認は分析の正確性の維持に必須である。

問25 定量目的化合物A(重量 W_x)に、Aと化学的に同一な標識化合物A*(重量 W_1 、比放射能 S_1)を加え十分に混合する。この混合物から目的化合物の一部(重量 W_2)を純粋に分離し、その比放射能(S_2)を求めた。未知量 W_x を示す式として正しいものは次のうちどれか。

1 $\left(\frac{S_1}{S_2}-1\right)W_1$

2 $\left(\frac{S_1}{S_2}+1\right)W_1$

3 $\left(\frac{S_2}{S_1}-1\right)W_2$

4 $\left(\frac{S_2}{S_1}+1\right)W_1$

5 $\left(\frac{S_1}{S_2}-1\right)(W_1+W_2)$

〔解答〕 1

〔解説〕 AとA*を混合した時の比放射能は $S_1 \cdot W_1 / (W_x + W_1)$ 。ここから目的化合物の一部(重量 W_2)を分離しても比放射能は変わらないので、 $S_2 = S_1 \cdot W_1 / (W_x + W_1)$ 。この式から W_x を示す式を作れ

ば良い。

問 26 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 加速器質量分析 (AMS) は、短半減期の放射性核種の分析に用いられる。
- B 中性子即発 γ 線分析 (PGA) は、中性子放射化分析では定量が困難な H や B などの元素の分析に有効である。
- C 荷電粒子励起 X 線分析 (PIXE) は、試料の放射化を利用する。
- D 荷電粒子放射化分析 (CPAA) は、C や O などの軽元素の分析に有効である。

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

〔解答〕 4

〔解説〕

- A : 誤 加速器質量分析では長半減期の放射性核種の分析も可能である。
- B : 正 中性子即発 γ 線分析は即発 γ 線を検出するため、H や B などのように中性子捕獲によって生じる γ 線のエネルギーが低い元素や半減期が短い元素についても分析可能である。
- C : 誤 荷電粒子励起 X 線分析は、荷電粒子の照射によって試料から放出される特性 X 線を測定する分析法である。
- D : 正 荷電粒子放射化分析は、中性子放射化分析では定量が困難な軽元素の定量が可能である。

問 27 (n, γ) 反応で生成した原子核の最大反跳エネルギー E_R [eV] は、 M [u] を反跳原子の質量、 E [MeV] を即発 γ 線の全エネルギーとすると、 $537E^2/M$ である。 $^{37}\text{Cl}(n, \gamma)^{38}\text{Cl}$ で生成した ^{38}Cl 原子の E_R [eV] として最も適当な値は、次のうちどれか。ただし、エネルギー質量等価式から $1\text{u} = 931.478\text{MeV}$ の関係が成り立ち、中性子、 ^{37}Cl 、 ^{38}Cl の質量 [u] はそれぞれ 1.008982、36.97762、37.98004 とする。

- 1 6.11 2 12.2 3 87.2 4 174 5 527

〔解答〕 5

〔解説〕 反応前のエネルギー E_B は (^{37}Cl の質量 + 中性子の質量) $\times 931.478\text{MeV/u}$ なので、35383.68 MeV。反応後のエネルギー E_A は ^{38}Cl の質量 $\times 931.478\text{MeV/u}$ なので、35377.57 MeV。反応後に発生した即発 γ 線のエネルギーは $E_B - E_A$ なので、6.11 MeV。
したがって ^{38}Cl の $E_R = 537 \times (6.11)^2 / 37.98004 = 527.8\dots$

問 28 硫酸セリウム(IV)の硫酸溶液 10 g に ^{60}Co からの γ 線を 30 分間照射したところ、Ce(III) が生成した。この反応の G 値を 2.5 とすると、生成した Ce(III) の量から吸収線量は 24 Gy となった。生成した Ce(III) の質量 [g] に最も近い値は次のうちどれか。なお、セリウムの原子量は 140、1 eV は $1.6 \times 10^{-19}\text{J}$ とする。

