

平成27年度 放射線取扱主任者試験

正 誤 表

試験日 試験区分	平成27年8月19日(水)
	1時限目(10:00~11:45)
	第1種
課 目	物化生
板書事項	<p>5ページ 問2 III</p> <p>問題文 10行目</p> <p>(誤) . . . 電子の静止<u>質量</u>を . . .</p> <p>(正) . . . 電子の静止<u>エネルギー</u>を . . .</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（16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入れてください。
- 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、所定の欄以外の余白には、何も記入しないでください。
- ② 筆記用具は、鉛筆又はシャープペンシル（HB又はB）を使用してください。また、記入を訂正する場合は、消しゴムできれいに消してください。
- ③ 解答用紙の所定の欄に氏名・受験地・受験番号を忘れずに記入してください。特に、受験番号は受験票と照合して間違えないよう記入してください。
- ④ 解答は、所定の欄に1つだけ選択（マーク）してください。2つ以上選択している場合は、採点されません。

問1 次のⅠ、Ⅱの文章の□の部分に入る最も適切な語句、記号、数値又は数式を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

Ⅰ 原子番号 z 、電荷 ze の高速荷電粒子が物質中を進むとき、物質中の電子は荷電粒子による□**A**を受ける。このとき電子の運動量の変化 Δp は、□**A**を f 、それを受ける時間を dt とすると $\Delta p = \square{\text{ア}}$ で与えられる。 f は荷電粒子の電荷 ze と電子の電荷 e の積に□**B**し、 f を受ける時間は荷電粒子の速度 v に□**C**すること、また電子の質量を m とすると運動量 p とエネルギー E の間には□**イ**の関係があることから、電子の受けるエネルギーは□**ウ**に比例する。

このように入射荷電粒子は物質中の電子にエネルギーを与え、励起や□**D**を起こす。また入射荷電粒子が電子の場合、物質中の原子核近傍の電場の影響で大きく軌道が変化することにより□**E**を起こし、これによってもエネルギーを失う。荷電粒子が物質の単位長さあたりに失うエネルギー

$\left(-\frac{dE}{dx}\right)$ は阻止能と呼ばれ、前者によるものを□**F**阻止能、後者によるものを□**G**阻止能と呼ぶ。

□**F**阻止能は物質の原子番号を Z 、原子密度を n とすると、 nZ と□**ウ**の積に比例する。また□**F**阻止能を物質の密度 ρ で割った量は質量□**F**阻止能と呼ばれ、物質の質量数を A 、アボガドロ数を N_A とすると、 $nZ = \rho N_A \times \square{\text{エ}}$ より、□**エ**と□**ウ**の積に比例する。

<A~Gの解答群>

- | | | | |
|------------|---------|---------|------------|
| 1 ローレンツ力 | 2 クーロン力 | 3 コリオリ力 | 4 遠心力 |
| 5 核力 | 6 比例 | 7 反比例 | 8 指数関数的に増加 |
| 9 指数関数的に減少 | 10 衝突 | 11 放射 | 12 電離 |
| 13 電子平衡 | 14 制動放射 | 15 放射平衡 | |

<ア~エの解答群>

- | | | | | |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|
| 1 $\int f dt$ | 2 $\frac{df}{dt}$ | 3 $\frac{d^2 f}{dt^2}$ | 4 $E = \frac{p}{m}$ | 5 $E = \frac{p}{2m}$ |
| 6 $E = \frac{p^2}{m}$ | 7 $E = \frac{p^2}{2m}$ | 8 $\frac{ze^4}{v}$ | 9 $\frac{ve^4}{z}$ | 10 vze^4 |
| 11 $v^2 z^2 e^4$ | 12 $\frac{v^2 e^4}{z^2}$ | 13 $\frac{z^2 e^4}{v^2}$ | 14 $\frac{Z}{A}$ | 15 $\frac{A}{Z}$ |

II エネルギー T [MeV] の電子について $\boxed{\text{G}}$ 阻止能 (S_A) の $\boxed{\text{F}}$ 阻止能 (S_B) に対する比 $\left(\frac{S_A}{S_B}\right)$ は、

おおよそ $\boxed{\text{オ}}$ で表される。このことから電子加速器を用いて X 線を発生させるには、原子番号の $\boxed{\text{H}}$ 物質がターゲットとして用いられる。また電子の遮蔽厚を見積もる場合、その単位として $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ を用いるとき、おおよそ $\boxed{\text{I}}$ T と考えてよい。

一方、陽子の質量は電子のそれより約 $\boxed{\text{J}}$ 倍ほど大きく、物質中をほぼ直進する。その飛程 R は、次の式により与えられる。

$$R = \boxed{\text{カ}}$$

質量 M の入射粒子のエネルギーが E のとき、阻止能は $\boxed{\text{キ}}$ に比例することから、 R は $\boxed{\text{ク}}$ に比例する。したがって陽子の飛程を R_p とすると、同じ速度を持つ α 粒子の飛程は $\boxed{\text{ケ}}$ とほぼ等しい。

