

管理技術 I

放射性同位元素による放射線障害の防止に関する管理技術 I
(法律別表第 1 に掲げる課目 (2) ~ (6) 及び (7) を含む)

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：5 題 (14 ページ)

3 注意事項：

- ① 机の上に出してよいものは、受験票、鉛筆又はシャープペンシル (HB 又は B)、鉛筆削り、消しゴム、時計 (計算機能・通信機能・辞書機能等の付いた時計は不可) に限ります。
- ② 計算機 (電卓)、定規及び下敷きの使用は認めません。
- ③ 不正行為等を防止するため、携帯電話等の通信機器は、必ず、電源を切ってカバン等の中にしまってください。
- ④ 問題用紙の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁又は解答用紙の汚れなどに気付いた場合は、手を挙げて試験監督員に知らせてください。なお、試験問題の内容に関する質問にはお答えできません。
- ⑤ 試験終了の合図があったら、ただちに筆記用具を置いてください。
なお、試験監督員が解答用紙を集め終わるまで、席を離れてはいけません。
- ⑥ 問題用紙は持ち帰っていただいて結構です。
- ⑦ 不正行為を行った者は、受験を中止させ、退場を命じます。

4 解答用紙 (マークシート) の取扱いについて：

- ① 解答用紙を折り曲げたり汚したりしないでください。また、記入欄以外の余白及び裏面には、何も記入しないでください。
- ② 筆記用具は、鉛筆又はシャープペンシル (HB 又は B) を使用してください。また、記入を訂正する場合は、消しゴムできれいに消してください。
- ③ 解答用紙の所定欄に氏名・受験地・受験番号を忘れずに記入してください。特に、受験番号は受験票と照合して間違えないよう記入してください。
- ④ 解答は、1 つの問いに対して、1 つだけ選択 (マーク) してください。2 つ以上選択している場合は、採点されません。

問1 次のI、IIの文章の□の部分に入る最も適切な語句を、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 放射線障害防止法施行規則で定められている健康診断の方法は、問診と検査又は検診である。検査又は検診の対象となる部位と項目は、イ) □ A □中の□ B □量又は□ C □値、赤血球数、白血球数及び□ D □、ロ) 皮膚、ハ) 眼、ニ) その他文部科学大臣が定める部位及び項目である。

血液細胞は主に骨髄で作られ、造血の源となる多能性造血細胞から分かれて、赤血球、血小板、白血球、リンパ球に分化する。骨髄は放射線感受性が高く、1~2 Gyの急性被ばくで骨髄障害が現れ、白血球減少、血小板減少、貧血などが起こる。

□ B □量は□ E □に含まれるヘモグロビン量を、□ C □値は□ F □の容積を、それぞれ、単位血液量に占める割合で表したもので、どちらも骨髄障害による貧血の指標となる。

□ G □は、顆粒球、単球、リンパ球に分類され、さらに顆粒球は好中球、好塩基球、好酸球に分けられる。好中球の炎症部への集合による細菌の貪食^{どんじよく}、活性酸素や殺菌性酵素による殺菌効果などにより生体を防御する。単球はマクロファージへと分化し、やはり、細菌の貪食^{どんじよく}などの働きをする。リンパ球には、□ H □、□ I □、NK(ナチュラルキラー)細胞などがあり、□ H □は免疫グロブリンを産生し液性免疫を、□ I □はウイルス感染細胞を殺傷し細胞性免疫を担う。リンパ球は放射線感受性が非常に高く、0.5 Gy以上の放射線を急性被ばくすると1~2日以内に線量の増加に伴って細胞数の減少が見られる。

<A~Dの解答群>

- | | | | |
|-----------|-----------|---------|-----------|
| 1 末しょう血液 | 2 髄液 | 3 尿 | 4 ヘマトクリット |
| 5 タンパク | 6 BMI | 7 血色素 | 8 血糖 |
| 9 コレステロール | 10 中性脂肪 | 11 血小板 | 12 血圧 |
| 13 肝機能 | 14 白血球百分率 | 15 尿素窒素 | |

