

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：15:30～17:20（1時間50分）

2 問題数：

五肢択一式 30問（30点）、多肢択一式 2問（30点）（60点満点）（15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結構です。
- ⑦ 不正行為を行った者は、受験資格を失ったものとみなし、試験室からの退出を命じます。また、試験終了後に不正行為を行ったことが発覚した場合、試験実施時にさかのぼり受験資格を失ったものとみなします。

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、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 次の記述のうち、正しいものはどれか。

- 1 エネルギー E の光子の運動量は、 E を光速の 2 乗で除したものである。
- 2 質量 m の粒子の運動量は、 m に粒子の速度の 2 乗を乗じたものである。
- 3 光子のエネルギーはその波長に比例する。
- 4 電荷 q の粒子が電場によって受ける力の大きさは、 q に電場の強さの 2 乗を乗じたものである。
- 5 荷電粒子が磁場によって受ける力の大きさは、粒子の速度に比例する。

問 2 1 原子質量単位 [u] を質量 [kg] で表したとき、最も近い値は次のうちどれか。

- 1 1.661×10^{-27}
- 2 1.672×10^{-27}
- 3 1.674×10^{-27}
- 4 1.993×10^{-26}
- 5 1.602×10^{-19}

問 3 $2,200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ の速度を持つ熱中性子のド・ブROI 波長 [m] として、最も近い値は次のうちどれか。

ただし、プランク定数は $6.6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 、中性子の質量は $1.7 \times 10^{-27} \text{ kg}$ とする。

- 1 1.8×10^{-11} 2 2.5×10^{-11} 3 5.6×10^{-11} 4 1.8×10^{-10} 5 2.5×10^{-10}

問 4 水素原子の大きさ (直径) に最も近い値は、次のうちどれか。ただし単位は m とする。

- 1 8.0×10^{-13}
- 2 4.0×10^{-12}
- 3 2.0×10^{-11}
- 4 1.0×10^{-10}
- 5 5.0×10^{-10}

問5 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 原子核の核子当たりの結合エネルギーは原子番号とともに増加し続ける。
- B 安定同位体の質量数 A と原子番号 Z の比 A/Z はすべて1.0から2.0の間にある。
- C 中性子は物質中で直接クーロン力を介した電離を起こさない。
- D 軌道電子は原子核近傍にも存在確率がある。

- 1 AとC 2 AとD 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問6 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 α 壊変ではニュートリノは放出されない。
- B α 壊変と β^- 壊変は同一核種では起きない。
- C β^+ 壊変が起きる核種では競合してEC壊変が起きる。
- D β^- 壊変と β^+ 壊変は同一核種では起きない。

- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問7 陽電子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 陽電子の物質中における阻止能は、陰電子とほぼ同じである。
- B 陽電子はエネルギーが低いほど物質中で消滅しやすい。
- C 陽電子の消滅は物質中の原子核との結合による。
- D 陽電子の消滅では、エネルギー保存則は成立するが、運動量保存則は成立しない。

- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問8 次の線源について、放出割合が最も高い γ 線のエネルギーを低い順から並べたとき、正しいものはどれか。

- 1 ^{57}Co < ^{241}Am < ^{137}Cs < ^{60}Co
- 2 ^{241}Am < ^{57}Co < ^{60}Co < ^{137}Cs
- 3 ^{57}Co < ^{241}Am < ^{60}Co < ^{137}Cs
- 4 ^{241}Am < ^{137}Cs < ^{60}Co < ^{57}Co
- 5 ^{241}Am < ^{57}Co < ^{137}Cs < ^{60}Co

問9 内部転換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 原子核から遠い軌道の電子の方が、内部転換電子として放出されやすい。
- B 内部転換は軽い核よりも重い核に多く見られる。
- C 内部転換係数は、内部転換電子の放出確率Xと γ 線の放出確率Yの比X/Yをいう。
- D 内部転換は β^- 線源では観測されない。

