

問題 1 次の放射性核種とその元素名のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A ^{103}Ru ルテチウム
 B ^{113}Sn スズ
 C ^{201}Tl タンタル
 D ^{203}Hg 水銀

- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

解説 A：誤 Ru (ルテニウム), C：誤 Tl (タリウム)。

元素名は正しく覚える必要がある。元素名には似た呼び名がある。例えば、トリウム (Th) とトリチウム (T または ^3H)、セシウム (Cs) とセリウム (Ce)、タリウム (Tl) とタンタル (Ta)、テルビウム (Tb) とテルル (Te)、ニオブ (Nb) とネオジム (Nd)、パラジウム (Pd) とプラセオジム (Pr)、プルトニウム (Pu) とプロメチウム (Pm)、ルテチウム (Lu) とルテニウム (Ru)、ルビジウム (Rb) とロジウム (Rh) などがある。また、英語名と日本名とは異なっているので注意する必要がある。U は日本語名はウランであるが、英語の読み方は、ウラニウムである。

【解答】 4

問題 2 放射性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 ポロニウム Po はハロゲンである。
 B プロメチウム Pm はアクチノイド元素である。
 C テクネチウム Tc はマンガン Mn の同族元素である。
 D アメリシウム Am は超ウラン元素である。

- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

解説 A：誤 (Po はカルコゲン元素；第 16 族元素), B：誤 (Pm はランタノイド元素)。

周期表の同族は化学的挙動が類似している。ポイント解説 1. を参照。 ^{57}La から ^{71}Lu までの元素をランタノイド元素、 ^{89}Ac から ^{103}Lr までの元素をアクチノイド元素、アクチノイド元素のうち ^{92}U より重い元素を超ウラン元素という。アメリシウムは ^{95}Am である。 ^{43}Tc と ^{61}Pm は天然には安定同位体が存在していない。ポロニウム ^{84}Po は、天然の放射性壊変系列をつくる娘核種である。O, S, Se, Te と同族 (第 16 族) のカルコゲン元素である。

【解答】 5

問題 3 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 鉛は安定同位体を持つ元素の中で、原子番号が一番大きい。
 B ラドンは原子番号が一番大きな希ガスである。
 C アスタチンは原子番号が一番大きなハロゲンである。
 D ラジウムは原子番号が一番大きなアルカリ金属である。

- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

解説 A：誤, D：誤。

天然の放射性壊変系列に属する放射性核種であるが、83 番の ^{209}Bi が周期表でも最も重い元素で安定核種である。鉛 (Pb) は 82 番、ラドン (Rn) は、86 番、アスタチン (At) は 85 番、ラジウム (Ra) は 88 番である。このうち、鉛だけが安定核種があり、あとの核種はすべて放射性核種である。

【解答】 3

問題 1 炭素試料 1 kg 中に ^{14}C が 220 Bq 含まれている。この場合の $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比として最も近い値は、次のうちどれか。なお、 ^{14}C の半減期は 5730 年 (1.8×10^{11} 秒)、 ^{12}C の同位体存在比は 98.9 %、アボガドロ定数は $6.0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ とする。

- 1 1.2×10^{-10} 2 1.2×10^{-12} 3 1.2×10^{-13}
4 1.2×10^{-15} 5 1.2×10^{-18}

解説 重要ポイントの 2. と 3. を参考にする。 ^{14}C の放射能 [Bq] は、 $220 = 0.693 / (1.8 \times 10^{11} \text{ 秒}) \times ^{14}\text{C}$ の原子数 (N_{14}) である。また、炭素試料 1 kg 中の ^{12}C の原子数 (N_{12}) は、 $N_{12} = 0.989 \times (1000/12) \times 6.0 \times 10^{23}$ となる。この両式から $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比すなわち、 $N_{14}/N_{12} = 220 \times 1.8 \times 10^{11} \times (1/0.693) / \{0.989 \times (1000/12) \times 6.0 \times 10^{23}\} \div 1.2 \times 10^{-12}$ **【解答】 2**

問題 2 10 GBq の ^{76}As (半減期 9.50×10^4 秒) のモル数に最も近い値は、次のうちどれか。ただし、アボガドロ定数は $6.0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ とする。

- 1 3.3×10^{-21} 2 2.3×10^{-15} 3 3.3×10^{-15}
4 2.3×10^{-9} 5 3.3×10^{-9}

解説 重要ポイントの 2. と 3. を参考にする。放射能から原子数を求め、1 モルの原子には、アボガドロ数 (6.0×10^{23}) だけの原子数が存在することから、算出された原子数をアボガドロ数で除してモル数を求める。G (ギガ) は、 10^9 である。

$$\text{モル数} = (A \times T) / (\ln 2 \times \text{アボガドロ数}) = (10 \times 10^9 \times 9.50 \times 10^4) / (0.693 \times 6.0 \times 10^{23}) \div 2.3 \times 10^{-9} \text{ mol}$$

【解答】 4

問題 3 同じ強さの放射能の ^{43}K (半減期: 22.3 時間) と ^{24}Na (半減期: 15.0 時間) が存在するとき、その核の個数の比 ($^{43}\text{K}/^{24}\text{Na}$) に最も近い値は、次のうちどれか。