<E~Gの解答群>

- | | | | |
|---------|--------|-------|--------|
| 1 線維芽細胞 | 2 骨芽細胞 | 3 幹細胞 | 4 赤血球 |
| 5 白血球 | 6 血小板 | 7 巨核球 | 8 骨髄芽球 |

<H、Iの解答群>

- | | | | |
|--------|---------|-------|--------|
| 1 AT細胞 | 2 B細胞 | 3 C細胞 | 4 ES細胞 |
| 5 G細胞 | 6 iPS細胞 | 7 M細胞 | 8 S細胞 |
| 9 T細胞 | 10 XP細胞 | | |

II 皮膚は被ばく線量に応じて、脱毛、紅斑、水泡、糜爛、潰瘍を生じる。皮膚は、**J**、真皮、皮下組織からなり、付属器官には汗腺、皮脂腺、毛嚢、血管などがある複雑な組織である。被ばく後、皮膚で敏感に反応するのは、**J**の最下層にある**K**で、増殖阻害などが起こる。線量と被ばく後経過時間に応じて上記のような様々な障害が現れるが、約2～3 Gy 被ばくすると、毛細血管の拡張によって**L**が、毛嚢の障害によって**M**が起こる。20～30 Gy 以上の高線量を急性被ばくすると、皮下組織が壊死となって難治性の**N**が起こる。

眼の水晶体も放射線感受性の高い組織で、放射線を被ばくすると水晶体前面の上皮の分裂細胞が損傷を受け、障害を受けた細胞は徐々に後方に移動し、**O**の被膜下に蓄積し、**P**の原因となる。水晶体の後部皮膜下に乳白色の**P**を形成した疾病が**Q**である。なお、**Q**は、**R**障害に分類される。

< Jの解答群 >

- | | | |
|------|------|------|
| 1 表皮 | 2 粘膜 | 3 中皮 |
|------|------|------|

< Kの解答群 >

- | | | |
|--------|--------|-------------|
| 1 角質細胞 | 2 顆粒細胞 | 3 有棘細胞 |
| 4 基底細胞 | 5 色素細胞 | 6 ランゲルハンス細胞 |
| 7 樹状細胞 | | |

< L～Nの解答群 >

- | | | | |
|--------|--------|---------|------------|
| 1 無汗症 | 2 永久脱毛 | 3 一時的脱毛 | 4 アトピー性皮膚炎 |
| 5 汗疱 | 6 白癬 | 7 乾性落屑 | 8 潰瘍 |
| 9 初期紅斑 | 10 水泡 | | |

< O～Qの解答群 >

- | | | | |
|---------|---------|---------|-------|
| 1 水晶体核 | 2 胚細胞帯 | 3 水晶体赤道 | 4 後極 |
| 5 前極 | 6 網膜 | 7 硝子体 | 8 緑内障 |
| 9 白内障 | 10 網膜剥離 | 11 飛蚊症 | 12 混濁 |
| 13 角膜潰瘍 | 14 自己溶解 | 15 脱落 | |

< Rの解答群 >

- | | | | |
|-------|-------|------|------|
| 1 遺伝的 | 2 確率的 | 3 急性 | 4 晩発 |
| 5 先天的 | 6 特発性 | | |

問2 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。

Ⅰ 光子放射線である X 線や γ 線は、物質中で□ A □、□ B □、□ C □を起こす。このうち、□ A □と□ C □の場合には光子は消滅するが、□ B □の場合には反跳電子にエネルギーを与えた分だけ、光子自身のエネルギーは減少する。□ C □によって生成する陽電子も含めて、これらの相互作用によって物質中に多くの二次電子が生成する。これらの二次電子は物質を構成する原子・分子を電離したり、□ D □することによって運動エネルギーを失っていく。□ C □によって生成した陽電子は、運動エネルギーを失った後に物質中の電子と結びついて、正反対の方向に 2 本の□ A □ keV の□ E □を放出する。このエネルギーは電子の□ F □と等価である。

< A～F の解答群 >

- | | | |
|-----------|----------------|---------|
| 1 運動エネルギー | 2 放電 | 3 消滅放射線 |
| 4 励起 | 5 静止質量 | 6 吸収 |
| 7 コンプトン効果 | 8 内殻吸収 | 9 電子対生成 |
| 10 制動放射線 | 11 外殻吸収 | 12 光電効果 |
| 13 前方散乱 | 14 ポテンシャルエネルギー | |

