

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、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。また、アラーム機能の付いた時計は、設定を解除しておいてください。
- 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、すべての課目の解答を無効とし、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、すべての課目の解答を無効とします。

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 0.024 eV の中性子の速度 $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ として最も近い値は、次のうちどれか。ただし、中性子の質量は $1.7 \times 10^{-27} \text{ kg}$ とする。

- 1 2.1×10^{-1}
- 2 2.1×10
- 3 2.1×10^3
- 4 2.1×10^5
- 5 2.1×10^7

問 2 液体アルゴンから生じるシンチレーション光の最大発光波長は、約 130 nm である。この波長をもつ光子のエネルギー $[\text{eV}]$ として最も近い値は次のうちどれか。

- 1 4.0 2 6.0 3 8.0 4 10 5 12

問 3 $E = mc^2$ の式に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。ただし、 E はエネルギー、 m は質量、 c は光速を表す。

- A 相対性理論におけるエネルギーと質量の等価性を表す。
- B 力の単位である N (ニュートン) を用いると、 E の単位は $\text{N} \cdot \text{m}$ になる。
- C 電子の静止エネルギーは $8.19 \times 10^{-14} \text{ J}$ である。
- D 1 u (統一原子質量単位) は 938.3 MeV に相当する。

- 1 ABCのみ 2 ABDのみ 3 ACDのみ 4 BCDのみ 5 ABCDすべて

問4 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 内部転換では、ニュートリノは放出されない。
- B 内部転換に伴って特性X線が放出されることがある。
- C オージェ効果によりオージェ電子とニュートリノが放出される。
- D K電子捕獲に伴ってオージェ電子が放出されることはない。

- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問5 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 電子の鏡像体である。
- B 消滅光子のエネルギーは、ドップラー効果により広がりを持つ。
- C 電子と陽電子の対消滅に際して、3個の光子を放出することがある。
- D 真空中では安定である。

- 1 ACDのみ 2 ABのみ 3 ACのみ 4 BDのみ 5 BCDのみ

問6 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 スピンは $1/2$ である。
- B 鉄の安定同位体の原子核では陽子より数が少ない。
- C 陽子より重い。
- D 原子核の外では β^- 壊変する。

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

問7 7.5年前に A_1 であった ^{137}Cs の放射能が、現在 A_0 に減衰した。現在から15年後の放射能を A_2 とすると、 A_2/A_1 の比に最も近い値は次のうちどれか。ただし、 ^{137}Cs の半減期を30 yとする。

- 1 0.40 2 0.50 3 0.60 4 0.70 5 0.80

問8 β^+ 壊変における壊変前後の全質量変化を表す式として適切なものはどれか。ただし、原子番号が Z 、中性子数が N の原子の質量を $M(Z, N)$ と表すものとし、電子の質量を m_e とする。

- 1 $M(Z, N) - M(Z-1, N+1)$
- 2 $M(Z, N) - M(Z+1, N-1)$
- 3 $M(Z, N) - M(Z-1, N+1) - m_e$
- 4 $M(Z, N) - M(Z-1, N+1) - 2m_e$
- 5 $M(Z, N) - M(Z+1, N-1) - m_e$

問9 荷電粒子の加速に直流電場を用いる加速器として正しいものの組合せは、次のうちどれか。

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

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

問10 次のうち正しいものの組み合わせはどれか。

- A 電子直線加速器では、加速管内の高周波電界により電子を加速する。
- B サイクロトロンでは、ディー型電極内で粒子を回転させて加速する。
- C コッククロフト・ワルトン型加速器では、回転する絶縁ベルトで電荷を運び高電圧を得る。
- D 放射光施設では、シンクロトロンと同様な構造を有する蓄積リングを用いて、高エネルギーの電子を蓄積、周回させながら偏向電磁石より放射光を取り出す。

- 1 ABDのみ 2 ABのみ 3 ACのみ 4 CDのみ 5 BCDのみ

問11 次の核反応の式のうち、誤っているものはどれか。

- 1 ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$
- 2 ${}^{20}\text{Ne}(d, \alpha){}^{18}\text{F}$
- 3 ${}^{32}\text{S}(n, p){}^{32}\text{P}$
- 4 ${}^{59}\text{Fe}(n, \gamma){}^{60}\text{Co}$
- 5 ${}^{235}\text{U} + n \rightarrow {}^{92}\text{Sr} + {}^{142}\text{Xe} + 2n$

問12 中性子の発生を伴う核反応または壊変として、正しいものの組合せは次のうちどれか。

- A 重水素と三重水素の核融合反応
- B エネルギー10 MeVの γ 線による鉛との光核反応
- C ^{252}Cf の α 壊変
- D 熱中性子と ^{235}U との核分裂反応