- 1 0.673 2 0.882 3 1.08 4 1.49 5 1.68

解説 重要ポイントの 2. と 3. を参考にする。 ^{43}K の放射能を A_{43} 、 ^{24}Na の放射能を A_{24} とする。また、各核種の個数および半減期を N_{43} 、 N_{24} と T_{43} 、 T_{24} とで示す。両核種の放射能は、 $A_{43} = N_{43} \times (\ln 2 / T_{43})$ 、 $A_{24} = N_{24} \times (\ln 2 / T_{24})$ となる。題意 $A_{43} = A_{24}$ より $N_{43} / N_{24} = T_{43} / T_{24}$ となる。すなわち、原子数の比は半減期の比となることから、 $N_{43} / N_{24} = 22.3 / 15.0 \div 1.49$ となる。

【解答】 4

問題 1 放射性壊変系列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 4 系列のうち、安定な最終生成物が Pb でないものはネプツニウム系列である。
 B アクチニウム系列は、 ^{227}Ac から始まる。
 C ウラン系列の ^{226}Ra は Ra 同位体中で半減期が最も長い。
 D トリウム系列は、 ^{206}Pb で終わる。

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

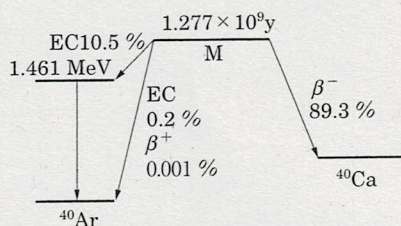
解説 B : 誤 (アクチニウム系列の親核種は ^{235}U)、D : 誤 (トリウム系列の最終核種は ^{208}Pb)。

天然の放射性壊変系列は、ウラン系列 (親核種 ^{238}U 、最終安定核種 ^{206}Pb)、アクチニウム系列 (親核種 ^{235}U 、最終安定核種 ^{207}Pb)、トリウム核種 (親核種 ^{232}Th 、安定核種 ^{208}Pb) の 3 種類がある。天然には極微量しかなく、ときに人工の放射性壊変系列に分類されるネプツニウム系列 (親核種 ^{237}Np 、最終安定核種 ^{209}Bi) がある。ウラン系列の ^{226}Ra はマリ・キュリーが発見した放射性核種であり、半減期は 1600 年である。

【解答】 2

問題 2 図は核種 M の壊変図である。この核種の壊変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 M は ^{40}K である。
 B ^{40}Ar 、 ^{40}Ca のいずれも安定核種である。
 C M の EC 壊変の部分半減期は 1.277×10^9 年より長い。
 D 1.461 MeV の単色ニュートリノが放出される。
 E 強度比約 1 : 9 の割合で Ar および Ca の特性 X 線が放出される。
- 1 ABC のみ 2 ABE のみ 3 ADE のみ 4 BCD のみ
 5 CDE のみ



解説 D : 誤、E : 誤。

A : Ar (不活性ガス) の原子番号は 18, Ca (アルカリ土類) の原子番号は 20 であることから、M は 19 番目の元素で K (アルカリ金属) であり、 ^{40}K の核種である。

B : ^{40}Ar と ^{40}Ca は基底状態で安定である。

C : M の線の上に記されている数字は、M の核種の半減期である。M は β^- 壊変と EC 壊変の両方の壊変を起こす。

D : 1.461 MeV は ^{40}Ar の励起準位のエネルギーを示し、そこから基底状態への矢印は、 γ 線の放出を意味し、エネルギー準位差が γ 線のエネルギーとなる。 β 線 (β^+ 線あるいは β^- 線) が放出するときは、同時にニュートリノの放出もある。EC 壊変のとき、 α 、 β 、 γ 、X 線の放出はないが、ニュートリノの放出がある。

E : 特性 X 線は、軌道電子に空席ができたときにその軌道を埋めようと外側の電子が移動してきたとき、その軌道の結合エネルギー差が特性 X 線として放出するので、Ca から特性 X 線は放出されない。

【解答】 1

問題 3 次の壊変系列と核種の組合せのうち、正しいものはどれか。

- 1 トリウム系列, ^{214}Po
- 2 ウラン系列, ^{224}Ra
- 3 ウラン系列, ^{211}Po
- 4 アクチニウム系列, ^{220}Rn
- 5 アクチニウム系列, ^{211}Bi

解説 1 : 誤 (^{214}Po はウラン系列), 2 : 誤 (^{224}Ra はトリウム系列), 3 : 誤 (^{211}Pb はアクチニウム系列), 4 : 誤 (^{220}Rn はトリウム系列).

質量数を 4 で除し, 余りの数で放射性壊変系列の種類を決める. ウラン系列 ($4n+2$), アクチニウム系列 ($4n+3$), トリウム系列 ($4n$), ネプツニウム系列 ($4n+1$) である.

【解答】 5

問題 4 放射性核種に関する次の記述のうち、正しいものはどれか。

- 1 ^{45}Ca は β^- 壊変し, γ 線を放出する.
- 2 ^{60}Co は EC 壊変し, γ 線を放出する.
- 3 ^{63}Ni は EC 壊変し, γ 線は放出しない.
- 4 ^{125}I は EC 壊変し, γ 線を放出する.
- 5 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ は核異性体転移し, γ 線は放出しない.