< A の解答群 >

- | | | |
|-------|---------|---------|
| 1 511 | 2 1,022 | 3 2,044 |
|-------|---------|---------|

Ⅱ 細胞の大部分を占める水に光子放射線が入射した時のエネルギー付与を考える。光子放射線のエネルギーは、そのほとんどが生成する二次電子によって物質に与えられる。二次電子のような荷電粒子のエネルギー付与現象は□ G □に沿って□ H □に起き、1回のイベント当たりに粒子から物質に与えられるエネルギーの平均値は□ I □である。粒子によるエネルギー付与イベントが起きてからその次のエネルギー付与イベントが起きるまでの距離の平均値は粒子の質量、電荷と□ I □に依存して変化する。このように荷電粒子が□ G □に沿って物質に与えるエネルギーを、□ G □の単位長さ当たりで平均をとると、□ J □と呼ばれる量となる。

< G～J の解答群 >

- | | | |
|------------------|-------|------|
| 1 重力 | 2 電場 | 3 磁場 |
| 4 線エネルギー付与 (LET) | 5 連続的 | 6 飛跡 |
| 7 生物効果比 (RBE) | 8 離散的 | 9 速度 |
| 10 一様 | | |

< I の解答群 >

- | | | |
|--------|---------|---------|
| 1 数 eV | 2 数十 eV | 3 数 keV |
|--------|---------|---------|

Ⅲ 細胞に高速の荷電粒子が入射すると、**G** に沿ってエネルギー付与イベントが起き、それにより細胞構成分子が変化し、損傷となる。エネルギー付与イベントによってエネルギーを受け取った分子に生成した損傷による生物作用を **K** 作用と呼ぶのに対して、エネルギーを受け取った分子が反応性の高い分子種に変わり、それが他の生体構成分子と反応して生成する損傷による生物作用を **L** 作用と呼ぶ。エネルギー付与が起きる際の分子選択性は少ないので、その結果、細胞に最も多く含まれる分子である水分子に放射線の大部分のエネルギーが吸収され、多くの **M** が生成する。**L** 作用のほとんどは **M** の作用として説明できる。細胞内での **M** の拡散距離は短いので、生物作用の原因となる損傷の空間分布は、エネルギー付与現象が起きた空間配置、言い換えると荷電粒子の **G** の構造と関わりがある。細胞にとって重要な分子である DNA に生成する損傷の分布はランダムではない。複数の損傷が近接して生成した場合には修復されにくい **N** 損傷が生成し、放射線による生物作用誘発に重要な役割を果たしている。

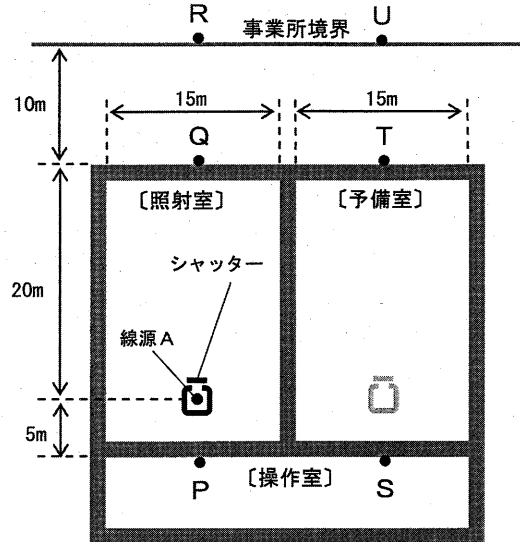
<K～Nの解答群>

- | | | | |
|-------|---------|---------|-------|
| 1 酸素 | 2 増感 | 3 間接 | 4 防護 |
| 5 鎖切断 | 6 電離 | 7 クラスタ | 8 電荷 |
| 9 イオン | 10 励起 | 11 生物学的 | 12 ナノ |
| 13 直接 | 14 ラジカル | | |