<オ、カの解答群>

- | | | | | |
|--------------------|--------------------------------------|---|--------------------|-------------------|
| 1 $\frac{TZ}{800}$ | 2 $\frac{T}{800Z}$ | 3 $\frac{Z}{800T}$ | 4 $\frac{800}{TZ}$ | 5 $\frac{dE}{dx}$ |
| 6 $\frac{dx}{dE}$ | 7 $\int\left(\frac{dE}{dx}\right)dE$ | 8 $\int\left(\frac{dE}{dx}\right)^{-1}dE$ | | |

<H~Jの解答群>

- | | | | | |
|--------|----------|----------|-----------|--------|
| 1 低い | 2 高い | 3 0.1 | 4 0.5 | 5 1 |
| 6 2 | 7 3 | 8 5 | 9 10 | 10 511 |
| 11 800 | 12 1,800 | 13 5,000 | 14 10,000 | |

<キの解答群>

- | | | | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| 1 $\frac{zM}{E}$ | 2 $\frac{z^2M}{E}$ | 3 $\frac{zE}{M}$ | 4 $\frac{z^2E}{M}$ | 5 $\frac{M}{zE}$ |
| 6 $\frac{M}{z^2E}$ | 7 $\frac{E}{zM}$ | 8 $\frac{E}{z^2M}$ | | |

<ク、ケの解答群>

- | | | | | |
|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|---------|
| 1 $\frac{Mv^4}{z^2}$ | 2 $\frac{z^2v^4}{M}$ | 3 $\frac{M^2v^4}{z^4}$ | 4 $\frac{z^4v^4}{M^2}$ | 5 R_p |
| 6 $\frac{R_p}{2}$ | 7 $\frac{R_p}{4}$ | 8 $2R_p$ | 9 $4R_p$ | |

問2 次のⅠ～Ⅲの文章の□の部分に入る最も適切な語句、記号、数値又は数式を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

Ⅰ 原子番号 Z 、質量数 A の原子核を構成する核子の質量の総和 M_s は、陽子の質量を m_p 、中性子の質量を m_n とすると、

$$M_s = \square A m_p + \square B m_n \quad \dots \dots \dots (1)$$

と表される。実際の原子核の質量 M_0 はこの値よりわずかに小さく、その差 $\Delta M (= M_s - M_0)$ は□ C と呼ばれる。これをエネルギーに換算したものを原子核の結合エネルギー E_B という。例えば、 ${}^4\text{He}$ 原子核の結合エネルギーを求めると、□ ア MeV となる。ただし、陽子、中性子、電子、並びに ${}^4\text{He}$ 原子の質量を原子質量単位で表し、それぞれ 1.007276 u、1.008665 u、0.000549 u、4.002603 u とした。

結合エネルギー E_B を核子数で割った核子あたりの平均結合エネルギー B は、核子が原子核とどのくらい強く結びつけられているかを表す。 B を質量数 A の関数としてプロットすると、 A の小さいところでは、 A の増加とともに B は急激に増大し、 A が□ D 付近で最大 (約 □ E MeV) となり、 A がさらに大きくなると徐々に小さくなる。

<A、Bの解答群>

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

<Cの解答群>

- | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 質量超過 | 2 質量過多 | 3 減少質量 | 4 超過質量 | 5 質量欠損 |
| 6 余剰質量 | 7 原子量 | 8 分子量 | 9 質量数 | |

<アの解答群>

- | | | | | |
|------|------|------|------|------|
| 1 16 | 2 18 | 3 20 | 4 22 | 5 24 |
| 6 26 | 7 28 | 8 30 | | |

<Dの解答群>

- | | | | | |
|-----|------|------|------|------|
| 1 4 | 2 20 | 3 40 | 4 60 | 5 80 |
|-----|------|------|------|------|

<Eの解答群>

- | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1 7.4 | 2 8.2 | 3 8.8 | 4 9.4 | 5 10.0 |
| 6 100 | | | | |

II 平均結合エネルギーの傾向から、軽い原子核同士が結合して質量数の大きいより安定な原子核が生成され、 ΔM に相当するエネルギーが放出される反応が起こりうる。これを **F** 反応といい、例えば、以下の反応



では、 ΔM に相当する 4.0 MeV のエネルギーが放出される。これより、重水素核 ${}^2\text{H}$ の結合エネルギーを 2.2 MeV とし、三重水素核 ${}^3\text{H}$ の核子当たりの平均結合エネルギーを求めると、**イ** MeV となる。同様に、



の反応では、余分なエネルギーとして **ウ** MeV が放出される。

<Fの解答群>

- | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|------|
| 1 核破碎 | 2 核分裂 | 3 核合成 | 4 核融合 | 5 衝突 |
| 6 光核 | 7 捕獲 | | | |

<G、Hの解答群>

- | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| 1 n | 2 ${}^1\text{H}$ | 3 ${}^2\text{H}$ | 4 ${}^3\text{H}$ | 5 ${}^3\text{He}$ |
| 6 ${}^4\text{He}$ | 7 ${}^6\text{Li}$ | 8 ${}^7\text{Li}$ | | |