解説 ここに示された放射性核種は, 線源利用, トレーサー利用などに使用されるので, 壊変形式, 放射線のエネルギーや半減期などを覚えておくとよい.

- 1 : ^{45}Ca : 165d, β^- 壊変 (E_{max} 0.157 MeV), γ 線 (放出しない)
- 2 : ^{60}Co : 5.27y, β^- 壊変 (E_{max} 0.318 MeV), γ 線 (1.17 MeV, 1.33 MeV)
- 3 : ^{63}Ni : 100y, β^- 壊変 (E_{max} 0.066 MeV), γ 線 (放出しない)
- 4 : ^{125}I : 60.2d, EC 壊変, γ 線 (0.0355 MeV), 特性 X 線 (Te) (0.0275 MeV)
- 5 : $^{137\text{m}}\text{Ba}$: 2.55m, IT 遷移, γ 線 (0.662 MeV), 特性 X 線 (Ba) (0.0322 MeV)

【解答】 4

問題 1 風化を受けていない古い放射性鉱物中に ^{238}U (半減期 $T_1=4.5 \times 10^9\text{y}$) と ^{226}Ra (半減期 $T_2=1600\text{y}$) が存在している. 次の記述のうち、正しいものはどれか.

- 1 ^{226}Ra の原子数は ^{238}U の原子数に等しい.
- 2 ^{226}Ra の原子数は ^{238}U の原子数の T_1/T_2 である.
- 3 ^{226}Ra の放射能は ^{238}U の放射能に等しい.
- 4 ^{226}Ra の放射能は ^{238}U の放射能の T_1/T_2 である.
- 5 ^{226}Ra の放射能は ^{238}U の放射能の T_2/T_1 である.

解説 風化を受けていないということは, 密封系であることを意味し, また, 古い放射性鉱物中ということは, 壊変時間が十分経過していることを意味する. ^{238}U を親核種とするウラン系列では, 密封系で十分時間が経過した後では, 永続平衡が成り立つ. そのため, 重要ポイント 5. に示されているように, 永続平衡が成り立つと, 親核種の放射能は, 娘核種, 孫娘核種, 曾孫娘核種などの放射能と等しくなる. それゆえ, $A_2/A_1=1$ または $N_2/N_1=\lambda_1/\lambda_2=T_2/T_1$ が成立するので, 3 が正しい.

【解答】 3

問題 2 ^{140}Ba は半減期 12.8 日で β^- 壊変して ^{140}La となり、 ^{140}La は半減期 1.68 日で β^- 壊変して ^{140}Ce (安定) になる。この逐次壊変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 ^{140}Ba と ^{140}La の原子数の総和は一定である。
 B 分離精製した ^{140}Ba を放置すると、 ^{140}La の放射能が最大となる。
 C 放射平衡時、 ^{140}La の放射能は ^{140}Ba の放射能より大きい。
 D 放射平衡時、 ^{140}Ba の原子数を N_A 、また ^{140}La の原子数を N_B とすると、 $N_A = N_B \{(12.8/1.68) - 1\}$ の関係がある。
 1 A と B 2 A と D 3 B と C 4 B と D 5 C と D

解説 A : 誤, B : 誤. ^{140}Ba が親核種, ^{140}La が娘核種であり, 親核種の半減期 (12.8 日) が娘核種の半減期 (1.68 日) より長いので, 娘核種の半減期に約 10 倍の時間を経過すると, 過渡平衡が成り立つ。
 A : 重要ポイント 4. に示されているように, 原子数比は, $N_B/N_A = \lambda_A/(\lambda_B - \lambda_A) = T_B/(T_A - T_B)$ であるから, 原子数の総和 $N_A + N_B$ は, $N_A + N_B = N_A + \{T_B/(T_A - T_B)\} \times N_A = [1 + \{T_B/(T_A - T_B)\}] \times N_A$ となり, N_A の数に比例した値になる。
 B : 分離精製した ^{140}Ba からは新たに ^{140}La が生成されるが, 分離しなかった場合の ^{140}La の放射能の値を超えることはない。
 C : 放射能比 A_B/A_A は, $A_B/A_A = T_A/(T_A - T_B) > 1$ となり, 娘核種の放射能は親核種の放射能より大きくなる。すなわち, ^{140}La (A_B) の放射能は ^{140}Ba (A_A) の放射能より大きくなる。
 D : 原子数比 N_A/N_B は, $N_A/N_B = (T_A - T_B)/T_B = (T_A/T_B) - 1$ となるので, $N_A = N_B \{(T_A/T_B) - 1\} = \{(12.8/1.68) - 1\}$ になる。 **【解答】 5**

問題 3 2.26 mg の ^{226}Ra (半減期 1.60×10^3 年) と放射平衡にある ^{222}Rn (半減期 1.05×10^{-2} 年) のモル数に最も近い値は, 次のうちどれか。