問3 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。

ある事業所では、新しく開発したγ線測定器に関する性能試験を実施するとともに、校正に用いる照射設備の見直しを行っている。

事業所内には 2.0×10^2 MBq の ^{137}Cs 密封線源(線源 A)を有するγ線照射施設がある。本施設はコンクリート壁(厚さ 30 cm)によって照射室、操作室および予備室に区画されており、現在、照射室のみが管理区域に設定されている。線源 A は照射室内のシャッター付き容器(容器、シャッターともに鉛厚さ 6 cm)の中に保管されており、シャッターの開閉は操作室からの遠隔操作によって行われる。γ線の照射は、照射室に人が居ないことを確認してから行われ、また、線源から 50 cm 以内は人がみだりに立ち入らないよう柵が設けられている。



評価条件は以下に示すとおりとする。

- ・ 容器の照射口は十分にコリメートされており、散乱線の影響は考えない。
- ・ 照射室での評価時間は、人が常時立ち入る場所の評価では 40 時間/週、管理区域境界の評価では 500 時間/3 月、事業所境界の評価では 2,184 時間/3 月とする。
- ・ 計算には下表の値を用いるものとする。

核種	実効線量率定数 [$\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$]	実効線量透過率	
		鉛 6 cm	コンクリート 30 cm
^{137}Cs	7.8×10^{-2}	1.8×10^{-3}	8.4×10^{-2}

I 照射室で γ 線測定器の相対基準誤差試験を行う場合、照射距離を0.5～15 mの範囲に設定できるため、実効線量の算出で最小 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ から最大 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ とみなせる γ 線を照射することができる。

一方、照射室内の人が常時立ち入る場所における線源保管時の1時間当たりの最大実効線量(評価地点：線源からの距離50 cm)は $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ となり、法令に定める線量限度 (mSv/週) を超えない。また、管理区域境界及び事業所境界における1時間当たりの実効線量は下表のようになり、これらの値は法令に定める実効線量(管理区域の境界における実効線量： mSv/3月、事業所の境界における実効線量： $\mu\text{Sv}/3$ 月)を超えない。

評価項目	評価地点	1時間当たりの実効線量 [$\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$]	
		線源使用時(照射時)	線源保管時
管理区域境界	P	<input type="text" value="D"/>	<input type="text" value="D"/>
	Q	<input type="text" value="E"/>	<input type="text" value="G"/>
事業所境界	R	<input type="text" value="F"/>	<input type="text" value="H"/>

< A～Hの解答群 >

- | | | | |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 2.6×10^{-6} | 2 5.9×10^{-6} | 3 3.8×10^{-5} | 4 7.9×10^{-5} |
| 5 9.4×10^{-5} | 6 1.2×10^{-4} | 7 1.5×10^{-3} | 8 3.3×10^{-3} |
| 9 4.5×10^{-3} | 10 2.8×10^{-2} | 11 6.9×10^{-2} | 12 1.1×10^{-1} |
| 13 3.3×10^0 | 14 1.3×10^1 | 15 6.2×10^1 | |

< ア～ウの解答群 >

- | | | | |
|--------|--------|-------|-------|
| 1 0.25 | 2 0.5 | 3 1.0 | 4 1.2 |
| 5 1.3 | 6 2.4 | 7 100 | 8 250 |
| 9 300 | 10 500 | | |

II 開発したγ線測定器は高線量率の作業環境下での使用も視野に入れており、定期的な校正も考慮すると、より高い線量率で照射できるよう設備を見直す必要がある。そこで、予備室内に照射室と同じ構造の照射設備を整備し、管理区域に設定した上で 1.0×10^5 MBq の ^{137}Cs 密封線源(線源B)を装備する計画を立てた。

予備室に新しく設備を整備した場合、照射できる線量率の最大値は、照射室の $\boxed{\text{I}}$ 倍となる。

一方、予備室内の人が常時立ち入る場所における作業者の最大実効線量は、線源Bのみを考慮した場合であっても $\boxed{\text{J}}$ mSv/週となり、法令に定める線量限度を超えてしまうため、利用時間を制限する必要がある。そこで予備室内に利用期間中滞在したとしても線量限度を超えないよう、1日の利用時間を最大8時間、1週間の利用日数を最大 $\boxed{\text{エ}}$ 日とした。このとき、線源Bによる最大実効線量は、管理区域境界で $\boxed{\text{K}}$ mSv/3月、事業所境界で $\boxed{\text{L}}$ μSv/3月となり法令に定める実効線量を超えない。ただし、照射時間は3月当たり $\boxed{\text{エ}}$ × 8 × 13 時間とする。