- 1 1×10^{-6} 2 3×10^{-6} 3 9×10^{-6} 4 3×10^{-5} 5 9×10^{-5}

〔解答〕 3

〔解説〕 G 値とは 100 eV 吸収した時に変化を受ける原子数のことである。生成した Ce(III)の質量を X g、アボガドロ数を N/mol とすると、生成した Ce(III)の原子数は $NX/140$ 。これが 24 Gy 照射で生じたことになる。1 eV = 1.6×10^{-19} J なので、1 J = 6.25×10^{18} eV。24 Gy = 24 J/kg = $24 \times 6.25 \times 10^{18}$ eV/kg。なので、10 g の試料に照射された ^{60}Co は 1.5×10^{18} eV。G 値は 2.5/100 eV なので、生成原子数 : 照射エネルギー (eV) = 2.5 : 100 = $NX/140$: 1.5×10^{18} 。これを X について解き、最後に $N = 6.02 \times 10^{23}$ を代入すると、 8.7×10^{-6} 。

問 29 水に放射線を照射後、約 10^{-12} 秒以内に生成する化学種として正しいものの組合せは、次のうちどれか。

A H_2O_2

B OH^-

C $\cdot\text{OH}$

D H_3O^+

E 水和電子

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

〔解答〕 5

〔解説〕 水和電子の生成は照射後 10^{-15} 秒オーダーで起こる。その後 $\cdot\text{OH}$ や H_3O^+ が 10^{-14} ~ 10^{-12} オーダーで生成する。 OH^- は 10^{-12} ~ 10^{-9} 秒オーダー、 H_2O_2 は 10^{-9} ~ 10^{-6} 秒オーダーで生成する。

問 30 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 ^3H の検出には用いられない。

B α 線に対しても高い感度を有する。

C 放射線量と画像の強度 (濃度) が比例関係となるダイナミックレンジが広い。

D IP 表面には放射線を受けて即座に発光する輝尽性蛍光体が塗布されている。

E IP に残った情報を消去するときは波長 800 nm の光を用いる。

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

〔解答〕 3

〔解説〕

A : 誤 IP を用いた ^3H の検出法も存在する。

B : 正 α 線は他の種類の放射線と比べ、IP により多くのエネルギーを付与するので、感度は高くなる。

C : 正 IP は放射線撮影用のフィルム等と比べ、ダイナミックレンジが広い。

D : 誤 IP に塗布されている輝尽性蛍光体は、放射線照射により励起され、その後長波長の光が照

射されると発光する。

E: 誤 IPに残った情報の消去には 450-550 nm 程度の光が用いられる。

問31 次のI、IIの文章の□の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選べ。

I ^{65}Cu □ A ^{65}Zn 反応による ^{65}Zn トレーサーの製造を、沈殿分離法を用いて行なうこととした。荷電粒子による照射時の標的物質の安定性や照射後の迅速な化学操作を考慮して、標的物質は金属 Cu 箔を選択した。照射後、金属 Cu 箔は酸化力の強い □ B で溶解した。溶解後の水溶液を蒸発乾固して、 $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ の塩酸に溶解した。この塩酸溶液に硫化水素を通じると □ C が沈殿した。生成した沈殿をろ過して、 ^{65}Zn を無担体で得た。

沈殿分離法において、溶液中の陽イオンと陰イオンの濃度をそれぞれ $[\text{M}^{n+}]$ と $[\text{X}^{n-}]$ 、生成する塩の □ D を K_{sp} とすると、□ E の関係のときに沈殿が生じる。硫化水素を用いる沈殿の生成は、硫化水素を通じる溶液の □ F に影響を受ける。硫化水素は弱酸で2段階の電離平衡を示すために、□ F によって溶液中の □ G が大きく変化するからである。

<Aの解答群>

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

<Bの解答群>

- 1 酢酸 2 希硝酸 3 塩酸 4 希硫酸 5 フッ化水素酸

<Cの解答群>

- 1 CuSO_4 2 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 3 CuO 4 CuS 5 ZnSO_4
6 $\text{Zn}(\text{OH})_2$ 7 ZnO 8 ZnS

<Dの解答群>

- 1 イオン強度 2 酸解離定数 3 溶解度積 4 反応速度 5 自己イオン解離

<Eの解答群>

- 1 $[\text{M}^{n+}][\text{X}^{n-}] < K_{\text{sp}}$ 2 $\frac{[\text{M}^{n+}][\text{X}^{n-}]}{[\text{M}^{n+}] + [\text{X}^{n-}]} < K_{\text{sp}}$
3 $\log([\text{M}^{n+}][\text{X}^{n-}]) < K_{\text{sp}}$ 4 $[\text{M}^{n+}]^{n+1}[\text{X}^{n-}]^{n-1} < K_{\text{sp}}$
5 $[\text{M}^{n+}][\text{X}^{n-}] > K_{\text{sp}}$ 6 $\frac{[\text{M}^{n+}][\text{X}^{n-}]}{[\text{M}^{n+}] + [\text{X}^{n-}]} > K_{\text{sp}}$
7 $\log([\text{M}^{n+}][\text{X}^{n-}]) > K_{\text{sp}}$ 8 $[\text{M}^{n+}]^{n+1}[\text{X}^{n-}]^{n-1} > K_{\text{sp}}$