- 1 2.2×10^{-3} 2 1.0×10^{-5} 3 1.8×10^{-8} 4 6.6×10^{-11}
 5 3.0×10^{-13}

解説 ^{226}Ra と放射平衡にある ^{222}Rn は, ウラン系列の核種であり, 永続平衡が成り立つ。永続平衡が成り立つと親核種と娘核種の放射能は等しい。重要ポイント 5. より, ^{226}Ra の原子数を N_{226} , 半減期を T_{226} , ^{222}Rn の原子数を N_{222} , 半減期を T_{222} とすると, $N_{222}/N_{226} = T_{222}/T_{226}$ が成り立つ。それゆえ, $N_{222} = (T_{222}/T_{226}) \times N_{226}$ になる。ここで, ^{226}Ra の原子数 N_{226} は, 重量が 2.26 mg であることから $\{(2.26 \times 10^{-3})/226\} \times 6.02 \times 10^{23}$ 個になる。この値を前式に入れると N_{222} の原子数 $(1.05 \times 10^{-2}/1.60 \times 10^3) \times \{(2.26 \times 10^{-3})/226\} \times 6.02 \times 10^{23}$ 個になる。この値をアボガドロ数で除するとモル数になることから ^{222}Rn のモル数は, $(1.05 \times 10^{-2}/1.60 \times 10^3) \times \{(2.26 \times 10^{-3})/226\} \approx 6.6 \times 10^{-11}$ となる。 **【解答】 4**

問題 4 分離精製した ^{132}Te の試料がある。次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

ただし、 $^{132}\text{Te} \xrightarrow[78\text{時間}]{\beta^-} ^{132}\text{I} \xrightarrow[2.28\text{時間}]{\beta^-} ^{132}\text{Xe}$ (安定) とする。

- A ^{132}I の放射能が最大に達する時、 ^{132}I の壊変速度と生成速度は等しい。
 B ^{132}Te , ^{132}I , ^{132}Xe の原子数の総和は一定である。
 C ^{132}Te と ^{132}I の間に放射平衡が成立すれば、 ^{132}I の放射能は半減期 2.28 時間で減衰する。
 D ^{132}Te と ^{132}I の間に放射平衡が成立すれば、全放射能は ^{132}Te の放射能の 2 倍より大きい。
- 1 ABC のみ 2 ABD のみ 3 ACD のみ 4 BCD のみ
 5 ABCD すべて

解説 親核種が ^{132}Te 、娘核種が ^{132}I であり、親核種の半減期が娘核種の半減期より長いことから過渡平衡が成り立つ。娘核種の放射能が最大になるのは、ポイント解説の娘核種の原子数 N_2 の時間 t による変化の式で、 $dN_2/dt = 0$ になるときである。この時間を $t_{\max}$ とすると、 $t_{\max} = 2.303/(\lambda_2 - \lambda_1) \times \log(\lambda_2/\lambda_1)$ になる。また、 $dN_2/dt = 0$ ということは、娘核種の放射能の式から生成放射能と壊変放射能の値が等しいときとなる。すなわち、娘核種の生成速度と壊変速度とが等しいときである。

また、放射平衡が成り立っているとき閉鎖系であるので、壊変により核種は変化するが、全核種の原子数の和は、いつも一定である。放射平衡が成り立っているときの娘核種の減衰は、親核種の半減期と同一である。もし、親核種と娘核種を分離するならば、その後の娘核種は、本来の娘核種の半減期で減衰する。過渡平衡での親核種と娘核種の放射能の比は $A_2/A_1 = \lambda_2/(\lambda_2 - \lambda_1) = T_1/(T_1 - T_2)$ から、親核種と娘核種の放射能の和は 2 倍にならない。2 倍になるのは、永続平衡が成り立つときである。

【解答】 2

問題 1 次の核反応のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A $^{24}\text{Mg} (d, \alpha) ^{22}\text{Na}$ B $^{24}\text{Mg} (\alpha, n) ^{27}\text{Al}$ C $^{14}\text{N} (n, p) ^{14}\text{C}$
 D $^{40}\text{Ca} (n, \alpha) ^{36}\text{Cl}$
- 1 A と B 2 A と C 3 A と D 4 B と C 5 B と D

解説 B : 誤, D : 誤。

d : ^2_1H の原子核, α : ^4_2He の原子核, n : ^1_0n , p : ^1_1p , ^{24}Mg ; $^{24}_{12}\text{Mg}$, ^{22}Na ; $^{22}_{11}\text{Na}$, ^{27}Al ; $^{27}_{13}\text{Al}$, ^{14}N ; $^{14}_7\text{N}$, ^{14}C ; $^{14}_6\text{C}$, ^{40}Ca ; $^{40}_{20}\text{Ca}$, ^{36}Cl ; $^{36}_{17}\text{Cl}$ であるから、反応前後の質量数の和と原子番号の和が等しいものが正解である。【解答】 2

問題 2 半減期 20 分の核種を製造する場合、20 分間照射した場合の生成放射能に対して 60 分間照射した場合の生成放射能は何倍となるか。次のうち、最も近い値はどれか。

- 1 1.25 2 1.50 3 1.75 4 2.25 5 3.00

解説 ポイント解説 3. を参照。半減期 T : 20 分の核種を t 分間照射したときの生成放射能 A_t は、 $A_t = N \times f \times \sigma \times \{1 - (1/2)^{t/20}\}$ となる。20 分間照射したときの生成放射能を A_{20} 、60 分間照射したときの生成放射能を A_{60} とすると、核定数の放射化断面積 σ 、照射条件の粒子束密度 f 、ターゲット核種の個数 N の値は、両照射条件では変わらないので、生成放射能の比は飽和係数の比と等しくなる。すなわち

$$\begin{aligned} A_{60}/A_{20} &= \{1 - (1/2)^{60/20}\} / \{1 - (1/2)^{20/20}\} = \{1 - (1/8)\} / \{1 - (1/2)\} \\ &= (7/8)/(1/2) = 1.75 \end{aligned}$$