<イの解答群>

- | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 2.2 | 2 2.4 | 3 2.8 | 4 3.2 | 5 3.6 |
| 6 4.0 | 7 4.4 | | | |

<ウの解答群>

- | | | | | |
|------|------|------|------|------|
| 1 10 | 2 12 | 3 14 | 4 16 | 5 18 |
| 6 20 | 7 22 | | | |

Ⅲ 物質中に入射した光子は、光子エネルギーが高い場合に起こる光核反応を除くと、主として $\boxed{\text{I}}$ 、 $\boxed{\text{J}}$ 、 $\boxed{\text{K}}$ の 3 つの過程により減弱する。ここで、 $\boxed{\text{I}}$ の原子断面積 σ_a は、物質の原子番号 Z と光子エネルギー E_γ に依存し、おおよそ $\sigma_a \propto \boxed{\text{L}} \cdot E_\gamma^{-3.5}$ である。 $\boxed{\text{I}}$ はエネルギーの低い光子が原子番号の大きい物質に入射したときに寄与が大きい。一方、 $\boxed{\text{J}}$ は電子との散乱過程であるので、その原子断面積 σ_b は 1 原子あたりの電子数に比例する。また、 $\boxed{\text{K}}$ は光子エネルギーに対してしきい値を持ち、その原子断面積 σ_c は $\boxed{\text{M}}$ に比例し、エネルギーが高くなるほど大きくなる。

光子による物質へのエネルギー伝達を扱う場合に便利な量がエネルギー転移係数である。特性 X 線として放射される平均エネルギーを δ 、 $\boxed{\text{J}}$ において放出される二次電子の平均エネルギーを \bar{E} 、電子の静止質量を m_0c^2 とすると、線エネルギー転移係数 μ は、先に述べた 3 つの過程の断面積を用いて、

$$\mu = \{ \boxed{\text{N}} \sigma_a + \boxed{\text{O}} \sigma_b + \boxed{\text{P}} \sigma_c \} N$$

と表すことができる。ここで、 N は物質の単位体積あたりの原子数である。

< I ~ K の解答群 >

- | | | |
|------------|------------|-----------|
| 1 ラザフォード散乱 | 2 レイリー散乱 | 3 トムソン散乱 |
| 4 光電効果 | 5 チェレンコフ効果 | 6 コンプトン効果 |
| 7 オーージェ効果 | 8 弾性散乱 | 9 電離 |
| 10 励起 | 11 電子対生成 | 12 イオン対生成 |

< L、M の解答群 >

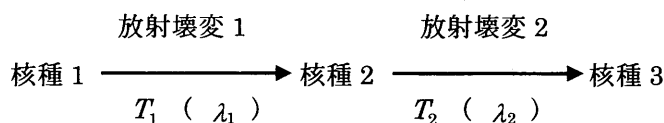
- | | | | | |
|------------|------------|----------------------|---------------------|----------|
| 1 Z^{-2} | 2 Z^{-1} | 3 $Z^{-\frac{1}{2}}$ | 4 $Z^{\frac{1}{2}}$ | 5 Z |
| 6 Z^2 | 7 Z^3 | 8 Z^5 | 9 Z^7 | 10 Z^9 |

< N ~ P の解答群 >

- | | | | |
|---|---|--|---|
| 1 $\frac{\bar{E}}{E_\gamma}$ | 2 $\frac{\delta}{E_\gamma}$ | 3 $\frac{m_0c^2}{E_\gamma}$ | 4 $\left(1 - \frac{\bar{E}}{E_\gamma}\right)$ |
| 5 $\left(1 - \frac{\delta}{E_\gamma}\right)$ | 6 $\left(1 - \frac{2\delta}{E_\gamma}\right)$ | 7 $\left(1 - \frac{m_0c^2}{E_\gamma}\right)$ | 8 $\left(1 - \frac{2m_0c^2}{E_\gamma}\right)$ |
| 9 $\left(1 - \frac{\bar{E}}{E_\gamma} - \frac{m_0c^2}{E_\gamma}\right)$ | 10 $\left(1 - \frac{\delta}{E_\gamma} - \frac{m_0c^2}{E_\gamma}\right)$ | | |

問3 次の放射平衡に関する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 半減期 T_1 (壊変定数 λ_1) の放射性核種1が放射壊変して生成する核種2が放射性で、さらに半減期 T_2 (壊変定数 λ_2) で壊変して核種3となるときの、



核種1から核種2を分離除去してからの時間 t により、核種1の原子数 N_1 と核種2の原子数 N_2 は、それぞれ以下のように変化する。

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \boxed{A} - \lambda_2 N_2 \quad \dots \dots \dots (2)$$

分離時 $t=0$ において $N_1 = N_1^0$ 、 $N_2 = 0$ とすると、その後の各原子数は、

$$N_1 = N_1^0 \exp(-\lambda_1 t) \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$N_2 = \boxed{B} N_1^0 \{ \exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t) \} \quad \dots \dots \dots (4)$$