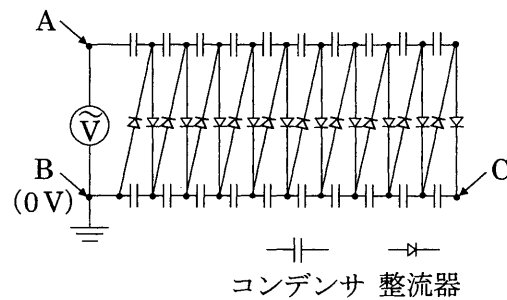
- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問10 次の加速器のうち、陽子の加速に適しているものの組合せはどれか。

- A リニアック（直線加速器）
- B サイクロトロン
- C コッククロフト・ワルトン型加速器
- D ファン・デ・グラーフ型加速器

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

問11 図に示す回路を用いて、荷電粒子の加速に用いる高電圧を発生させるとき、C点の電位[V]として最も近い値は次のうちどれか。ただし、A点とB点の間に振幅 $\pm 200\text{ V}$ の交流電圧を印加し、B点の電位を 0 V とする。また、コンデンサ及び整流器は漏れ電流の発生や電圧降下等がないものとする。



- 1 200 2 400 3 2,000 4 4,000 5 20,000

問12 中性子の核反応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 ${}^1\text{H}(n, n){}^1\text{H}$ 反応では、運動エネルギーが保存される。
- B ${}^{14}\text{N}(n, p){}^{14}\text{C}$ 反応は、熱中性子では起きない。
- C ${}^1\text{H}(n, \gamma){}^2\text{H}$ 反応では、放出される γ 線のエネルギーは2.2 MeVである。
- D ${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{H}$ 反応は、吸熱反応である。

- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問13 励起状態の ${}^7\text{Li}$ 原子核から0.48 MeVの γ 線が放出されるときに原子核が受ける反跳エネルギー[eV]として最も近い値は、次のうちどれか。ただし、反跳前の ${}^7\text{Li}$ 原子核は静止しているものとする。

- 1 1.8 2 1.8×10 3 1.8×10^2 4 1.8×10^3 5 1.8×10^4

問14 次の核反応のうち、発熱反応であるものの組合せはどれか。

- A ${}^2\text{H}(d, n){}^3\text{He}$
- B ${}^3\text{H}(d, n){}^4\text{He}$
- C ${}^{12}\text{C}(d, n){}^{13}\text{N}$
- D ${}^{16}\text{O}(d, n){}^{17}\text{F}$

- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問15 制動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 制動放射線のエネルギースペクトルは連続スペクトルである。
- B 制動放射線は、電子が原子と衝突するとき原子核から放出される。
- C 同じエネルギーの電子と陽子とでは、電子の方が制動放射線を放出しやすい。
- D 制動放射線は γ 線より波長が長い。

- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問16 5.3 MeVの α 線の空気中の飛程は3.9 cmである。この α 線のシリコン中での飛程[μm]に最も近い値は次のうちどれか。ただし、空気の密度を $1.3 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、シリコンの密度を $2.3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ とする。

- 1 2.5 2 10 3 25 4 50 5 100

問17 真空中で鉛の原子核（原子番号82）に5.0 MeVの α 粒子が向かうとき、 α 粒子がクーロン力に逆らって鉛の原子核に最接近する距離[fm]として最も近い値は次のうちどれか。ここで、真空中の誘電率を $8.9 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ とする。

- 1 12 2 24 3 48 4 96 5 192

問18 光子と物質との相互作用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 光電効果は、光子のエネルギーがK吸収端に対応するエネルギーより高いときに起こる。
B コンプトン散乱は、光子と原子核との衝突で起こる。
C 100 keVの光子が水に入射したときは、主にコンプトン効果が起こる。
D 10 MeVの光子が鉛に入射したときは、主に電子対生成が起こる。

- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問19 次の光子と物質の相互作用のうち、光子エネルギーのすべてが軌道電子の解放及びその運動エネルギーに消費されるものはどれか。

