

## 物 理 学

## 物理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：13:30～14:45（1時間 15分）

2 問題数：30題（10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、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。

次の各問について、1から5までの5つの選択肢のうち、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** 1.3 MeV  $\gamma$ 線の運動量[ $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]はいくらか。次のうちから最も近いものを選び。

- 1  $3.1\times 10^{-23}$     2  $6.9\times 10^{-22}$     3  $3.9\times 10^{-21}$     4  $5.1\times 10^{-21}$     5  $3.0\times 10^{-20}$

**問2** シンクロトロン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 磁場を用いて粒子を周回させる。
- B 高周波電場を用いて粒子を加速する。
- C 電子や陽子の高エネルギー加速器として用いられる。
- D 粒子をあらかじめ加速する前段の加速器が用いられる。

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

**問3** 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A  $\mu$ 粒子は電荷を持った粒子である。
- B 安定な原子核のうち、陽子数と中性子数が共に偶数であるものの数は、そのどちらか一方が奇数であるものの数より大きい。
- C 電子は陽電子よりも質量が大きい。
- D 陽子は中性子よりも質量が大きい。

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

**問4** 特性X線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 エネルギーは原子核のエネルギー準位の差で決まる。
- B エネルギー分布は線スペクトルを示す。
- C オージェ電子と競合して放出される。
- D 電子が原子核のクーロン場により減速される過程において発生する。

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

問5 質量数 20 以上の安定な原子核の核子 1 個当たりの結合エネルギー[MeV]は、次のどの範囲にあるか。

- 1 0.5 ~ 1.0      2 1.0 ~ 2.0      3 2.0 ~ 5.0      4 5.0 ~ 10      5 10 ~ 20

問6 アルミニウム原子核( ${}^{27}_{13}\text{Al}$ )の半径は水素原子核( ${}^1_1\text{H}$ )の半径のおおよそ何倍か。次のうちから最も近い値を選べ。

- 1 2                      2 3                      3 4                      4 5                      5 13

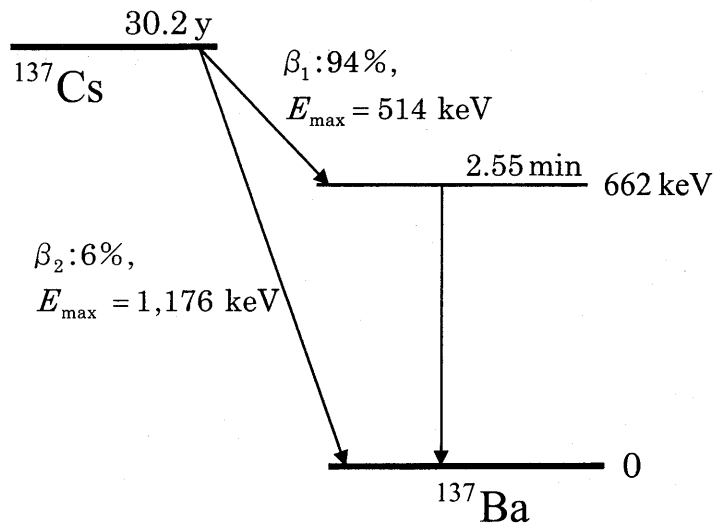
問7 放射性壊変に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A  $\alpha$  壊変ではニュートリノが放出されない。
- B  $\alpha$  壊変と  $\beta^-$  壊変は同一核種では起きない。
- C  $\beta^+$  壊変が起きる核種では競合して EC 壊変が起きる。
- D EC 壊変ではニュートリノが放出されない。

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

問 8  $^{137}\text{Cs}$  の壊変に際して放出される種々の放射線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  $\gamma$  線と内部転換電子とは同時に放出される。
- B  $E_{\max} = 514 \text{ keV}$  の  $\beta$  線 ( $\beta_1$ ) と  $\gamma$  線とは同時に放出される。
- C K-X 線と K 殻オージェ電子とは同時に放出される。
- D 特性 X 線は内部転換に伴い放出される。



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

問 9 サイクロトロンにおいて、磁束密度  $B$  の磁場に垂直な平面内を非相対論的速度  $v$  で運動する粒子(質量  $M$ 、電荷  $ze$ )が円軌道を 1 周するのにかかる時間は次のうちどれか。