線源Aによる最大実効線量と線源Bによる最大実効線量を足し合わせた値は、法令に定める実効線量を下回ることを確認し、予定通り本計画を進めた。

< I ~ L の解答群 >

- | | | | | | | | |
|----|----------------------|----|----------------------|----|----------------------|----|----------------------|
| 1 | 2.2×10^{-2} | 2 | 7.8×10^{-2} | 3 | 1.5×10^{-1} | 4 | 3.4×10^{-1} |
| 5 | 5.6×10^{-1} | 6 | 6.8×10^{-1} | 7 | 1.1×10^0 | 8 | 1.5×10^0 |
| 9 | 2.2×10^0 | 10 | 4.8×10^0 | 11 | 5.0×10^1 | 12 | 1.5×10^2 |
| 13 | 2.4×10^2 | 14 | 5.0×10^2 | 15 | 5.0×10^3 | | |

< エの解答群 >

- | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

Ⅲ 開発した測定器を現場で利用するにはエネルギー特性や方向依存性なども確認しておく必要があるため、数種類のγ線源を備えた照射施設を有する事業者に試験を依頼した。

依頼された事業者において ^{241}Am 線源を用いた試験を実施していたところ、何らかの要因により照射装置が故障し、照射状態のままになってしまったため、次のような被ばく管理を行った上で原因調査及び復旧作業を行うことになった。

作業に伴う被ばく線量を下げするため、作業者は体幹部を覆う鉛入り防護衣を着用することとした。しかし、防護衣の着用により不均等被ばくが生じるため、蛍光ガラス線量計を胸部（防護衣の $\boxed{\text{M}}$ 側）と頸部にそれぞれ装着し、次式により実効線量 E を評価することとした。

$$E = 0.11 \cdot H_a + 0.89 \cdot H_b$$

ここで、 H_a は頸部に装着した線量計から得た $\boxed{\text{N}}$ の値、 H_b は胸部に装着した線量計から得た $\boxed{\text{N}}$ の値である。係数の“0.11”及び“0.89”は組織加重係数を考慮して定められた値である。

また、過度の被ばくを防止するため、アラームメータを胸部の線量計と同じ箇所に装着することとした。警報設定値は、作業上の被ばく線量の計画値である 1 mSv を十分下回るように、実効線量 E が 0.6 mSv となる値として $\boxed{\text{オ}}$ mSv に設定した。ただし、鉛入り防護衣によってγ線による $\boxed{\text{N}}$ は 1/3 に下がるものとする。

なお、本作業における外部被ばく源は ^{241}Am 線源であったが、 ^{60}Co 線源であった場合、防護衣の着用による外部被ばくの低減効果は ^{241}Am 線源の場合と比べて $\boxed{\text{オ}}$ 。

<M~Oの解答群>

- | | | | |
|-------------|--------|--------------|-------------|
| 1 内 | 2 外 | 3 70 μm 線量当量 | 4 3 mm 線量当量 |
| 5 1 cm 線量当量 | 6 実効線量 | 7 大きくなる | 8 小さくなる |
| 9 変わらない | | | |

<オの解答群>

- | | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| 1 0.20 | 2 0.33 | 3 0.49 | 4 0.54 |
| 5 0.60 | 6 0.73 | 7 0.84 | 8 1.0 |