- 1 電子対生成
2 光核反応
3 レイリー散乱
4 コンプトン散乱
5 光電効果

問20 次の相互作用に関する記述のうち、正しいものはどれか。

- 1 光電効果では、発生確率は光子エネルギーに対して単調に減少する。
- 2 光核反応では、発生確率は光子エネルギーとともに増大する。
- 3 電子対生成では、発生確率は光子エネルギーとともに減少する。
- 4 光電効果では、発生確率は物質の原子番号とともに増大する。
- 5 光電効果が起こると、内殻軌道が空軌道になり内部転換電子が放出されることがある。

問21 1.02 MeVの γ 線が物質でコンプトン効果を起こした場合、散乱光子と反跳電子のエネルギーが同じであった。この場合、散乱角として、最も近い値は次のうちどれか。

- 1 30°
- 2 45°
- 3 60°
- 4 75°
- 5 90°

問22 中性子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 陽子より軽い。
- B 単独では不安定で β^- 壊変する。
- C 磁気モーメントを持たない。
- D $1/2$ のスピンを持つ。

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

問23 2.0 MeVの中性子が陽子(^1H)との弾性衝突で失う平均エネルギーをA、炭素原子核(^{12}C)との弾性衝突で失う平均エネルギーをBとしたとき、A/Bとして最も近い値は次のうちどれか。

- 1 0.9
- 2 1.7
- 3 3.5
- 4 7.0
- 5 14

問24 次の量と単位の関係のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 線エネルギー付与 — $\text{m}\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$
B 照射線量 — $\text{A}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}$
C 衝突断面積 — $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$
D 線エネルギー吸収係数 — $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$

- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問25 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 吸収線量は、放射線の種類を問わず定義される。
B 照射線量は、電荷を持たない放射線に対して定義される。
C カーマは、電荷を持つ放射線に対して定義される。
D 吸収線量とカーマでは、同じ単位が用いられる。

- 1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとC 5 BとD

問26 バックグラウンド計数率が $140 \pm 8 \text{ min}^{-1}$ の測定器を用いて試料を測定したときの計数率は $1,540 \text{ min}^{-1}$ であった。試料の正味の計数率を誤差 (相対標準偏差) 2.0% で測定するために必要な試料の測定時間 [min] として最も近い値は、次のうちどれか。

- 1 2.2 2 3.3 3 4.4 4 5.5 5 6.6

問27 中心軸に陽極線がある円筒型比例計数管の特性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 陽極線の太さが不均一であってもエネルギー分解能に影響を与えない。
B 陽極線の両端付近の電界のゆがみを小さくするために、フィールドチューブを用いる。
C 印加電圧が変動しても、パルス波高に影響を与えない。
D 充填ガスとしてアルゴンを使用するときに、少量のエチレンを加えるとエネルギー分解能が向上する。

- 1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとC 5 BとD

問28 次の半導体検出器のうち室温で動作するものの組合せはどれか。

- A 表面障壁型Si半導体検出器
- B 高純度Ge半導体検出器
- C リチウムドリフト型Ge半導体検出器
- D CdTe化合物半導体検出器

- 1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとC 5 BとD

問29 次のシンチレータのうち、一般的な使用状態で自己放射能による計数があるものの組合せはどれか。

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

- 1 AとB 2 AとE 3 BとD 4 CとD 5 CとE

問30 次のシンチレータのうち、 ^{137}Cs 線源からの γ 線に対して得られるエネルギー分解能が良好なもの(相対エネルギー分解能の値が小さいもの)から順に並べたものはどれか。

- A NaI:Tl
- B LaBr($\text{LaBr}_3:\text{Ce}$)
- C CeBr_3
- D BGO($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$)

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

問31 次の文章の□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。

放射線物理学は、1895年の□A□によるX線の発見に始まり、その発展には線源としての天然放射性物質が不可欠であった。天然放射性物質（ウラン塩）は□B□によって発見され（1896年）、1898年には□C□らによってラジウム及び□ア□が発見された。天然放射性物質の多くはα線、β線、γ線を放出する。□D□はウラン塩からの放射線には物質に吸収されやすいものと、透過性の強いものの2種類あることを見出し、前者をα線、後者をβ線と呼んだ。β線の実体は□B□の行った電荷測定から電子であることは明らかになったが、□E□は、□D□が分類したβ線の中には、磁場に作用されない透過力の極めて強い放射線があることを見出した。□D□はこれをγ線と命名し、後年その波長測定に成功した。また、□F□は、α線を磁場や電場で曲げることがβ線に比べより困難であることや、その質量/電荷比の測定からα線の実体が□イ□であることを見出した。