- 1  $\frac{zeM}{2\pi B}$     2  $\frac{2\pi B}{zeM}$     3  $\frac{2\pi M}{zeB}$     4  $\frac{2\pi(ze)^2 M}{Bv}$     5  $\frac{zeB}{2\pi M}$

問 10 熱中性子の検出に適した核反応の組合せは、次のうちどれか。

- A  $^3\text{He}(n, p)^3\text{H}$
- B  $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$
- C  $^{16}\text{O}(n, n')^{16}\text{O}^*$
- D  $^{32}\text{S}(n, p)^{32}\text{P}$
- E  $^{197}\text{Au}(n, \gamma)^{198}\text{Au}$

- 1 ABDのみ    2 ABEのみ    3 ACEのみ    4 BCDのみ    5 CDEのみ

問 11 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 2 MeV の  $\alpha$  線の飛程と 1 MeV の陽子線の飛程はほぼ同じである。
- B 5 MeV の  $\alpha$  線と 1 MeV の電子線の空気に対する W 値は、 $\alpha$  線の方が電子線より 2 倍大きい。
- C 炭素の原子核を 5 MV の電圧で加速すると、得られる運動エネルギーは 30 MeV である。
- D 3 MeV の電子線 2  $\mu$ A の全エネルギーが 100 g の水に吸収されたとき、平均の吸収線量率は 60 Gy $\cdot$ s<sup>-1</sup>である。

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

問 12 原子番号  $Z$ 、質量  $M$  の荷電粒子(速度  $v$ )が物質中で停止する際の粒子飛程  $R$  と、 $Z$  及び  $M$  の関係として正しいものはどれか。

- 1  $R \propto Z^2 \cdot M \cdot v^4$
- 2  $R \propto Z^{-2} \cdot M \cdot v^4$
- 3  $R \propto Z \cdot M \cdot v^4$
- 4  $R \propto Z^{-1} \cdot M \cdot v^4$
- 5  $R \propto Z \cdot M^{-1} \cdot v^4$

問 13 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 電子対生成により生じた電子と陽電子は光子の入射方向に対して 90° の角度で放出される。
- B 電子対生成では光子の全エネルギーが電子及び陽電子の運動エネルギーに転移する。
- C 電子対生成が起きると特性 X 線又はオージェ電子が放出される。
- D 電子対生成が起きる確率は物質の原子番号のほぼ 2 乗に比例して増加する。

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

問 14 500 keV 光子が物質に入射してコンプトン効果を起こした場合、次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 散乱光子のエネルギーは 332 keV を超えない。
- B 反跳電子の最小エネルギーは約 170 keV である。
- C  $180^\circ$  方向に散乱される光子のエネルギーは約 170 keV である。
- D 反跳電子のエネルギーは 332 keV を超えない。

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

問 15 50~200 keV 程度の光子の光電効果に関する次の記述のうち、正しいものはどれか。

- 1 光電効果に対する線減弱係数は、光子エネルギーに逆比例する。
- 2 光電効果に対する線減弱係数は、物質の原子番号の 2 乗に比例する。
- 3 光電効果は、光子と軌道電子との弾性衝突である。
- 4 光電効果に伴って、オージェ電子が放出されることがある。
- 5 光電子の運動エネルギーは、入射光子のエネルギーに比例する。