<Fの解答群>

- 1 双極子モーメント 2 比熱 3 pH 4 粘性 5 表面張力

<Gの解答群>

1 [S²⁻] 2 [SO₄²⁻] 3 [OH⁻] 4 [O²⁻] 5 [Cl⁻]

〔解答〕 I A-4 B-2 C-4 D-3 E-5 F-3 G-1

〔解説〕

A : ⁶⁵Cu → ⁶⁵Zn 反応では、質量数が変わらず原子番号が増えているので、このような核反応は、(p, n) 反応である

B : H₂ よりイオン化傾向の小さい金属は酸に溶けないが、Cu、Hg、Ag は、硝酸や熱濃硫酸の酸化力のある酸には溶ける。

C : 塩酸溶液には Cu と Zn が溶解しているが、硫化水素を通した時、Cu は硫化物の沈殿が生じるが、Zn では生じない (アルカリ性では生じる。)

D、E : 溶解平衡が成り立つとき、次のような関係式が成り立つ。

$$K_{sp} = [M^{n+}][X^{n-}]$$

この K_{sp} が溶解度積である。

$K_{sp} > [M^{n+}][X^{n-}]$ の時は沈殿を生じないが、 $K_{sp} < [M^{n+}][X^{n-}]$ の時は生じる。

F、G : 硫化水素は、以下の2段階の電離平衡を示す。



各段階の解離定数はそれぞれ、以下の式で示される。

$$K_1 = [\text{H}^+][\text{HS}^-] / [\text{H}_2\text{S}] \quad , \quad K_2 = [\text{H}^+][\text{S}^{2-}] / [\text{HS}^-]$$

全体の解離定数 K は、 $K_1 \times K_2$ であるため、以下の式で示される。

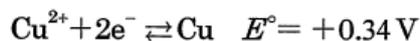
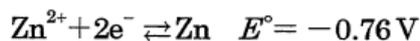
$$\begin{aligned} K &= K_1 \cdot K_2 = \{[\text{H}^+][\text{HS}^-] / [\text{H}_2\text{S}]\} \cdot \{[\text{H}^+][\text{S}^{2-}] / [\text{HS}^-]\} \\ &= [\text{H}^+]^2[\text{S}^{2-}] / [\text{H}_2\text{S}] \end{aligned}$$

[S²⁻] の量は上式より、

$$[\text{S}^{2-}] = K[\text{H}_2\text{S}] / [\text{H}^+]^2 \quad \text{となる。}$$

したがって、[S²⁻] の濃度は水素イオン濃度 (pH) の変化を強く受けることが分かる。

II 沈殿分離法の他に、様々な RI の化学分離法がある。⁶⁴Cu²⁺ と ⁶⁵Zn²⁺ およびそれぞれの担体を含む希塩酸水溶液 X を考える。溶液 X に錆のついていない鉄片を入れると、鉄片の表面には H。溶液 X の電気分解を行なうと、Cu²⁺/Cu と Zn²⁺/Zn それぞれの標準電極電位 E° [V (25°C)] は、



より、Cu²⁺ の方が I Cu を析出させることができる。

溶液 X に 9 mol · L⁻¹ 塩酸を加えると、金属イオンは J 錯イオンを形成する。この塩酸溶液を K カラムに通した後に 2.5 mol · L⁻¹ 塩酸を流すと、Cu²⁺ は溶出するが Zn²⁺ はカラムに吸着したまま残るので、⁶⁴Cu²⁺ と ⁶⁵Zn²⁺ を分離することができる。

錯形成剤を使って金属イオンを電氣的に中性な金属錯体に変えて、有機溶媒に抽出する溶媒抽出

(令和5年度) 第1種化学

法がある。オキシシン(8-キノリノール)を含む L と M mol・L⁻¹ 程度の塩酸酸性に調製した溶液 X を分液漏斗に入れて十分に振とうする。Cu²⁺ は、オキシシンと電荷をもたない中性の錯体を生成するので有機相へ抽出される。溶媒抽出における有機相と水相間の分配平衡は、分配比 D や抽出率 E を用いて表される。例えば、オキシシンを含む L を用いた溶媒抽出での Cu の分配比 D を 20 とする。溶液 X 10 mL に 10 MBq の ⁶⁴Cu が含まれているとして、同じ容量の有機相を加えて1回の抽出を行なった。水相に残る ⁶⁴Cu の放射能は A MBq となる。