である。

【解答】 3

問題 3 サイクロトロンで加速した重陽子による照射で、ある核種（半減期 30 分）を製造した。1 μA の重陽子ビームで 30 分照射したとき、照射直後でその核種の放射能が $1 \times 10^8 \text{ Bq}$ であった。重陽子ビームを 1.5 μA にあげ、1.5 時間照射した時に得られるこの核種の放射能 [Bq] に最も近い今のは次のうちどれか

- 1 1.5×10^8 2 2.0×10^8 3 2.6×10^8 4 3.4×10^8 5 4.5×10^8

解 説 ポイント解説 3.を参照。加速器による照射では、照射ビームを電流値 A で読む。それゆえ、照射粒子密度あるいはビーム流速 f は、電流値に比例し、電流値を照射粒子の電荷数で除した値になる。題意では電流値を変えているので、 f を変えていることになる。1 μA の照射した条件を添字で 1、1.5 μA の照射した条件を添字 1.5 で示すと次の関係式ができる。

$$A_{1.5} = N \times f_{1.5} \times \sigma \times \{1 - (1/2)^{90/30}\} \quad \dots \textcircled{1}$$

$$1 \times 10^8 = N \times f_1 \times \sigma \times \{1 - (1/2)^{30/30}\} \quad \dots \textcircled{2}$$

②式より

$$N \times \sigma = f_1^{-1} \times \{1 - (1/2)\}^{-1} \times 1 \times 10^8 \quad \dots \textcircled{3}$$

となり、これを①式に導入する。

$$\begin{aligned} A_{1.5} &= f_1^{-1} \times \{1 - (1/2)\}^{-1} \times 1 \times 10^8 \times f_{1.5} \times \{1 - (1/2)^3\} \\ &= 1.5 \times 2 \times (7/8) \times 10^8 = 2.625 \times 10^8 \text{ [Bq]} \end{aligned}$$

となる。

【解答】 3

問題 4 同一重量の次の材料を 1 時間熱中性子照射して放射化した。照射終了後 1 日経過した時点で放射能が最も強い材料はどれか。なお、不純物の寄与は考慮しないものとする。

- 1 ソーダガラス 2 鉄 3 ポリエチレン 4 アルミニウム
5 石英

解 説 ポイント解説 5.を参照のこと。原子炉による中性子照射では、主に熱中性子の照射であることから (n, γ) 反応で生成する核種が生成する。そのため、元素を構成する安定核種の原子番号 1 番上の核種がどのような放射性核種であるかを覚えておく必要がある。しかし、数多くあるので原子炉周辺材料ならびに放射化分析に使用する照射容器などの材料に起因する主な放射性核種の半減期を覚えておくといよい。また、軽元素の H, C, N, O, Si および重金属の Pb はあまり放射化しない（同位体存在度が小さいか放射化断面積が非常に小さい）。 ^{24}Na : 15h, ^{27}Al : 2.3m, ^{31}Si : 2.6h, ^{32}P : 14d (β^- 線のみ) ^{37}Cl : 37m, ^{59}Fe : 45d, ^{60}Co : 5y である。

なお、生成放射能はポイント解説にあるように、同位体存在度、半減期、放射化断面積、照射時間によって決まる。半減期の短い核種は、すぐに飽和係数が 1 になる。半減期の長い核種は、長時間照射で飽和に達する。

1:ソーダガラスの主に Na に着目する。 ^{24}Na は 1 日経ても残留している。
2:鉄はあまり放射化しない。 ^{56}Mn (T : 2.6h) が副反応で生成するが、1 日経ると減衰する。
3:ポリエチレンは、C と H で構成されているので、放射化しない。
4:アルミニウムは ^{27}Al を生成するが、1 日経ると減衰する。
5:石英は Si と O であるが、 ^{31}Si は 1 日経ると減衰する。

【解答】 1

問題 1 有機標識化合物の保管方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 ^3H で標識された化合物の水溶液については冷凍庫で徐々に凍結させる。
- B 水溶液の場合、ラジカスキャベンジャーとしてベンゼンを加える。
- C 比放射能はできるだけ高くする。
- D 強い γ 線放出体の近くに置かない。

- 1 ACD のみ 2 AB のみ 3 BC のみ 4 D のみ
- 5 ABCD すべて

解説 A : 誤, B : 誤, C : 誤,

ポイント解説 4. を参照。A : ^3H 化合物の水溶液は、凍結させないで $2 \sim 3^\circ\text{C}$ で保存する。B : ベンゼンやエタノールなどのラジカスキャベンジャーを添加して分解を抑制するが、ベンゼンは水溶液に入れると分離して不適である。C : 放射線分解を抑えるには放射能濃度を低くする。 【解答】 4

問題 2 ^{14}C 年代測定に関連する次の記述のうち、正しいものはどれか。

- 1 ^{14}C は主として宇宙線による ^{40}Ar の核破砕反応で生成する。
- 2 現在の空気中の二酸化炭素に含まれる ^{14}C の放射能は、40 年前のものより高い。
- 3 加速器質量分析では ^{14}C の壊変による β^- 線の運動エネルギーを測定する。
- 4 炭素を含む考古遺物が埋蔵されてからの年代が求められる。
- 5 天然繊維と比較すると、石油を原料とする合成繊維中の ^{14}C の比放射能は極めて低い。