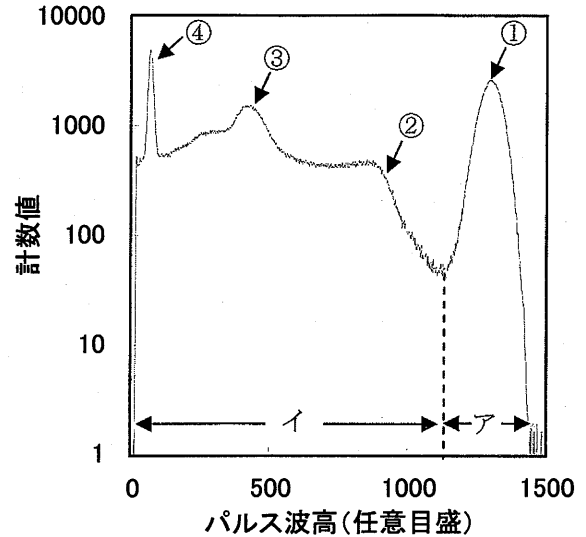
問4 NaI(Tl)シンチレーション検出器(直径2インチ、厚さ2インチ)により、 ^{137}Cs 線源を測定したところ、図に示すパルス波高スペクトルが得られた。次のI～IIIの文章の□の部分に入る最も適切な語句、記号又は数値を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

I 図のアのパルス波高範囲の計数値は、主として、核種□Aから放出されるγ線の、NaI(Tl)結晶における□Bによるものである。この相互作用に最も寄与している元素は□Cである。①のパルス波高値は、□Dエネルギーに相当している。

図のイのパルス波高範囲の計数値は、主として、NaI(Tl)結晶におけるγ線の□Eによるものである。②のパルス波高値は、□Fの最大エネルギーを反映している。

③のピークは□Gピークと呼ばれる。また、④のピークは□HのKX線によるものであり、このKX線の放出には、□Iという現象が関係している。

NaI(Tl)結晶の体積がこれよりも大きい検出器では、アのパルス波高範囲の総計数値のイのパルス波高範囲の総計数値に対する比は□J。



< A～Eの解答群 >

- | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------|--------|
| 1 ^{137}Ba | 2 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ | 3 ^{137}Cs | 4 光電効果 |
| 5 コンプトン効果 | 6 電子対生成 | 7 I | 8 Na |
| 9 Pb | 10 Tl | 11 入射γ線の | |
| 12 入射γ線のエネルギーから軌道電子の結合エネルギーを差し引いた | | | |

< Fの解答群 >

- | | | | |
|--------|----------|--------|-------|
| 1 反跳電子 | 2 内部転換電子 | 3 散乱γ線 | 4 光電子 |
|--------|----------|--------|-------|

< G～Iの解答群 >

- | | | |
|---------|-------------|--------|
| 1 サム | 2 シングルエスケープ | 3 後方散乱 |
| 4 Ba | 5 Cs | 6 I |
| 7 Na | 8 軌道電子捕獲 | 9 内部転換 |
| 10 光電効果 | | |

< Jの解答群 >

- | | | |
|---------|---------|---------|
| 1 小さくなる | 2 大きくなる | 3 変わらない |
|---------|---------|---------|

II 光電子増倍管(PMT)を用いた NaI(Tl)シンチレーション検出器では、一般的に ボルトの印加電圧が用いられる。印加電圧を、前掲の図のパルス波高スペクトルが得られたときよりも 5 % 高く設定したとき、アの部分の頂点のパルス波高値は 。

NaI(Tl)シンチレーション検出器のエネルギー分解能は、ピークの頂点のパルス波高値に対する、ピークの の相対値[%]で表される。¹³⁷Cs 線源の γ 線に対するエネルギー分解能は、一般的に である。検出器の分解能は種々の要因に影響されるが、そのうちで、PMT の光電陰極で発生する光電子数の統計的変動は重要な要因である。分解能がこの要因のみによって決まると仮定すると、⁶⁰Co 線源から放出される 1.33 MeV の γ 線に対するエネルギー分解能[%]は、¹³⁷Cs 線源の γ 線に対するエネルギー分解能のおおよそ 倍になると推定される。

<K、Lの解答群>

- | | | |
|-------------|-------------|------------|
| 1 数～数十 | 2 数十～百数十 | 3 数百～千数百 |
| 4 千数百～数千 | 5 数万 | 6 有意に変化しない |
| 7 低い側にシフトする | 8 高い側にシフトする | |

<M～Oの解答群>

- | | | |
|----------|--------|---------------|
| 1 1/10 幅 | 2 半値幅 | 3 標準偏差の 2 倍の幅 |
| 4 2～5% | 5 6～9% | 6 12～16% |
| 7 0.4 | 8 0.7 | 9 1.0 |
| 10 1.4 | 11 2.0 | |