問 16 図に示されたヨウ化ナトリウム (NaI) の質量減弱係数における①～④の相互作用及び⑤の吸収端に関し、正しい組合せは次のうちどれか。

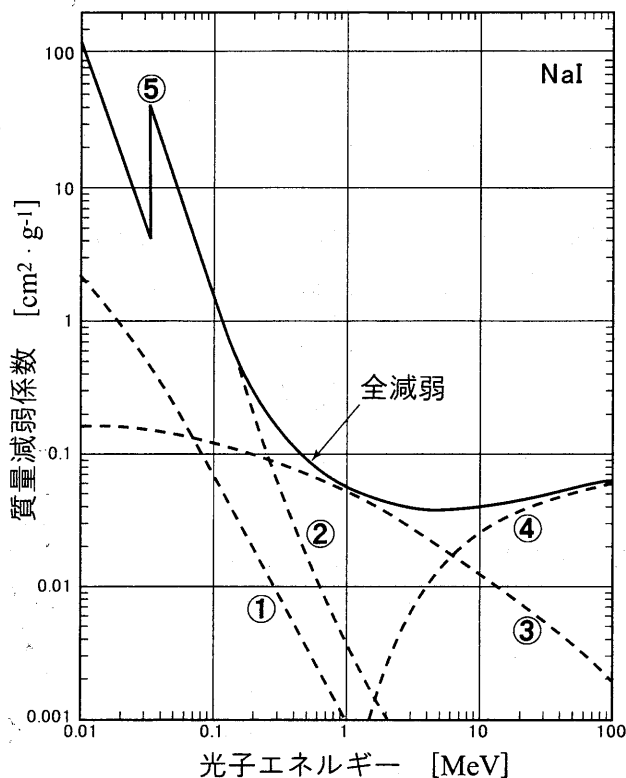


図 ヨウ化ナトリウムにおける質量減弱係数

①	②	③	④	⑤
1 光電効果	レイリー散乱	電子対生成	コンプトン効果	L 吸収端
2 光電効果	レイリー散乱	コンプトン効果	電子対生成	L 吸収端
3 レイリー散乱	コンプトン効果	光電効果	電子対生成	K 吸収端
4 レイリー散乱	光電効果	コンプトン効果	電子対生成	K 吸収端
5 光電効果	レイリー散乱	コンプトン効果	電子対生成	K 吸収端

問 17 ある遮蔽材に対して、半価層が 1 cm である細い線束の  $\gamma$  線の強度を 1/100 に減ずるのに要する遮蔽材厚さ [cm] として、最も近いものは次のうちどれか。ただし、ビルドアップ効果は考慮しないものとする。

- 1 2                      2 5                      3 7                      4 9                      5 10

問 18 2 MeV の中性子が水素核( $^1\text{H}$ )との弾性衝突で失う平均エネルギーをA、酸素核( $^{16}\text{O}$ )との衝突で失う平均エネルギーをBとしたとき、A/Bの値として最も近いものは次のうちどれか。

- 1 0.11                  2 0.39                  3 4.5                  4 9.0                  5 20.0

問 19 物理量と単位の次の対応のうち、正しいものの組合せはどれか。

- |               |   |  |
|---------------|---|--|
| A 照射線量率       | — | $\text{C}\cdot\text{kg}^{-1}$                  |
| B 質量阻止能       | — | $\text{J}\cdot\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$     |
| C 空気カーマ       | — | $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$                  |
| D エネルギーフルエンス率 | — | $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ |
| E 線エネルギー付与    | — | $\text{J}\cdot\text{m}^{-1}$                   |

- 1 ABDのみ      2 ABEのみ      3 ACEのみ      4 BCDのみ      5 CDEのみ

問 20 厚さ 0.1 mm、一辺の長さ 10 mm の正方形のアルミニウム板 2 枚で  $^{210}\text{Po}$ ( $\alpha$ 線のエネルギーは 5.3 MeV) 10 MBq の線源をサンドイッチ状に挟みこんだ後、熱的に外界から遮断した。10 分間放置した場合、上昇温度[K]として最も近い値は次のうちどれか。ただし、アルミニウムの密度は  $2.7\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 、比熱は  $0.90\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  とする。

- 1 0.05                  2 0.11                  3 0.21                  4 0.49                  5 0.77



問 21 放射線検出器として利用される半導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 価電子帯と伝導帯との間のバンドギャップエネルギーが絶縁体より大きい。
- B  $\epsilon$  値はシリコンよりゲルマニウムのほうが小さい。
- C ゲルマニウム中において電子と正孔の移動度は等しい。
- D シリコン中に微量のガリウムが不純物として存在すると p 型半導体となる。

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

問 22 空気を充填した空洞電離箱に  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  線を照射して電離電流を測定したところ  $I_{\text{air}}$  を得た。この充填気体をアルゴンに置き換えた場合、電離電流は  $I_{\text{air}}$  の何倍となるか。次のうちから最も近いものを選び。ただし、気温、圧力は同一とする。なお、アルゴンの電子に対する W 値は 26.4 eV であり、二次電子に対して(アルゴンの質量阻止能)/(空気の質量阻止能)=0.82 とする。

- 1 0.9      2 1.2      3 1.5      4 1.8      5 2.0

問 23 次のシンチレータのうち、それ自体の放射能によるバックグラウンドが測定上問題になるものの組合せはどれか。

- A CsI(Tl)
- B  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$
- C  $\text{Lu}_2\text{SiO}_5(\text{Ce})$
- D  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$
- E  $\text{CdWO}_4$