1 ABCのみ 2 ABDのみ 3 ACDのみ 4 BCDのみ 5 ABCDすべて

問13 BF_3 比例計数管に熱中性子が入射して計数ガス中の ^{10}B と (n, α) 反応を起こしたときに放出される α 粒子の運動エネルギー[MeV]として、最も近い値は次のうちどれか。ただし、この (n, α) 反応のQ値を2.8 MeVとし、生成核は基底状態であるものとする。

1 0.8 2 1.0 3 1.4 4 1.8 5 2.8

問14 荷電量 Z_1 の高速荷電粒子が核電荷 Z_2 の原子からなる物質を通過する際に弾性散乱される場合、その断面積は、次のうちどれに比例するか。

1 $Z_1 \cdot Z_2$ 2 $Z_1^2 \cdot Z_2$ 3 $Z_1 \cdot Z_2^2$ 4 $Z_1 \cdot Z_2^{-2}$ 5 $Z_1^2 \cdot Z_2^2$

問15 荷電粒子と物質を構成する原子核との弾性散乱において、次の記述のうち正しいものの組合せはどれか。

- A 核電荷が大きい原子核ほど大きな断面積をもつ。
- B 荷電粒子と原子核との間のクーロン相互作用による。
- C 小角度散乱は大角度散乱よりも発生確率が高い。
- D エネルギーが高い荷電粒子ほど散乱されにくい。

1 ABCのみ 2 ABDのみ 3 ACDのみ 4 BCDのみ 5 ABCDすべて

問16 コンプトン散乱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 光子の粒子性を示す現象である。
- B 散乱光子の波長は入射光子の波長より短くなることはない。
- C 反跳電子のエネルギーは入射光子のエネルギーに等しくなることがある。
- D 散乱光子と入射光子の波長の差は、入射光子の波長に比例する。

1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問17 電子・陽電子対生成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 原子核の電場で起こる。
- B ^{54}Mn 線源からの γ 線では起こらない。
- C 生成した電子と陽電子の運動エネルギーは等しくなる。
- D 光子エネルギーが低いほど発生確率が高くなる。

1 ABCのみ 2 ABのみ 3 ADのみ 4 CDのみ 5 BCDのみ

問18 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A カーマは、電荷をもたない放射線に対し定義される。
- B 同じ系における衝突カーマは、カーマよりも大きい。
- C カーマには、系外で生成した荷電粒子による系内でのエネルギー付与が含まれる。
- D 0.1 MeV以上の光子では、フルエンス当たりの空気カーマはエネルギーとともに増加する。

1 ABCのみ 2 ABのみ 3 ADのみ 4 CDのみ 5 BCDのみ

問19 20 MeVの中性子和弾性散乱した反跳炭素原子核(^{12}C)の最大エネルギー[MeV]として最も近い値は、次のうちどれか。

1 2.0 2 5.7 3 10 4 12 5 20

問20 中性子と物質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 低エネルギー領域において、反応断面積は中性子エネルギーに逆比例する。
- B 冷中性子は回折現象を起こす。
- C 0.1 keV～数MeVのエネルギー領域において、反応断面積は共鳴的に大きくなることがある。
- D 10 MeVを超える高速中性子は原子核との非弾性散乱により2個以上の粒子を放出することがある。
- E エネルギー E_n の中性子が重水素と弾性散乱したとき、散乱中性子のエネルギーは0から E_n までの連続分布を示す。

- 1 ABCのみ 2 ACEのみ 3 ADEのみ 4 BCDのみ 5 BDEのみ

問21 次の物質のうち、その物質中での5.5 MeV α 線の飛程 $[\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}]$ が最も大きいものはどれか。

- 1 水素 2 ヘリウム 3 シリコン 4 ゲルマニウム 5 金

問22 次の積のうち、無次元となるものの組み合わせはどれか。

- A (反応断面積) $\times$ (粒子フルエンス率)
- B (質量エネルギー吸収係数) $\times$ (質量面密度)
- C (計数率) $\times$ (時定数) $\times$ (放射能)
- D (壊変定数) $\times$ (経過時間) $\times$ (分岐比)

- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問23 次の定数とその単位に関して、正しいものの組合せはどれか。

- A プランク定数 — $\text{J}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$
- B ボルツマン定数 — $\text{J}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- C リュードベリ定数 — m^{-1}
- D アボガドロ定数 — mol^{-1}

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

問24 0.20 MBqの標準線源を、分解時間が200 μ sのGM計数管で測定したところ、計数率は1000 s^{-1} であった。壊変率に対するこのGM計数管の計数効率(%)は次のうちどれか。