となり、それぞれの放射能 A_1 と A_2 は、 $\lambda_1 N_1^0 = A_1^0$ として

$$A_1 = A_1^0 \exp(-\boxed{C}) \quad \dots \dots \dots (5)$$

$$A_2 = \boxed{D} A_1^0 \{ \exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t) \} \quad \dots \dots \dots (6)$$

と示される。

核種2と核種1の放射能の比 A_2/A_1 は、 λ_1 と λ_2 により

$$\begin{aligned} A_2/A_1 &= \boxed{E} \frac{\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t)}{\exp(-\lambda_1 t)} \\ &= \boxed{E} \{ 1 - \exp(\lambda_1 t - \lambda_2 t) \} \quad \dots \dots \dots (7) \end{aligned}$$

と表される。

<A～Eの解答群>

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

II Iにおいて $T_1 > T_2$ (すなわち $\lambda_1 < \lambda_2$) の場合には、十分に時間が経過すると (おおよそ $t > 10T_2$)、核種 2 と核種 1 の放射能の比は

$$\frac{A_2}{A_1} \doteq \frac{\boxed{F}}{\lambda_2 - \lambda_1} \dots\dots\dots (8)$$

のように一定となる。このような放射平衡状態を過渡平衡という。

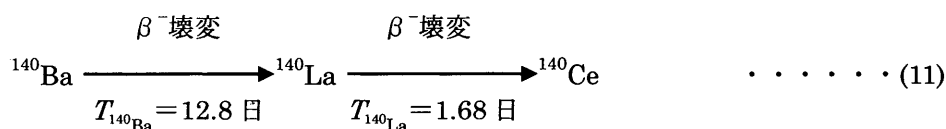
途中、核種 2 の放射能 A_2 が最大となる時間 t_{\max} は、(6)式で $\frac{dA_2}{dt} = 0$ から

$$t_{\max} = \frac{\boxed{G}}{\lambda_2 - \lambda_1} \ln \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \dots\dots\dots (9)$$

$$= \frac{\boxed{H}}{(\ln 2)(T_1 - T_2)} \ln \frac{T_1}{T_2} \dots\dots\dots (10)$$

であり、そのとき、(2)式における $\frac{dN_2}{dt} = 0$ から、核種 2 の放射能 $A_2 (= \lambda_2 N_2)$ は核種 1 の放射能 $A_1 (= \lambda_1 N_1)$ と比較して、 $\boxed{ア}$ である。

過渡平衡の一例として、 ^{140}Ba の壊変系列を見てみる。



^{140}Ba 中に生じている ^{140}La を分離除去した後、純粋な ^{140}Ba を保存すると、半減期 12.8 日で ^{140}Ba が β^- 壊変し、次第に ^{140}La の量 (放射能) が増加する。その結果、 \boxed{I} 日後に ^{140}La の放射能が最大となる (ただし $\ln 7.6 = 2.03$)。その後、 ^{140}La の放射能は、親核種 ^{140}Ba の放射能を $\boxed{イ}$ 、次第に半減期 \boxed{J} 日で減衰するようになる。

生成する ^{140}La を無担体で分離するには、 ^{140}Ba と ^{140}La を含む溶液に、 \boxed{K} 及び Fe^{3+} を加え、アンモニアアルカリ性にする事によって Fe^{3+} を \boxed{L} として沈殿させる。水溶液中で生成した ^{140}La は \boxed{M} 価であり、 Fe^{3+} と共沈する。沈殿をろ別したのち、塩酸に溶かし、ジイソプロピルエーテルを用いた溶媒抽出により Fe^{3+} を除くと ^{140}La が得られる。この場合、 \boxed{K} は保持担体であり、 Fe^{3+} は ^{140}La を無担体で取り出すための非同位体担体である。

<F~Hの解答群>

- | | | | |
|---|-----------------|-------------------------------------|---|
| 1 λ_1 | 2 λ_2 | 3 T_1 | 4 T_2 |
| 5 $\lambda_1 t$ | 6 $\lambda_2 t$ | 7 $\frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1}$ | 8 $\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$ |
| 9 $\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$ | 10 1 | 11 $\ln 2$ | 12 $T_1 T_2$ |

<アの解答群>

- | | | |
|---------------|---------------|---------------|
| 1 $A_2 > A_1$ | 2 $A_2 = A_1$ | 3 $A_2 < A_1$ |
|---------------|---------------|---------------|

< I, J の解答群 >

1 1.7 2 2.7 3 5.7 4 12.8 5 25.6

< I の解答群 >

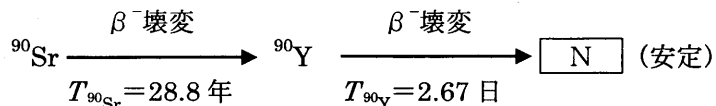
1 常に上回り 2 常に下回り
3 始めは上回るがやがて下回り 4 始めは下回るがやがて上回り