解説 1 : 誤, 2 : 誤, 3 : 誤, 4 : 誤,

ポイント解説 5. を参照。1 : ^{14}C は ^{14}N (n, p) で生成する。2 : 産業革命以降、多量の石油や石炭の消費により大気中の二酸化炭素の ^{14}C の割合は希釈され少なくなっている。3 : ^{14}C の原子数を測定する。4 : 植物の炭酸同化作用 (光合成) によって植物体に取り込まれたのが、停止してからの放射能を測定する。動物は植物を食物として取り込んでいるので、この取込みからの放射能である。5 : 石油や石炭ができたときからは、現在では ^{14}C はほとんどなくなっている。 【解答】 5

問題 3 標識化合物の合成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 核反応で生成するホットアトムを利用する反跳標識法は、複雑な化合物の標識に適している。
- B 標識したい化合物と $^3\text{H}_2\text{O}$ を密閉容器中に放置して反応させる方法をウィルツバッハ法という。
- C 微生物などを用いる生合成法には光学活性体が容易に得られる利点がある。
- D $[^{11}\text{C}]$ 標識化合物の化学合成の出発物質としては、通常 $\text{Ba}^{11}\text{CO}_3$ が用いられる。

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

解説 B : 誤, D : 誤。ポイント解説 2. を参照。

B : ウィルツバッハ法は、トリチウムガス $^3\text{H}_2$ の接触法である。D : サイクロトロンにより生成された ^{11}C は $^{11}\text{CO}_2$ とされ、化学合成の出発物質となる。 【解答】 2

問題 4 次の記述のうち、ホットアトム効果による現象として正しいものの組合せはどれか。

- A 安息香酸と炭酸リチウムを混合し、熱中性子照射したところ、安息香酸がトリチウムで標識された。
 B Fe^{2+} を含む水溶液に ^{60}Co の γ 線を照射したところ、 Fe^{3+} が生成した。
 C $^{80\text{m}}\text{Br}$ で標識した有機化合物から、 $^{80}\text{Br}^-$ が分離された。
 D ヨウ化エチルを熱中性子照射し、分液漏斗で水と振ると、水相に ^{128}I が抽出された。
- 1 ACD のみ 2 AB のみ 3 BC のみ 4 D のみ
 5 ABCD すべて

解 説

B : 誤。ポイント解説 3.および 2-10 節のポイント解説 3.を参照。

A : ^6Li (n, α) 反応で ^3H が生成し、反跳エネルギーで安息香酸に入る。

B : 水の放射線分解によって生じたラジカルで Fe^{2+} が Fe^{3+} になる。D : ジラード・チャルマー法の代表例で、ヨウ化エチルを有機溶媒に溶かし、水と一緒に中性子照射すると、ヨウ素 (^{128}I) とエチルとの化学結合が切れて ^{128}I が水相に移行する。

【解答】 1

問題 2 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 銅の単体に ^{35}S で標識した濃硫酸を加えて加熱する。
 B ^{45}Ca で標識した炭酸カルシウムを加熱する。
 C 熱中性子照射した硝酸ウラニルを希硝酸に溶かす。
 D ^{76}As で標識したヒ酸ナトリウム水溶液に塩化マグネシウムのアンモニア性水溶液を加える。
- 1 A と B 2 A と C 3 B と C 4 B と D 5 C と D

解 説

B : 誤, D : 誤。重要ポイントの 3.と 6.を参照。

A : $\text{Cu} + 2\text{H}_2^{35}\text{SO}_4$ (濃硫酸) $\Rightarrow \text{Cu}^{35}\text{SO}_4 + ^{35}\text{SO}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$

B : $^{45}\text{CaCO}_3 \Rightarrow$ (熱) $^{45}\text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$ (非放射性)

C : 硝酸ウラニル中の ^{235}U が熱中性子により核分裂する。核分裂生成物の中には、クリプトン (Kr), キセノン (Xe) やヨウ素 (I) などの気体の放射性核種がある。

D : $\text{Na}^{76}\text{AsO}_3 + \text{MgCl}_2 \Rightarrow$ 変化なし。

【解答】 2

問題 3 次の操作のうち、放射性気体を発生する組合せはどれか。

- A $^{140}\text{BaCO}_3$ に硫酸を加えて加熱する。
 B $\text{CH}_3\text{C}^{35}\text{SNH}_2$ の水溶液を塩酸酸性にして加熱する。
 C $\text{K}^{125}\text{IO}_3$ 水溶液にヨウ化カリウムを加え、直ちに過剰のチオ硫酸ナトリウムを加える。
 D Na^{82}Br 水溶液に硫酸を加えて加熱する。
- 1 A と B 2 A と C 3 B と C 4 B と D 5 C と D

解 説

重要ポイントの 3.と 5.を参照。

A : $^{140}\text{BaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \Rightarrow$ (加熱) $^{140}\text{BaSO}_4 \downarrow + \text{CO}_2 \uparrow$