III ^{137}Cs のみを含む試料について、
 NaI(Tl)シンチレーション検出器によ
 り、試料を 1,000 s、バックグラウンド
 (BG)を 10,000 s 計測したところ、右
 表に示す計数値が得られた。前掲の図

		試料	BG
計数時間[s]		1,000	10,000
計数値	(ア+イ)	9,200	40,000
	アのみ	1,800	4,000

の(ア+イ)のパルス波高範囲の計数値を用いた場合、正味の計数率は \boxed{P} cps、その標準偏差は \boxed{Q} cps となる。一方、アのみのパルス波高範囲の計数値を用いた場合には、正味の計数率は \boxed{R} cps、その標準偏差は \boxed{S} cps となる。このことより、 \boxed{T} のパルス波高範囲の計数値を用いて得られた計数率の方が、その相対誤差は小さいといえる。

< P～Sの解答群 >

- | | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| 1 0.027 | 2 0.043 | 3 0.068 | 4 0.098 |
| 5 0.14 | 6 0.25 | 7 0.75 | 8 1.4 |
| 9 2.5 | 10 3.8 | 11 5.2 | 12 7.3 |

< Tの解答群 >

- | | |
|---------|-------|
| 1 (ア+イ) | 2 アのみ |
|---------|-------|

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。

Ⅰ 放射線の飛跡を観測する簡便な手法に霧箱がある。

空気に含まれるエタノールの蒸気圧には上限(飽和蒸気圧)がある。この上限を超えると、蒸気の一部が凝縮し液体となる。しかし、蒸気を含む空気を静かに冷却すると、飽和蒸気圧を超えても凝縮が起こらない□A状態を生じることがある。この□A状態にある空気中を荷電粒子線が通過すると、空気中に生成した□Bを核として蒸気の凝縮がおきるため、飛跡が液滴の連なりとして飛行機雲のように観測される。

この霧箱を用いて、いくつもの重要な発見がなされた。例えば、1932年にC. D. アンダーソンは、電子と同じ質量で、磁場により電子とは反対に曲がる飛跡を確認し□Cの存在を証明した。

しかし、気体で放射線を検出する霧箱は感度が低く、研究の現場では液体で検出する□Dや、固体で検出する原子核乾板に次第に置き換えられていった。□Dは、飛跡に沿って液体が気化する様子を観察する装置である。また、原子核乾板は、X線フィルムの写真乳剤の部分を厚くして感度を高めたものである。写真乳剤は□Eなどの微粒子をゼラチンに分散させたもので、荷電粒子の電離作用で生じた潜像を現像処理した後、顕微鏡などで飛跡を観察する。

< Aの解答群 >

- | | | | |
|--------|-------|------|------|
| 1 過渡平衡 | 2 過冷却 | 3 励起 | 4 臨界 |
|--------|-------|------|------|

< B、Cの解答群 >

- | | | | |
|------------|--------------|-------|-------|
| 1 空孔 | 2 スカベンジャー | 3 イオン | 4 電場 |
| 5 磁場 | 6 中性子 | 7 陽子 | 8 陽電子 |
| 9 電子ニュートリノ | 10 π 中間子 | | |

< Dの解答群 >

- | | | |
|----------------|-----------------|-------------|
| 1 泡箱 | 2 電離箱 | 3 スパークチェンバー |
| 4 ゲルマニウム半導体検出器 | 5 液体シンチレーション検出器 | |

< Eの解答群 >

- | | | |
|------------|-----------|-------|
| 1 ヨウ化ナトリウム | 2 三フッ化ホウ素 | 3 臭化銀 |
| 4 酸化チタン | 5 硫化カドミウム | |

II 霧箱を用いて、放射線の飛跡を観察した。

放射線源にはウラン鉱石を用いた。鉱石に含まれる $^{238}_{92}\text{U}$ は [F] 系列に属し、極めて長い間に、合計 [ア] 回の α 壊変と [イ] 回の β 壊変を経て安定元素の $^{206}_{82}\text{Pb}$ になる。鉱石からは、この系列の核種の壊変に伴って、 α 線、 β 線、及び γ 線が放出される。