< K~M の解答群 >

1	¹⁴⁰ Ba	2	¹⁴⁰ La	3	¹⁴⁰ Ce	4	Ba ²⁺	5	La ³⁺
6	Fe ³⁺	7	Fe(OH) ₂	8	Fe(OH) ₃	9	La(OH) ₃	10	-3
11	-2	12	-1	13	+1	14	+2	15	+3

III Iにおいて、 $T_1 \gg T_2$ (すなわち $\lambda_1 \ll \lambda_2$) の場合には、十分に時間 t が経過すると (おおよそ $t > 10T_2$)、核種 2 と核種 1 の放射能は $A_2/A_1 \approx 1$ でほぼ等しくなる。このような放射平衡状態を永続平衡という。

しかし $t < 10T_2$ で、永続平衡が成立する前であっても、(6)式を利用することができる。例えば、⁹⁰Sr は次のように壊変するが、



娘核種 ⁹⁰Y の β 線エネルギーが 2.28 MeV と非常に高く測定しやすいことから、環境試料中の ⁹⁰Sr の定量には、娘核種の β 線測定が利用されている。試料からストロンチウムを分離回収して精製したのち、2週間以上保存する。その塩酸溶液に O の捕集剤として Fe³⁺ を、 P の保持担体として Sr²⁺ を、それぞれ塩化物の形で加えた後、加熱しながらアンモニア水を加えて Q の沈殿をつくり、この沈殿中に娘核種 ⁹⁰Y を共沈させて親核種から分離する。沈殿中の ⁹⁰Y の放射能測定により、まず半減期の測定から R が含まれていないことを確認し、次いで共沈させた時刻における ⁹⁰Y の放射能を算出し、(6)式により ⁹⁰Sr の放射能を求めることができる。

< N~R の解答群 >

1	⁹⁰ Sr	2	⁹⁰ Y	3	⁹⁰ Zr	4	⁹¹ Zr
5	⁹² Zr	6	Ba(OH) ₂	7	Fe(OH) ₃	8	La(OH) ₃

問4 次のⅠ～Ⅲの文章の□の部分に入る最も適切な語句、記号又は数値を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

Ⅰ ヨウ素には安定同位体 ^{127}I と、いくつかの放射性同位体がある。 $^{127}\text{I} (n, \gamma) ^{128}\text{I}$ 反応について、その化学効果をみる。

中性子照射したヨウ化エチル ($\text{C}_2\text{H}_5\text{I}$ 、水に不溶) を水と振とうすると、 (n, γ) 反応により生成した ^{128}I の大部分は、ヨウ化エチルとは異なる化学形で水相に抽出される。これは、1934年に Szilard と Chalmers により高比放射能の放射性同位体の製造法として発表された。

(n, γ) 反応に伴い即発 γ 線が放出され、生成核はその□ A を受ける。即発 γ 線を単一光子として、そのエネルギーを E_γ [MeV] とすると、□ A エネルギー E_R [eV] は、□ A 原子の質量を M [原子質量単位] として、 $E_R = 537 E_\gamma^2 / M$ で表される。 $^{127}\text{I} (n, \gamma) ^{128}\text{I}$ における E_γ は約 6.8 MeV なので、 ^{128}I の E_R は約 □ ア eV となる。ヨウ化エチル分子中の炭素とヨウ素の □ B エネルギーは数 eV であり、これに比べて □ A エネルギーは極めて大きいため □ B が切断され、水溶性のヨウ素が生成する。また、□ A 原子は、媒質との衝突により減速し、その一部が再結合や □ C により元の化学形になる。

一般に、 (n, γ) 反応で生成する放射性核種は標的核種と □ D が同じであるため、□ E の状態で得ることは難しい。しかし、□ C 反応が遅い場合には、 (n, γ) 反応による高比放射能の放射性核種を効率良く得ることができる。

< A～E の解答群 >

- | | | | |
|-----------|----------|--------|----------|
| 1 励起 | 2 反跳 | 3 結合 | 4 活性化 |
| 5 中性子数 | 6 質量数 | 7 原子番号 | 8 スピン交換 |
| 9 同位体交換 | 10 イオン交換 | 11 無担体 | 12 同位体担体 |
| 13 非同位体担体 | 14 保持担体 | | |

< アの解答群 >

- | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 117 | 2 194 | 3 288 | 4 342 | 5 420 |
|-------|-------|-------|-------|-------|

II ヨウ素の放射性同位体のうち ^{123}I 、 ^{125}I 、 ^{131}I が、医療の分野で広く利用されている。

放射性核種を被検者に投与して体内分布や経時変化を体外から測定するインビボ検査には、高い画像解像度が得られる比較的低エネルギー（100～200 keV 程度）の γ 線を放出し、 β^- 線の放出がなく体内被ばくの少ない短半減期の核種が適している。 ^{123}I は、半減期 時間で EC 壊変し、 keV の γ 線を放出するため、シンチグラフィや に用いられる。