B : $\text{CH}_3\text{C}^{35}\text{SNH}_2$ (チオアセトアミド) $+ 2\text{H}_2\text{O} \Rightarrow$ (加熱) $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{NH}_4^+ + \text{H}_2^{35}\text{S} \uparrow$ (硫化物の沈殿をつくるときにチオアセトアミドが使われる)

C : $^{125}\text{IO}_3^-$ (ヨウ素酸イオン) $+ 5\text{I}^-$ (ヨウ化物イオン) $+ 6\text{H}^+ \Rightarrow 3^{125}\text{I}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ (ヨウ素の遊離) $^{125}\text{I}_2 + 2\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \Rightarrow 2\text{Na}^{125}\text{I} + \text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$ (四チオン酸ナトリウム) (直ちにチオ硫酸ナトリウムを入れるので、ヨウ素の発生はない) $^{125}\text{I}_2$ には放射性の I と非放射性の I とからなっている。

D : $2\text{Na}^{82}\text{Br} + \text{H}_2\text{SO}_4 \Rightarrow$ (加熱) $\text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}^{82}\text{Br} \uparrow$

【解答】 4

問題 1 担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 放射性核種の担体として、他の元素を用いることもある。
- B 担体には、放射性核種の製造時から存在するものと、使用あるいは保管する際に加えられるものがある。
- C 水溶液から水酸化鉄（Ⅲ）の沈殿と共に $^{90}\text{Sr}^{2+}$ が共沈するのを防ぐために Sr^{2+} の担体を加える場合、 Sr^{2+} をスカベンジャーという。
- D 水溶液から水酸化鉄（Ⅲ）の沈殿と共に多数の放射性核種を共沈させて除去する場合、水酸化鉄（Ⅲ）を保持担体という。

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

解 説

C：誤、D：誤。重要ポイントの2.、3.と4.を参照。

A：化学的挙動が類似したものを用いる。ベストは同位体がよい。

C：溶液に残すための担体は保持担体である。

D：共沈させて捕集するための担体はスカベンジャーである。【解答】1

問題 2 強塩基性陰イオン交換樹脂を用いて塩酸で RI 分離を行う場合に、主成分が溶離され無担体 RI が樹脂に保持される組合せは、次のうちどれか。

- A 銅の陽子照射で生じる ^{65}Zn の分離
- B ニッケルの中性子照射で生成する ^{56}Co の分離
- C 亜鉛の中性子照射で生成する ^{64}Cu の分離
- D 鉄の陽子照射で生成する ^{56}Co の分離（鉄は+3価になっている）

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

解 説

C：誤、D：誤。ポイント解説3.を参照。

Zn^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 、 Co^{2+} は塩酸濃度により陰イオンであるクロロ錯イオンになる。これらのイオンの陰イオン交換樹脂への保持力は、 $\text{Zn}^{2+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Co}^{2+}$ の順である。また、無担体の RI を得るためには、ターゲット元素と生成核種の元素が異なる必要がある。主成分元素の保持力が弱いほうが先に溶離する。

【解答】1

問題 3 ある水-有機溶媒抽出系での Br_2 の分配比は 40 である。50MBq の $^{82}\text{Br}_2$ を含む水相を同容量の有機で抽出したとき、水相に残る $^{82}\text{Br}_2$ の放射能 [MBq] に最も近い値は、次のうちどれか。

1 0.61 2 0.94 3 1.2 4 1.8 5 2.4

解 説

ポイント解説2.を参照。

抽出率 E は、 $E = C_o V_o / (C_o V_o + C_w V_w) \times 100 = 100 D / (D + V_w / V_o) [\%]$ であり、有機相の体積と水相の体積が等しいならば、抽出率 E は、 $E = 100 D / (D + 1) [\%]$ となる。 $D = 40$ であることから、 $E = \{40 / (40 + 1)\} \times 100 [\%]$ となり、水相にあった $50 \times \{40 / (40 + 1)\} \text{MBq}$ の $^{82}\text{Br}_2$ が有機相に抽出された。それゆえ、水相に残った $^{82}\text{Br}_2$ の放射能は、 $50 \times \{1 - 40 / (40 + 1)\} \approx 1.22 \text{MBq}$ となる。

【解答】3

問題 1 ある装置中の金属水銀（非放射性）の重量を同位体希釈法で求めた。比放射能が $1.2 \times 10^3 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$ の ^{197}Hg 金属水銀 30 g を装置中の金属水銀に加え、じゅうぶん攪拌して均一にしたのち一部を採取し、比放射能を求めたところ $2.4 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$ であった。次の値のうち、装置中の金属水銀の重量 [g] に最も近いものはどれか。

- 1 96 2 4.9×10^2 3 2.8×10^3 4 1.5×10^4 5 8.6×10^4

解説 ポイント解説 1.a) を参照。本法は直接同位体希釈分析法である。添加する放射能と添加後の装置内にある全放射能は等しい。比放射能は、水銀重量当たりの放射能である。装置中の金属水銀の量を X [g] とすると、 $1.2 \times 10^3 \times 30 = 2.4 \times (X + 30)$ となり、 $X = 1.5 \times 10^4 - 30 = 1.5 \times 10^4$ [g] となる。
【解答】 4

問題 2 放射性同位体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 非破壊中性子放射化分析では、生成核種の β 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、放射性同位体を試薬、指示薬として用いる。
C メスバウアー分光法では、 γ 線の共鳴吸収を利用して、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