当時のほとんどの放射線検出器は□ウ□を利用していたので、電荷のない中性子の直接検証は困難だった。1930年に□G□らはベリリウムにα線を当てると原子核反応により未知の放射線が放出されることを発見し、ベリリウム線と名付けた。この放射線は、電場や磁場を直進し、非常に大きな透過力を持っていたため、□H□らはこの放射線をγ線と考えた。この放射線で水素を多く含む物質（パラフィン）を照射すると、陽子が最大5 MeVのエネルギーをもってたたき出されることを□エ□を用いて観測し、γ線のエネルギー E を推定した。運動量は光速度を c として□オ□と表される。陽子の質量を M_p 、衝突後の陽子の運動エネルギーを K 、衝突後のγ線の運動量を P' とすると、運動量保存則は

$$\square\text{オ}\square = \square\text{カ}\square$$

となる。エネルギー保存則を用いて E を求めると、

$$E = \square\text{キ}\square$$

を得る。陽子との弾性衝突で5.0 MeVのエネルギーを陽子に与えるためには、 E は□ク□ MeVとなる。ただし、陽子の質量は1,000 MeVに相当するとした。

□I□はこの反応を ${}^9\text{Be} + \alpha \rightarrow {}^{13}\square\text{ケ}\square + \gamma$ と考え、原子核の質量からγ線のエネルギーを計算したが、14 MeVにしかならず先に見積もられたような大きな値にはならなかった。そこで、ベリリウム線がγ線ではなく、質量 m を持つ電氣的に中性な粒子であると考え、水素ばかりでなく窒素にも照射して反跳する陽子及び窒素原子核の最大速度を測定した。粒子（質量 m ）が速度 v で静止している原子核（質量 M ）と弾性衝突するとき、反跳された原子核の速度 V は□コ□と表される。窒素原子核の質量は陽子の14倍であるとする、反跳窒素原子核の最大速度を V_N 、反跳陽子の最大速度を V_p として、中性粒子の質量 m と陽子の質量 M_p の比 (m/M_p) は、□サ□と表される。□I□は、□エ□を用いてこれらの反跳粒子の速度を測定し、ここから m/M_p としてほぼ1に近い値を得た。こうして、陽子とほぼ等しい質量を持ち電荷を持たない中性子の存在が検証された。すなわち、α線とベリリウムの核反応は中性子を n として、 ${}^9\text{Be} + \alpha \rightarrow {}^{12}\square\text{ケ}\square + n$ と表されることが分かった。無電荷の中性子はすぐに核構造を調べる新たな手段として使われ、中性子照射による新たな放射性同

位元素の生成や中性子によるウランの核分裂などの発見に至った。ウランの同位体 ^{235}U が遅い中性子を吸収して起こる核分裂反応 $^{235}\text{U} + n \rightarrow ^{95}\text{Sr} + ^{139}\text{Xe} + 2n$ において、1個のウラン原子核から解放されるエネルギーは J と計算される。ただし、中性子、及びストロンチウム、キセノン、ウランの各原子1個の質量を、それぞれ、 $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 、 $157.60 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 、 $230.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 、 $390.29 \times 10^{-27} \text{ kg}$ とした。核分裂の発見は原子炉や核兵器の製造へとつながった。

<ABCの解答群>

A	B	C
1 トムソン	ベクレル	デベール
2 レントゲン	マリー・キュリー	ベクレル
3 レントゲン	ベクレル	マリー・キュリー
4 ラザフォード	マリー・キュリー	ベクレル
5 ラザフォード	ベクレル	マリー・キュリー
6 トムソン	ヴィラール	マリー・キュリー