ホルモンやビタミンなどの生理活性微量物質を体外で測定するインビトロ検査には、半減期が比較的長く、測定しやすい γ 線放出核種が適している。 ^{125}I は、半減期 日で EC 壊変し、35.5 keV の γ 線及び の特性 X 線を放出するため、抗原抗体反応を利用した に用いられる。

放射性核種の内用療法には、 β^- 線を放出する核種が適している。 ^{131}I は、半減期 日で β^- 壊変 ($E_{\beta_{\max}} = 606 \text{ keV}$) し、 γ 線（主に keV）を放出するため、甲状腺疾患の内用療法やインビボ検査にも用いられる。なお、1 GBq の ^{131}I の原子数は約 個である。

<イ～エの解答群>

- | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 1.83 | 2 5.25 | 3 6.01 | 4 8.02 | 5 13.2 |
| 6 44.5 | 7 59.4 | 8 284 | | |

<Fの解答群>

- | | | | | |
|-------|-------|---------|-------|-------|
| 1 122 | 2 141 | 3 159 | 4 188 | 5 239 |
| 6 365 | 7 511 | 8 1,170 | | |

<G～Iの解答群>

- | | |
|-------------------------|--------------------|
| 1 SPECT (シングルフォトン断層撮影法) | 2 PET (陽電子放射断層撮影法) |
| 3 X線 CT (X線コンピュータ断層撮影法) | 4 プロテインアッセイ |
| 5 ラジオイムノアッセイ | 6 エンザイムイムノアッセイ |
| 7 ミクロオートラジオグラフィ | 8 Te |
| 9 I | 10 Xe |

<Jの解答群>

- | | | | | |
|-------|-------|---------|-------|-------|
| 1 122 | 2 141 | 3 159 | 4 188 | 5 239 |
| 6 365 | 7 511 | 8 1,170 | | |

<Kの解答群>

- | | | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 2.7×10^{11} | 2 1.0×10^{12} | 3 5.4×10^{12} | 4 1.0×10^{13} | 5 5.4×10^{13} |
| 6 1.0×10^{14} | 7 1.0×10^{15} | 8 1.6×10^{15} | | |

Ⅲ ヨウ素は周期表で 17 族元素のハロゲンに属する。ハロゲンの原子は 7 個の価電子をもち、L になりやすい。一般に中性子過剰核種は原子炉による中性子照射で製造され、中性子不足核種は加速器による荷電粒子照射で製造される。 ^{123}I 、 ^{125}I 、 ^{131}I は、いくつかの反応により製造されるが、医療に用いられる場合に比較的好く利用される反応を表に示す。

	標的核種	核反応	生成核種	生成核種の壊変	目的核種
(1)	^{124}Xe	(p, 2n) (p, pn) (p, 2p)	M N ^{123}I	2 回の β^+ 又は EC β^+ 又は EC	^{123}I
(2)	^{124}Xe	(n, γ)	O	β^+ 又は EC	^{125}I
(3)	^{130}Te	(n, γ)	^{131}Te	P	^{131}I

^{123}I の製造には、サイクロトロンによる数多くの核反応が利用できるが、放射性核種純度や ^{123}I の分離の容易さの点で、 ^{124}Xe ガスターゲットを陽子線で照射し、 ^{124}Xe (p, 2n) 反応で生成する M を経由する (1) の方法が優れている。なお、この反応に付随する ^{124}Xe (p, pn) N 反応と ^{124}Xe (p, 2p) ^{123}I 反応も利用される。前者は生成核種 N の β^+ 又は EC 壊変により、後者は核反応により直接 ^{123}I が得られる。

^{125}I の製造には、(1) と同じ ^{124}Xe ガスターゲットを原子炉で中性子照射し、 ^{124}Xe (n, γ) 反応により生成する O の β^+ 又は EC 壊変を経る (2) の方法が用いられる。

^{124}Xe は天然同位体組成が 0.1% に満たないため、(1)、(2) とともに濃縮同位体をターゲットに用いる方法が主流になっている。生成した ^{123}I や ^{125}I は、冷却した照射容器内壁に付着するのでこれを分離する。濃縮同位体 ^{124}Xe は回収して再利用する。

^{131}I は、 ^{235}U などの核分裂反応により生成するが、医療用には天然同位体組成の Te を中性子照射し、 ^{130}Te (n, γ) 反応で生成する ^{131}Te の P 壊変を経る (3) の方法が用いられる。生成した ^{131}I は、ヨウ素の揮発性を利用してターゲットから加熱により分離する。

<Lの解答群>

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

<M~Pの解答群>

- 1 ^{123}Te 2 ^{124}Te 3 ^{125}Te 4 ^{123}Xe 5 ^{125}Xe
 6 ^{127}Xe 7 ^{123}Cs 8 ^{124}Cs 9 ^{125}Cs 10 α
 11 β^- 12 EC 13 γ