<H の解答群>

- | | |
|--------------------|------------|
| 1 Cu が析出する | 2 Zn が析出する |
| 3 Cu と Zn の両方が析出する | 4 何も析出しない |

<I の解答群>

- | | |
|----------------|----------------|
| 1 還元されやすいので陽極に | 2 酸化されやすいので陽極に |
| 3 還元されやすいので陰極に | 4 酸化されやすいので陰極に |

<J の解答群>

- | | |
|--------------|--------------|
| 1 アクア (アコ) | 2 クロリド (クロロ) |
| 3 シアニド (シアノ) | 4 アンミン |
| 5 ヒドロキシド | |

<K の解答群>

- | | |
|----------------|---------------|
| 1 モレキュラーシーブ | 2 強酸性陽イオン交換樹脂 |
| 3 多孔質シリカゲル | 4 アルミナ |
| 5 強塩基性陰イオン交換樹脂 | |

<L の解答群>

- | | |
|-------------|---------------|
| 1 アセトン | 2 ジオキサン |
| 3 エチレングリコール | 4 イソプロピルアルコール |
| 5 クロロホルム | |

<M の解答群>

- | | | | | |
|----------------------|----------------------|-----|-----|------|
| 1 1×10^{-3} | 2 1×10^{-1} | 3 1 | 4 5 | 5 10 |
|----------------------|----------------------|-----|-----|------|

<ア の解答群>

- | | | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|-------|-------|
| 1 9.6×10^{-2} | 2 4.8×10^{-1} | 3 9.6×10^{-1} | 4 4.8 | 5 9.6 |
|------------------------|------------------------|------------------------|-------|-------|

〔解答〕 II H-1 I-3 J-2 K-5 M-1 ア-2

〔解説〕

H: 鉄は銅よりもイオン化傾向が大きいので、鉄片の表面に銅が析出する。

I: 標準電極電位とは、電極反応に関与する物質がすべて標準状態にあるときの平衡電極電位のことである。またイオン化傾向は、イオンを標準電極電位の順に並べたものである。イオン化傾向の大きな金属ほど、酸化されやすい(還元されにくい、電子を受け取りにくい)。Cuの方がZnよりイオン化傾向が小さく還元されやすいので(電子を受け取りやすいので)陰極に析出する。

J、K：クロロ錯体を形成する金属イオンは陰イオンとなるため、陰イオン交換樹脂を用いて分離できる。クロロ錯体形成の順位は、 $Ni^{2+} < Mn^{2+} < Co^{2+} < Cu^{2+} < Fe^{3+} < Zn^{2+}$ となる。また、陰イオン交換樹脂に吸着されたクロロ錯体を塩酸溶液で溶出する際には、クロロ錯体の形成が強いものほど、濃度は薄いものを使用しなければならない。Cu²⁺を分離する時は2.5 mol/L、Zn²⁺を分離する時は0.005 mol/Lの塩酸溶液を用いる。

L、ア：溶媒抽出とは、混じり合わない2種類の溶媒間（水と有機溶媒など）への溶質の分配に基づく物質の分離・濃縮法である。分配比（ D ）は以下の式で示される。

$$D = C_o / C_w$$

ここで、 C_o ：有機相中の溶質の平衡濃度

C_w ：水相中の溶質の平衡濃度

抽出率（ E ）は、有機相と水相が同じ容量である場合、以下の式で示される。

$$E = D / (D + 1)$$

有機相への分配比が20より上式から有機相への抽出率は約0.952、水槽に残る割合は約0.048となる。このため、10MBqの内、水相に残るのは0.48MBqとなる。

陽イオンを有機相に移行させるのに、オキシソリンやジチゾン等のキレートを用いて金属イオンと錯体を作り、これをクロロホルム等の有機相に抽出することが行われている。

M：オキシソリンとクロロホルムを用いた抽出時のpHは大体3～5である。このため水素イオン濃度は 10^{-3} 以下となる。したがって、解答で選択できるHClのモル濃度は 1×10^{-3} である。