<ア～ウの解答群>

1 ポロニウム	2 アクチニウム	3 トリウム	4 ラドン
5 プロトン	6 トリトン	7 ヘリウム原子核	8 ニュートリノ
9 ミューオン	10 蛍光作用	11 写真感光作用	12 電離作用
13 化学反応	14 熱力学作用		

<DEFの解答群>

D	E	F
1 レントゲン	ベクレル	デベール
2 ラザフォード	ヴィラール	ラザフォード
3 レントゲン	ベクレル	マリー・キュリー
4 ラザフォード	マリー・キュリー	ヴィラール
5 トムソン	ヴィラール	マリー・キュリー
6 ラザフォード	マリー・キュリー	チャドウィック

<GHIの解答群>

G	H	I
1 レントゲン	ベクレル	デベール
2 ラザフォード	マリー・キュリー	チャドウィック
3 ボーテ	ラザフォード	パウリ
4 ラザフォード	マリー・キュリー	ヴィラール
5 ボーテ	イレーヌ・キュリー	チャドウィック
6 トムソン	ヴィラール	マリー・キュリー

<エの解答群>

- | | | |
|---------------|-----------------|-----------------|
| 1 泡箱 | 2 ZnS(Ag)シンチレータ | 3 NaI(Tl)シンチレータ |
| 4 霧箱 | 5 写真乾板 | 6 電離箱 |
| 7 ガイガーミュラー計数管 | 8 比例計数管 | |

<オ、カの解答群>

- | | | |
|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1 Ec | 2 Ec^2 | 3 $\frac{E}{c}$ |
| 4 $\frac{E}{c^2}$ | 5 c^2 | 6 $\frac{c}{E}$ |
| 7 $\frac{c^2}{E}$ | 8 $P' + \sqrt{M_p K}$ | 9 $P' + M_p K$ |
| 10 $P' + \sqrt{2M_p K}$ | 11 $P' + 2M_p K$ | 12 $-P' + \sqrt{M_p K}$ |
| 13 $-P' + M_p K$ | 14 $-P' + \sqrt{2M_p K}$ | 15 $-P' + 2M_p K$ |

<キの解答群>

- | | | |
|------------------------------------|---|--|
| 1 $\frac{1}{2}\sqrt{M_p c^2 K}$ | 2 $\sqrt{M_p c^2 K}$ | 3 $\frac{1}{2}\left(\sqrt{M_p c^2 K} + K\right)$ |
| 4 $\sqrt{M_p c^2 K} + \frac{K}{2}$ | 5 $\sqrt{M_p c^2 K} + K$ | 6 $\frac{1}{2}\sqrt{2M_p c^2 K}$ |
| 7 $\sqrt{2M_p c^2 K}$ | 8 $\frac{1}{2}\left(\sqrt{2M_p c^2 K} + K\right)$ | 9 $\sqrt{2M_p c^2 K} + \frac{K}{2}$ |
| 10 $\sqrt{2M_p c^2 K} + K$ | 11 $2\sqrt{M_p c^2 K}$ | 12 $2\sqrt{M_p c^2 K} + \frac{K}{2}$ |
| 13 $2\sqrt{M_p c^2 K} + K$ | | |

<クの解答群>

- | | | | | |
|------|------|------|------|------|
| 1 20 | 2 26 | 3 33 | 4 43 | 5 53 |
| 6 63 | 7 73 | 8 83 | 9 93 | |

<ケの解答群>

- | | | | | |
|------|-----|-----|-----|-----|
| 1 N | 2 C | 3 B | 4 F | 5 O |
| 6 Li | | | | |

<コの解答群>

1	$\frac{mv}{m+M}$	2	$\frac{Mv}{m+M}$	3	$\frac{2mv}{m+M}$	4	$\frac{2Mv}{m+M}$
5	$\frac{v(M-m)}{m+M}$	6	$\frac{2v(M-m)}{m+M}$	7	$\frac{mv}{M-m}$	8	$\frac{Mv}{M-m}$
9	$\frac{2mv}{M-m}$	10	$\frac{2Mv}{M-m}$				