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 高線量放射線を一度に全身被ばくした場合、被ばく直後から数か月の間に現れる障害を急性障害という。線量によって症状は異なるが、典型的な経過は以下の4つの病期に分けられる。被ばく直後から数時間以内に悪心、嘔吐、食欲不振、めまいなどいわゆる□A□と呼ばれる非特異的な症状が現れる□B□期、これらの症状が一時的に消失する□C□期、骨髄や消化管の障害、脱水など多彩な症状が現れる発症期、及びその後の回復期あるいは死亡である。

障害の現れ方やその時期は、線量及び臓器・組織によって異なる。例えば、ヒトが高線量のγ線を全身被ばくした場合に医療処置がなされないと、5～10 Gyでは3～4週間程度で□D□の障害により、10～20 Gyでは10～14日程度で□E□の障害により死亡する危険性が高い。

<A～Eの解答群>

- | | | | |
|-----------|---------|----------|-------|
| 1 自律神経失調症 | 2 放射線宿酔 | 3 遅延型過敏症 | 4 早 |
| 5 前駆 | 6 晩発 | 7 潜伏 | 8 皮膚 |
| 9 心臓 | 10 骨髄 | 11 中枢神経 | 12 腸管 |
| 13 急性 | 14 間 | 15 休止 | |

Ⅱ 臓器・組織の急性障害は、主に臓器・組織の実質細胞の□F□によって起こると考えられる。臓器・組織によって実質細胞の放射線致死感受性が違うために、障害を認めるようになる□G□も臓器・組織によって異なる。一般に、現れる障害の重篤度は、被ばくした線量が大きいと□H□く、同じ被ばく線量でも線量率が高いと□I□い。1回のγ線による被ばくでは、男性の一時的不妊の□G□は□ア□ Gyである。また男性の永久不妊の□G□は□イ□ Gyである。もし皮膚が□イ□ Gy程度のγ線を外部被ばくした場合には、被ばくした皮膚において□J□が、被ばく後□K□で認められる。

<F～Jの解答群>

- | | | | |
|--------|--------|-------|---------|
| 1 増殖 | 2 分化 | 3 死 | 4 しきい線量 |
| 5 照射線量 | 6 実効線量 | 7 低 | 8 等し |
| 9 高 | 10 潰瘍 | 11 脱毛 | 12 萎縮 |

<ア、イの解答群>

- | | | | |
|---------|----------|-------|---------|
| 1 0.15 | 2 0.5 | 3 1～3 | 4 3.5～6 |
| 5 6.5～9 | 6 9.5～12 | | |

<Kの解答群>

- | | | |
|--------|--------|---------|
| 1 2～3日 | 2 2～3週 | 3 2～3か月 |
|--------|--------|---------|

Ⅲ 晩発影響としては、白内障、発がん、遺伝性（的）影響などが挙げられる。このうち、発がんは遺伝性（的）影響は、影響であり、遺伝性（的）影響は主に放射線に被ばくした生殖細胞に遺伝子の突然変異や染色体異常が起こることによる。

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ることがマウスやショウジョウバエを用いた検討からわかっている。ラッセルらによるマウスを用いた検討の結果では、精子は精原細胞より突然変異誘発率がく、成熟した卵母細胞は未熟な卵母細胞と比べて突然変異誘発率がいことがわかっている。

遺伝性（的）影響のリスクの推定には倍加線量法と、線量効果関係を動物実験によって求め、これをヒトに適用して行う法とがある。遺伝性（的）影響のリスクは、倍加線量が大きいほどく、同一線量の場合には一般的に線量率が低いほどい。

UNSCEAR（原子放射線の影響に関する国連科学委員会）2001年報告ではヒトにおける倍加線量として Gy を使ってリスク推定を行っている。

<L～Qの解答群>

- | | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| 1 確定的 | 2 身体的 | 3 確率的 | 4 高 |
| 5 等し | 6 低 | 7 直接 | 8 スミア |
| 9 間接 | | | |

<Uの解答群>

- | | | | |
|-------|-------|-----|-----|
| 1 0.1 | 2 0.5 | 3 1 | 4 2 |
|-------|-------|-----|-----|

問6 次のI～IV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 放射線の生物作用を理解する上で、遺伝情報を担うDNAの構造や機能を理解することが重要である。

DNAはデオキシリボース、リン酸、塩基から構成される。塩基にはアデニン(A)、シトシン(C)、グアニン(G)、チミン(T)の4種類があり、向かい合った鎖の□Aが対をなす。これを塩基の相補性という。

細胞が増殖する際、S期において、DNAの2本鎖がほどけて1本鎖となり、塩基の相補性に基づいて、それぞれの1本鎖と対をなすもう1本の鎖が合成される。結果として、元々存在していたDNAと同じ塩基配列を持つDNAが2分子合成される。この過程をDNAの□Bという。

細胞骨格や酵素などとして働くタンパク質は、グリシン、アラニンなど□ア種類のアミノ酸から構成される。タンパク質を合成する際、まず、DNAをもとに、塩基の相補性に基づいてRNAが合成される。この過程を□Cといい、合成されたRNAをメッセンジャーRNA(mRNA)という。なお、mRNAにはTが含まれず、代わりにウラシル(U)が含まれる。mRNAの塩基□イ個を1組として、1個のアミノ酸を対応させることにより、タンパク質の合成が行われる。この過程を□Dといい、mRNAの塩基□イ個の組をコドンという。