問32 次のI、IIの文章の□の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答を1つだけ選べ。

I 機器中性子放射化分析法（INAA）は、試料を研究用原子炉中で中性子照射し、主として (n, γ) 反応により生成した放射性核種からの γ 線を測定し、元素分析する方法である。 (n, γ) 反応では、標的核と生成核の□Aは等しいので、 γ 線エネルギーから生成した放射性核種を同定し、定性分析ができる。また、 γ 線計数率から定量分析ができる。一般に中性子と γ 線はともに試料での透過率が大きい。そのため、試料全体を均一に中性子で照射することができ、また、照射した試料内部からの γ 線も試料外に放出されるので、 γ 線をエネルギー分解能の良い□Bで測定するINAAは、試料全体の平均濃度を得る□C分析法である。

核反応により生成した放射性核種を□Bで測定を開始したときの、その核種からのエネルギー E の γ 線の計数率(R)は、次式により計算できる。

$$R = N\phi\sigma(1 - e^{-\lambda T_i}) \quad \square D \quad (1)$$

ここで、 N は標的核の原子数、 ϕ は中性子束密度、 σ は核反応断面積、 λ は放射性核種の壊変定数、 T_i は照射時間、 T_c は照射終了から測定開始までの経過時間（冷却時間）、 r はエネルギー E の γ 線放出率、 ϵ はエネルギー E での検出器の計数効率である。(1)式中の $(1 - e^{-\lambda T_i})$ は□Eと呼ばれ、 T_i が放射性核種の半減期の2倍と等しいとき、 $(1 - e^{-\lambda T_i})$ は□Fとなる。

<アの解答群>

1 -4.8 2 -3.9 3 -2.2 4 0 5 2.2
6 3.9 7 4.8

[解答] I A-3 B-4 C-4 D-5 E-2 F-5 G-4 H-3 ア-2

[解説]

A : (n, γ) 反応では標的核へ中性子が衝突し、 γ 線を放出して生成核となるため、中性子が吸収された分、質量数が1つ増えるが、原子番号は変化しない。

B : γ 線の測定には NaI(Tl)シンチレーション検出器と Ge 半導体検出器が使用され、 γ 線のエネルギー分解能が高いのは、Ge 半導体検出器である。

C : Ge 半導体検出器の測定では試料中から出る核種固有の γ 線エネルギースペクトルが得られ、非破壊で多元素の同時分析が可能である。

D : $N\varphi\sigma(1 - e^{-\lambda T_i})$ は生成された放射性核種の放射能を示しているため、この放射性核種から出る γ 線の計数率を求めるためには、これに γ 線の放出率 : r 、計数効率 : ϵ 、生成核の減衰率 : $e^{-\lambda T_c}$ を掛け合わせるにより算出できる。

E : $(1 - e^{-\lambda T_i})$ は飽和係数と呼ばれている。

F : 半減期の2倍の時間で減衰率は 1/4 になるが、半減期の2倍の時間照射すると、生成核の飽和係数 $(1 - e^{-\lambda T_i})$ は、 $(1 - 1/4) = 3/4$ となる。

G : 一般的に、中性子捕獲断面積は速度の遅い熱中性子で核反応が起こる確率が高く、速度の速い中性子になるに連れて核反応が起こる確率は低下する。

H : 標的核 Si の質量数 : 28、原子番号 : 14 であり、生成核 Al は質量数 : 28、原子番号 : 13 である。生成前と生成後では、質量数は変化せず、原子番号は1つ減る反応であるため、(n, p) 反応となる。

ア : 核反応は $A+a=B+b+Q$ (A : 標的核のエネルギー、a : 入射粒子のエネルギー、B : 生成核のエネルギー、b : 放出粒子のエネルギー、Q : Q 値) で示される。また核反応が起こるためのしきい値が存在するのは、吸熱反応の場合で Q 値 < 0 のときであり、この核反応が起こるには 4.0MeV のエネルギーが必要とされるということから、Q 値は -3.9 MeV が正解となる。