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

問 24 電離箱からの電離電流を電気容量 100 pF のコンデンサ(キャパシタ)に送りこみ、その両端の電位差を電位計で測定したところ、10 分後の電位差上昇が 3.0 V であった。平均の電離電流[pA]として最も近い値は次のうちどれか。

- 1 0.15      2 0.5      3 1.0      4 1.5      5 5.0

問 25 1 MeV 程度の  $\beta$  線の最大エネルギーを知る方法として、最適なものは次のうちどれか。

- 1  $2\pi$  ガスフロー型比例計数管により波高分布を求める。
- 2 端窓型 GM 計数管でアルミニウム板による吸収曲線を求める。
- 3 TLD を用いてグロー曲線を求める。
- 4 NaI(Tl)シンチレーション検出器により波高分布を求める。
- 5 Ge 検出器により波高分布を求める。

問 26 同一の条件で試料と標準線源からの放射線をそれぞれ測定した。バックグラウンドを差し引いて求めた計数率は、試料では  $6,300 \pm 63$  cpm で標準線源は  $2,100 \pm 21$  cpm であった。試料と標準線源の計数率の比に対して誤差が正しく表されているものは、次のうちどれか。

- 1  $3.000 \pm 0.006$
- 2  $3.000 \pm 0.015$
- 3  $3.000 \pm 0.024$
- 4  $3.000 \pm 0.033$
- 5  $3.000 \pm 0.042$

問 27 ブラッグ・グレイの空洞原理が成り立つための条件として、正しいものの組合せはどれか。

- A 荷電粒子平衡が成立していなければならない。
  - B 空洞内ガスは固体壁と等価な物質でなければならない。
  - C 空洞内ガスと固体壁の質量阻止能比はエネルギーによって大きく変化しない。
  - D 空洞の存在はそこを通過する荷電粒子のエネルギー分布に影響を与えない。
- 1 ACDのみ    2 ABのみ    3 BCのみ    4 Dのみ    5 ABCDすべて

問 28 水中の一点に空洞体積  $1 \text{ cm}^3$  で水等価壁の空気電離箱を設置し  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  線を照射したとき収集電荷  $20 \text{ nC}$  を得た。この点での水吸収線量[Gy]の値として最も近いのはどれか。ただし、空気の密度及び W 値をそれぞれ  $1.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $34 \text{ eV}$  とし、この点における二次電子に対する水と空気の平均質量阻止能比(水/空気)を 1.1 とする。

- 1 0.1                      2 0.3                      3 0.6                      4 0.9                      5 1.2

問 29 GM 管式表面汚染検査計を用いて、純  $\beta$  線放出核種が均一に分布した面線源(放射能:  $1,500 \text{ Bq}$ 、大きさ: 縦  $100 \text{ mm}$  × 横  $150 \text{ mm}$ ) を測定したところ、正味の計数率が  $2,400 \text{ cpm}$  あった。表面汚染検査計の入射窓面積が  $20 \text{ cm}^2$ 、面線源との距離が  $5 \text{ mm}$ 、面線源の線源効率が  $0.54$  とすると、この表面汚染検査計の機器効率として最も近い値は次のうちどれか。

- 1 0.17                      2 0.37                      3 0.48                      4 0.57                      5 0.63

問 30 次の表中に示された A から C までの空間線量率を測定する一般のサーベイメータの方式として、最も適切な組合せはどれか。また、B.G. はバックグラウンド放射線による線量率を表す。

特性 \ 方式	A	B	C
エネルギー特性	エネルギー補償も可能	C より劣る	良好
測定範囲	B.G. $\sim 30 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$	B.G. $\sim 300 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$	$1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1} \sim 1 \text{ Sv}\cdot\text{h}^{-1}$
方向特性	C より劣る	C より劣る	良好
感度	非常に高い	A より劣る	B より劣る

	A	B	C
1	シンチレーション式	GM 管式	電離箱式
2	シンチレーション式	電離箱式	GM 管式
3	GM 管式	シンチレーション式	電離箱式
4	GM 管式	電離箱式	シンチレーション式
5	電離箱式	GM 管式	シンチレーション式