<Aの解答群>

- 1 同じ塩基同士 2 AとC、GとT 3 AとG、CとT 4 AとT、GとC

<B～Dの解答群>

- 1 転写 2 転換 3 複写 4 複製
5 変換 6 翻訳

<ア、イの解答群>

- 1 2 2 3 3 4 4 5
5 10 6 20 7 24 8 32
9 36 10 48 11 60 12 64

II DNA損傷により、遺伝情報が変化することを変異という。変異には、染色体の構造変化を伴わないものと、染色体の構造変化を伴うものがある。染色体の構造変化を伴わないものとして、1個又は複数の塩基が、別のものに置換される変異、欠失する変異、挿入される変異がある。

塩基の置換があっても、タンパク質のアミノ酸配列が変わらない場合がある。一方、別のアミノ酸を指定するコドンに変化し、それによってタンパク質の機能に影響が出る場合がある。このような変異を **E** 変異という。また、停止コドンに変化するような変異を **F** 変異という。

塩基の欠失又は挿入が起こる場合、欠失する又は挿入される塩基の数が **ウ**、コドンの組合せが変わり、変異が起こった位置以降でのタンパク質アミノ酸配列が大きく変化する。このような変異を **G** 変異という。

<E~G 解答群>

- | | | |
|---------|-----------|-------------|
| 1 サイレンス | 2 トランジション | 3 トランスバージョン |
| 4 ナンセンス | 5 フレームシフト | 6 ミスセンス |

<ウの解答群>

- | | | |
|-------------|------------|-------------|
| 1 偶数であれば | 2 奇数であれば | 3 3の倍数であれば |
| 4 3の倍数でなければ | 5 5の倍数であれば | 6 5の倍数でなければ |

III 染色体の数又は構造の変化を伴う遺伝情報の変化を染色体異常という。染色体異常にはさまざまな種類のものがある。下の図の2本の染色体のさまざまな位置でDNA2本鎖切断が生じて、誤った修復が起こった場合、どのような染色体異常が起きるか考えてみよう。ただし、図において、染色体1のd-e間、染色体2のo-p間においてくびれた部分は動原体である。

染色体1 a b c d e f g h i j k l

染色体2 m n o p q r s t u

- (1) 染色体1のa-b間とk-l間でDNA2本鎖切断が生じ、誤って前者のb側の末端と後者のk側の末端が結合されると **H** が生じる。
- (2) 染色体1のh-i間と染色体2のs-t間でDNA2本鎖切断が生じ、誤って前者のh側の末端と後者のs側の末端が結合されると **I** が生じる。
- (3) 染色体1のh-i間と染色体2のs-t間でDNA2本鎖切断が生じ、誤って前者のh側の末端と後者のt側の末端が結合され、同時に前者のi側の末端と後者のs側の末端が結合されると、**J** が生じる。

<H～Jの解答群>

- | | | |
|---------|----------|-----------|
| 1 環状染色体 | 2 姉妹染色分体 | 3 二動原体染色体 |
| 4 逆位 | 5 欠失 | 6 転座 |

IV 染色体異常は不安定型染色体異常と安定型染色体異常に分類できる。正常細胞の場合、不安定型染色体異常は、細胞分裂の際に正しく分配できない可能性が高く、細胞は分裂を続けることができない。一方、安定型染色体異常は、照射後長期にわたって存在し続ける。例えば、環状染色体や は 染色体異常に分類される。安定型染色体異常と不安定型染色体異常のうち、がん化に関係するのは 染色体異常であると考えられている。また、放射線被ばく線量の生物学的推定は 染色体異常を指標として行う場合が多い。低LET放射線の場合、被ばく線量と 染色体異常の頻度の関係は、 にあてはまる。

また、染色体異常は染色体型異常と染色分体型異常に分類することができる。1対の染色分体の同じ位置に異常が認められるものを 異常という。もう一方の異常は、1本の染色分体のみに異常が認められるもの、あるいは1対の染色分体の異なる位置に異常が認められるものである。細胞をG₁期に照射した場合に現れる染色体異常は 異常である。

<Kの解答群>

- | | | |
|-----------|------------|------|
| 1 欠失 | 2 姉妹染色分体交換 | 3 転座 |
| 4 二動原体染色体 | | |

<L～Nの解答群>

- | | |
|-------|--------|
| 1 安定型 | 2 不安定型 |
|-------|--------|

<Oの解答群>

- | | | |
|--------------|--------------|---------------|
| 1 1標的1ヒットモデル | 2 多標的1ヒットモデル | 3 直線しきい値なしモデル |
| 4 直線-2次曲線モデル | | |

<P、Qの解答群>

- | | |
|--------|---------|
| 1 染色体型 | 2 染色分体型 |
|--------|---------|