<サの解答群>

1	$\frac{14V_N}{V_P+V_N}$	2	$\frac{14V_N-V_P}{V_P+V_N}$	3	$\frac{V_P}{V_P+V_N}$	4	$\frac{14V_N}{V_P-V_N}$
5	$\frac{14V_N-V_P}{V_P-V_N}$	6	$\frac{V_P}{V_P-V_N}$	7	$\frac{14V_P-V_N}{V_P+V_N}$	8	$\frac{14(V_P-V_N)}{V_P-V_N}$

<シの解答群>

1	3.2×10^{-12}	2	6.2×10^{-12}	3	9.2×10^{-12}	4	3.2×10^{-11}	5	6.2×10^{-11}
6	9.2×10^{-11}	7	3.2×10^{-10}	8	6.2×10^{-10}	9	9.2×10^{-10}		

問32 光子と物質の相互作用に関する次の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 細い線束（ビーム）の光子が一様で単一の物質に入射した場合、物質との相互作用により光子フルエンス ϕ は減衰する。相互作用の数の期待値は、物質中の標的となる原子数密度 N と入射した光子フルエンス ϕ に比例する。標的原子1個あたりに単位フルエンスの光子が入射したときの相互作用の確率は、□ A □ σ と呼ばれる。このとき、物質中で厚さ x を透過した光子フルエンス ϕ の減衰は次式で表される。

$$-\frac{d\phi}{dx} = \sigma N \phi$$

ここで、 $\mu = \sigma N$ 、物質に入射する光子のフルエンスを ϕ_0 とすると、 ϕ は次式で表される。

$$\phi = \square \text{ア}$$

μ は □ B □ と呼ばれ、その □ C □ に対応する値は光子が物質中を相互作用せずに通過できる距離の期待値である □ D □ を表す。また、 μ を密度 ρ で除したものを □ E □ という。

多くの物質では、数百 keV から数 MeV の光子エネルギー領域で □ F □ が主要な相互作用となる。□ F □ は入射光子と □ G □ との相互作用であり、このエネルギー領域において、このときの σ は物質の原子番号に比例する。一方、物質の密度は原子量 A と原子数密度 N の積であることから、物質の原子番号を Z とすると □ E □ は、□ イ □ に比例する。水素を除いて、□ イ □ は物質の種類によってあまり変化しないことから、□ F □ が主要な相互作用となるエネルギー領域では、□ E □ は物質の種類にあまり依存しないことが分かる。

< A の解答群 >

- | | | | |
|------------|---------|--------|--------|
| 1 線エネルギー付与 | 2 質量阻止能 | 3 断面積 | 4 体積 |
| 5 密度 | 6 分散 | 7 不確かさ | 8 標準偏差 |

< ア の解答群 >

- | | | | | |
|----------------------------|--------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| 1 $\mu \frac{\phi_0}{x^2}$ | 2 $\mu \frac{\phi_0}{x}$ | 3 $\frac{\phi_0}{x^2} e^{-\mu}$ | 4 $\phi_0 e^{-\frac{\mu}{x}}$ | 5 $\phi_0 e^{-\mu x}$ |
| 6 $\phi_0 e^{-\mu x^2}$ | 7 $\phi_0 e^{-\mu^2 x}$ | 8 $\phi_0 e^{-\frac{\mu}{x^2}}$ | 9 $\phi_0 e^{-\frac{x}{\mu}}$ | |

< B ~ E の解答群 >

- | | | | |
|------------|-----------|---------|----------|
| 1 自由度 | 2 標準偏差 | 3 平均値 | 4 平方根 |
| 5 線エネルギー付与 | 6 質量阻止能 | 7 線減弱係数 | 8 質量減弱係数 |
| 9 平均エネルギー | 10 平均自由行程 | 11 逆2乗 | 12 逆数 |
| 13 1乗 | 14 2乗 | 15 3乗 | |

< F、Gの解答群 >

- | | | | |
|--------|-----------|---------|---------|
| 1 光電効果 | 2 電子対生成 | 3 核分裂反応 | 4 核融合反応 |
| 5 光核反応 | 6 コンプトン散乱 | 7 原子核 | 8 中性子 |
| 9 陽子 | 10 光子 | 11 軌道電子 | |