霧箱の内側にエタノールを塗布し静かに冷却すると、やがて線源から放射状にのびる飛跡が観察された。飛跡には、細くて長い飛跡(飛跡X)と、太くて短い飛跡(飛跡Y)の二種類があった。線源を紙(厚さ0.1 mm程度)で遮蔽すると、このXとYのうち [G] は観察されなくなった。また、紙を取り除いてから、線源に磁石を近づけたところ、XとYのうち [H] が大きく曲げられる事があった。

一方のみが紙を透過するのは阻止能の違いによるものである。阻止能は、荷電粒子の種類や運動エネルギーにより大きく異なる。非相対論的に考えられるエネルギーの範囲では、荷電粒子と物質との相互作用におけるエネルギー損失は粒子速度の [ウ] 乗に比例する。 α 粒子の静止質量は β 粒子の静止質量の約 [エ] 倍であるから、 β 粒子は同じ運動エネルギーを持つ α 粒子よりも2桁程度大きな速度を有する。

また、飛跡が磁石の近傍で曲がるのは、荷電粒子が磁場により [I] を受けるためである。真空中において粒子が一様な磁場に対して垂直に入射すると、粒子はこの力により円運動をする。この円運動の半径(サイクロトロン半径)は、荷電粒子の電荷の-1乗に比例し、速度の1乗に比例し、質量の [オ] 乗に比例する。したがって α 粒子よりも β 粒子の方が大きく曲げられやすいと定性的に理解される。

更に、気をつけて観察すると、線源とは関係のない位置にも飛跡Yと似た飛跡が見られた。これは、 $^{238}_{92}\text{U}$ の壊変系列には希ガスである [J] が含まれることから、霧箱中を浮遊する [J] が原因の一つではないかと考えた。

< Fの解答群 >

- 1 アクチニウム 2 トリウム 3 ウラン 4 ネプツニウム

< G、Hの解答群 >

- 1 飛跡X 2 飛跡Y

< Iの解答群 >

- 1 クーロン力 2 ファンデルワールス力 3 ローレンツ力
4 核力 5 摩擦力

< Jの解答群 >

- 1 クリプトン 2 キセノン 3 アクチノン 4 トロン 5 ラドン

< ア～ウの解答群 >

- 1 -2 2 -1 3 -0.5 4 0 5 0.5
6 1 7 2 8 3 9 4 10 5
11 6 12 8 13 10

<エの解答群>

1 460 2 1,800 3 7,400 4 30,000 5 120,000

<オの解答群>

1 -2 2 -1 3 0 4 0.5 5 1
6 2

III 霧箱実験の結果から、放射線の飛程に興味を持った。

空気中における α 線の飛程の推定には、

$$R_1 = 0.318 E_1^{\text{カ}} \dots \text{①}$$

の関係式がしばしば用いられる(カは E_1 の指数)。ここで、 R_1 は1気圧15°Cにおける飛程[cm]、 E_1 は α 線のエネルギー[MeV]である。①式で計算すると、 ^{238}U から放出される4.2 MeVの α 線の空気中における飛程は、約キ cmとなる。

一方、 β 線では、 β 線の最大エネルギー(E_2)からアルミニウム中における β 線の最大飛程 R_2 を計算するのに、

$$R_2 = 542 E_2 - 133 \quad (E_2 > 0.8 \text{ MeV}) \dots \text{②}$$

との関係式が用いられる。ここで、 E_2 の単位はMeV、 R_2 の単位は $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ である。この単位で表された飛程はほとんど物質に依存しない。

例えば、 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ から放出される2.3 MeVの β 線のアルミニウム中の最大飛程を②式で計算すると、約 $1,100 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ となる。アルミニウムの密度は $2.7 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ であるから、cm単位の直せば約ク cmである。また、この β 線の最大飛程は水中では約ケ cm、空気中(1気圧15°C)では約コ cmと算出される。

<カの解答群>

1 $\frac{1}{2}$ 2 $\frac{2}{3}$ 3 1 4 $\frac{3}{2}$ 5 2

<キ～コの解答群>

1 0.002 2 0.1 3 0.2 4 0.4 5 0.8
6 1.1 7 1.3 8 2.8 9 4.0 10 8.0
11 12 12 50 13 90 14 900 15 9,000