II 電子加速器で発生した制動放射線を照射し、主に 反応により生成した放射性核種を利用する放射化分析法を光量子放射化分析法と呼ぶ。この方法での臭素の定量には、 ^{81}Br $^{80\text{m}}\text{Br}$ 反応を利用することができる。 $^{80\text{m}}\text{Br}$ は半減期 4.4 時間で核異性体転移により、半減期 18 分の ^{80}Br となる。 $^{80\text{m}}\text{Br}$ が放出する γ 線のエネルギーは 50 keV 未満であるため、 での測定は困難であるが、かわりに ^{80}Br の γ 線 (617 keV) を測定することができる。617 keV γ 線の計数率は、照射後しばらくは時間とともに増加するので、照射終了 分後以降の両核種が の状態であるときに試料を測定すると良い。この状態の時、 ^{80}Br の計数率は半減期 分で減少していくので、定量のための計算が簡単になる。なお、この時、 $^{80\text{m}}\text{Br}$ と ^{80}Br の放射能は、次の関係にある。

$$\frac{A_{80}}{A_{80m}} = \boxed{\text{K}} = \boxed{\text{エ}}$$

ここで、 A_{80} と A_{80m} は ^{80}Br と ^{80m}Br の放射能、 λ_{80} と λ_{80m} は ^{80}Br と ^{80m}Br の壊変定数である。

<I の解答群>

- 1 (γ, n) 2 ($\gamma, 2n$) 3 (γ, p) 4 (γ, d) 5 (γ, α)

<イの解答群>

- 1 18 2 36 3 54 4 75 5 180

<J の解答群>

- 1 過渡平衡 2 永続平衡 3 同放射能 4 同原子数

<ウの解答群>

- 1 15 2 18 3 246 4 264 5 282
6 4752

<K の解答群>

- 1 $\frac{\lambda_{80m}}{\lambda_{80} - \lambda_{80m}}$ 2 $\frac{\lambda_{80}}{\lambda_{80} - \lambda_{80m}}$ 3 $\frac{\lambda_{80m}}{\lambda_{80}}$ 4 $\lambda_{80}\lambda_{80m}$
5 $e^{\lambda_{80} - \lambda_{80m}t}$ 6 $e^{\lambda_{80} + \lambda_{80m}t}$ 7 $e^{\lambda_{80}\lambda_{80m}t}$

<エの解答群>

- 1 0.00011 2 0.068 3 0.073 4 1.0 5 1.1
6 1.5 7 2.0

[解答] II I-1 イ-5 J-1 ウ-4 K-2 エ-5

[解説]

I: 反応後、質量数が1つ減少し、標的核、生成核がともに臭素 Br と変わらないため、原子番号は変化しない。この条件に当てはまるのは(γ, n)反応である。

イ: ^{80}Br と ^{80m}Br の間には過渡平衡が成立していて、放射平衡に達するのに掛かる時間は娘核種の半減期の7倍から10倍程度である。

J: 親核種が娘核種の半減期に比べて100倍程度まで長さの半減期を持つときは、過渡平衡が成立している。

ウ: 放射平衡状態が成立しているとき、娘核種の見かけ上の半減期は親核種の半減期によって減少していく。

K: $t = 0$ のとき、親核種の原子数を N_{80}^0 とし、娘核種の原子数を0とすると、時間 t におけるそ

れぞれの核種の原子数 N_{80m} , N_{80} とすると、次式で示される。

$$N_{80m} = N_{80m}^0 e^{-\lambda_{80m} t}$$

$$N_{80} = \frac{\lambda_{80m}}{\lambda_{80} - \lambda_{80m}} N_{80m}^0 (e^{-\lambda_{80m} t} - e^{-\lambda_{80} t})$$

$e^{-\lambda_{80} t}$ は $e^{-\lambda_{80m} t}$ と比べるとはるかに小さく無視できる。

$$\therefore \frac{N_{80}}{N_{80m}} = \frac{\lambda_{80m}}{\lambda_{80} - \lambda_{80m}}$$

$$\frac{A_{80}}{A_{80m}} = \frac{\lambda_{80} N_{80}}{\lambda_{80m} N_{80m}} = \frac{\lambda_{80}}{\lambda_{80m}} \times \left(\frac{\lambda_{80m}}{\lambda_{80} - \lambda_{80m}} \right) = \frac{\lambda_{80}}{\lambda_{80} - \lambda_{80m}}$$

エ：親核種の半減期 T_{80m} 、娘核種の半減期 T_{80} とすると、

$$\text{上式から、} \frac{A_{80}}{A_{80m}} = \frac{\lambda_{80}}{\lambda_{80} - \lambda_{80m}} = \frac{(\ln 2 / T_{80})}{(\ln 2 / T_{80}) - (\ln 2 / T_{80m})} \text{となる。}$$

親核種の半減期 4.4 時間は 264 分、娘核種の半減期 18 分、 $\ln 2$ は 0.693 をそれぞれ代入して計

算すると、 $\frac{A_2}{A_1} \cong 1.073$ となる。