解説 A：誤、D：誤。
A：中性子放射化分析は、放射化した核種からの γ 線を測定し、そのエネルギーと強度から核種の種類と量を求める。多元素同時分析は、複数のエネルギーを同時に測定する。
B：放射分析では、化学分析の滴定に使う指示薬のように放射能を検出のため利用する。
C：無反跳核 γ 線共鳴現象のことで、発見者の名前を取ってその効果が命名されている。励起状態から基底状態に遷移する原子核を線源として、同種の核を吸収体として共鳴吸収させる。核種の化学状態によりその吸収スペクトルは異なる。
D：純粋な一部を分離できればよく、定量的な分離は必要ない。【解答】 3

問題 3 ある混合物試料の 1 成分を、同位体希釈法（直接法）で定量した。試料に放射性同位体で標識したこの成分物質 25 mg （比放射能 $490 \text{ dpm} \cdot \text{mg}^{-1}$ ）を加えて、完全に混合したのち、一部を純粋に分離したところ、その比放射能が $70 \text{ dpm} \cdot \text{mg}^{-1}$ となった。試料中のこの成分物質の量 [mg] として正しい値は、次のうちどれか。

- 1 75 2 100 3 125 4 150 5 250

解説 ポイント解説 1.a) を参照。
添加前の放射能と添加後完全に混合したときの放射能は等しい。一部の純粋に分離した試料には、着目する成分しか存在していないので、分離した試料の比放射能に分析する成分と添加した成分物質の重量の和を掛けた値は、添加前の全放射能に等しくなる。すなわち、着目成分の量を X [mg] とすると

$$70 \times (X + 25) = 25 \times 490$$

となり、 $X = 150 \text{ mg}$ となる。

【解答】 4

問題 1 フリッケ線量計を ^{60}Co の γ 線で 1 時間照射したところ、 Fe^{3+} が溶液 1g 当たり $5.6 \times 10^{-5} \text{ g}$ 生じた。 γ 線の線量率 $[\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}]$ は、次のうちどれか。ただし、 Fe の原子量を 56、 Fe^{3+} 生成の G 値を 16、アボガドロ定数を $6.0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 、 1 eV を $1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ とする。

- 1 6 2 36 3 100 4 600 5 9600

解説 重要ポイントの 2., 5. と 6. を参照。

吸収エネルギー 100 eV 当たり、分解あるいは生成する原子あるいは分子の数が G 値であることから、吸収エネルギーを $E [\text{eV}]$ 吸収したとき生成する原子あるいは原子の数を N とすると、 $E = (100/G) \times N [\text{eV}]$ の関係が成り立つ。また、 γ 線照射により生成した Fe^{3+} の原子数 N は、 $N = \{(5.6 \times 10^{-5}) / 56\} \times 6.0 \times 10^{23}$ となり、この個数を前式に導入する。

一方、 1 Gy は、物質 1 kg に 1 J (ジュール) のエネルギーを与える放射線量の値であることから、吸収したエネルギー $E [\text{eV}]$ の単位を J (ジュール) に変換する。すなわち、 $E \times 1.6 \times 10^{-19} [\text{J}]$ となる。さらに、物質 1 kg 当たりのエネルギーが Gy の線量単位なので、この値に 10^3 倍する。線量率は、1 時間当たりなので、算出された線量が線量率 $[\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}]$ となる。

$$\text{線量率} [\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}] = (100/16) \times \{(5.6 \times 10^{-5}) / 56\} \times 6.0 \times 10^{23} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 10^3 = 600 \quad \text{【解答】 4}$$

問題 2 次のうち、水の放射線分解で生成する活性化学種として正しいものの組合せはどれか。

- A 水和電子 B OH^- イオン C H_3O^+ イオン D OH ラジカル
E H_2O_2
1 ABC のみ 2 ABE のみ 3 ADE のみ 4 BCD のみ
5 CDE のみ

解説 B : 誤, C : 誤。

ポイント解説 2. の表 2.6 を参照。 OH^- イオンや H_3O^+ イオンは水の解離で生成している。放射線分解では生成しない。 【解答】 3

問題 4 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 放射線の作用で気体分子がイオン化されるとき W 値は、その気体のイオン化エネルギーに等しい。
B 5 MeV の α 粒子の水中の LET は、 10 MeV の α 粒子のそれに比べて大きい。
C フリッケ線量計は、放射線照射による Fe^{2+} の酸化を利用した化学線量計で、 $50 \sim 400 \text{ Gy}$ 程度の線量の測定に適している。
D G 値は、吸収エネルギー $1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ 当たり分解した分子数を示す。
1 A と B 2 A と C 3 B と C 4 B と D 5 C と D

解説 A : 誤, D : 誤。重要ポイントの 2., 4. と 5. を参照。

A : 気体分子の W 値はその気体のイオン化エネルギーより大きい。

B : LET は線エネルギー付与の略称で、放射線が物質を通過した飛跡当たりのエネルギー損失の割合で、荷電粒子における阻止能と同じ意味で、この値は、荷電粒子の荷電数の 2 乗に比例し、粒子の速度の 2 乗に逆比例する。それゆえ、同一粒子の α 線では、エネルギーが小さいほうが LET の値は大きい。

【解答】 3