< Iの解答群 >

- | | | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 $\frac{N}{Z}$ | 2 $\frac{Z}{N}$ | 3 NZ | 4 $\frac{N}{A}$ | 5 $\frac{A}{N}$ |
| 6 AN | 7 $\frac{A}{Z}$ | 8 $\frac{Z}{A}$ | 9 AZ | |

II 平行ビームの光子をある物質に照射して透過させたときに、光子の強度を \boxed{H} にするのに必要な物質の厚さを半価層（第一半価層）と呼ぶ。例えば、250 keVの光子に対する銅の半価層は、表の \boxed{E} を利用して $\boxed{ウ}$ mmと計算できる。ここで、ビルドアップの影響は無視し、銅の密度は $8.96 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ とする。第一半価層を通過した光子の強度をさらにその \boxed{H} にするのに必要な物質の厚さを第二半価層と呼び、これらの値はX線の線質を表すために用いられる。

連続エネルギースペクトルを持つX線ビームの場合、第一半価層 (HVL_1) と第二半価層 (HVL_2) の関係は、散乱線の寄与を無視すると一般に $\boxed{エ}$ となる。これは、第一半価層を透過したX線ビームは、 \boxed{I} エネルギー成分の割合が少なくなるためである。第一半価層を第二半価層で除した値を均等度と呼び、X線のエネルギーの均等性を表す指標として用いられる。

連続エネルギースペクトルを持つX線の第一半価層と同じ半価層の値を持つ単色光子のエネルギーを \boxed{J} エネルギーと呼ぶ。また \boxed{J} エネルギー E_1 をX線の最大エネルギー E_{\max} で除した比 E_1/E_{\max} は、X線のエネルギースペクトルを評価するための指標として用いられ、線質指標 QI と呼ばれる。

150 kVの高電圧で電子を加速し、タングステンターゲットに照射することによりX線を発生させる装置について考える。銅、スズ及び鉛で構成されたフィルタを透過したX線の銅に対する半価層を測定した結果、2.42 mmと評価された。このX線に対する前述の線質指標 QI を計算すると $\boxed{オ}$ となる。

表 光子エネルギー E [keV] と銅の $\frac{\mu}{\rho}$ [cm²·g⁻¹] の関係

E	$\frac{\mu}{\rho}$	E	$\frac{\mu}{\rho}$	E	$\frac{\mu}{\rho}$
10	216	110	0.377	210	0.149
20	33.8	120	0.320	220	0.142
30	10.9	130	0.278	230	0.137
40	4.86	140	0.246	240	0.132
50	2.61	150	0.222	250	0.128
60	1.59	160	0.203		
70	1.06	170	0.187		
80	0.763	180	0.175		
90	0.578	190	0.165		
100	0.459	200	0.156		

< H の解答群 >

- 1 $\frac{2}{3}$ 2 $\frac{1}{2.7}$ 3 $\frac{1}{\ln 2}$ 4 $\frac{1}{2}$ 5 $\frac{1}{4}$
 6 $\frac{1}{5}$ 7 $\frac{1}{10}$

< ウ の解答群 >

- 1 0.11 2 0.17 3 0.60 4 1.1 5 1.7
 6 6.0 7 11 8 17 9 60

< エ の解答群 >

- 1 $HVL_1 > HVL_2$ 2 $4HVL_1 = HVL_2$ 3 $2HVL_1 = HVL_2$ 4 $HVL_1 = 2HVL_2$
 5 $HVL_1 = 4HVL_2$ 6 $HVL_1 < HVL_2$

< I、J の解答群 >

- 1 平均 2 高 3 熱 4 低 5 最大
 6 実効 7 吸収 8 位置 9 単一 10 連続

< オ の解答群 >

- 1 0.10 2 0.20 3 0.30 4 0.40 5 0.50
 6 0.60 7 0.70 8 0.80 9 0.90 10 1.0
 11 1.1 12 1.2 13 1.3 14 1.4 15 1.5