- 1 0.31 2 0.63 3 1.0 4 1.4 5 1.8

問25 放射線検出器に利用されるシンチレータ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 $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ は $\text{NaI}(\text{Tl})$ よりも662 keV γ 線に対するエネルギー分解能が良い。
B CeBr_3 中のセリウムには放射性の同位体が存在し、低レベル放射線測定時の障害になる。
C 有機液体シンチレータは ^3H からの低エネルギー β 線の計数に使用される。
D 有機液体シンチレータは高速中性子のエネルギー測定に使用される。

- 1 ACDのみ 2 ABのみ 3 ACのみ 4 BDのみ 5 BCDのみ

問26 熱ルミネセンス線量計(TLD)に関する次の記述のうち、正しいものはどれか。

- 1 フェーディングはない。
2 1回の照射に対して、それに対応する線量値を繰り返し読み取ることができる。
3 放射線照射により結晶中に捕獲された電子が、正孔と再結合して生じる蛍光を利用する。
4 中性子の線量測定には使用されない。
5 読み取りにはエッチング処理が必要である。

問27 γ 線スペクトロメータでエネルギー10 MeVの γ 線を測定したとき、波高分布の全吸収ピークとコンプトン端のエネルギーの差[MeV]に最も近い値は、次のうちどれか。

- 1 0.25 2 0.51 3 1.02 4 1.56 5 2.07

問28 β 線放出の直後に γ 線を放出する β 壊変核種の線源について、その放射能を β - γ 同時計数法により測定した。このときの β 線測定器による β 線の計数率を $R_b[s^{-1}]$ 、 γ 線測定器による γ 線の計数率を $R_g[s^{-1}]$ 、 β - γ 同時計数率を $R_c[s^{-1}]$ とすると、 β 壊変核種の放射能[Bq]を求める式は、次のうちどれか。ただし、 β 線放出及び γ 線放出の分岐比はそれぞれ100%とし、 β 線と γ 線との角度相関はないものとする。

- 1 $\frac{R_b \cdot R_c}{R_g}$ 2 $\frac{R_c \cdot R_g}{R_b}$ 3 $\frac{R_b \cdot R_g}{R_c}$ 4 $\frac{R_b}{R_c \cdot R_g}$ 5 $\frac{R_c}{R_b \cdot R_g}$

問29 計数値の相対標準偏差を0.5%以下にするために必要な最小の計数値は、次のうちどれか。

- 1 10,000 2 20,000 3 30,000 4 40,000 5 50,000

問30 放射能が 3.7×10^6 Bqの ^{210}Po の質量[g]として、最も近い値は次のうちどれか。ただし、 ^{210}Po の半減期を138日とする。

- 1 1×10^{-12} 2 8×10^{-10} 3 4×10^{-9} 4 2×10^{-8} 5 1×10^{-7}

問31 次のⅠ～Ⅲ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 α 壊変は原子核が α 粒子すなわちヘリウム原子核を放出してより小さい原子核に壊変する現象であり、その壊変エネルギーは壊変前後の全原子核の□ A □から求まる。このエネルギーが生成核及び α 粒子に運動量を保存するように分配され、 α 粒子のエネルギーは□ B □となる。 ^{210}Po 原子核が α 粒子を放出して安定な ^{206}Pb 原子核に壊変するとき、壊変エネルギーは□ ア □ MeV、 α 粒子のエネルギーは□ イ □ MeV となる。ただし、 ^4He 、 ^{206}Pb 及び ^{210}Po の原子質量をそれぞれ 4.00260 u、205.97447 u、209.98287 u とした。壊変定数と α 粒子のエネルギーとの関係は□ C □の法則として知られ、 α 粒子放出における□ D □効果から理論的に説明される。

< A、B の解答群 >

- | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-------|
| 1 波高欠損 | 2 エネルギー損失 | 3 質量欠損 | 4 質量数 |
| 5 運動エネルギー | 6 質量偏差 | 7 連続スペクトル | 8 単色 |
| 9 ガウス分布 | 10 最大 | 11 最小 | |

< ア、イの解答群 >

- | | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| 1 0.10 | 2 0.20 | 3 0.30 | 4 0.40 |
| 5 4.5 | 6 4.6 | 7 4.7 | 8 4.8 |
| 9 4.9 | 10 5.0 | 11 5.1 | 12 5.2 |
| 13 5.3 | 14 5.4 | 15 5.5 | |

< C、D の解答群 >

- | | | | |
|-----------|------------|-----------|-------------|
| 1 ラザフォード | 2 デュエン・ハント | 3 ドルトン | 4 ガイガー・ヌッタル |
| 5 定比例 | 6 モーズレー | 7 エネルギー保存 | 8 コンプトン |
| 9 トンネル | 10 古典力学的 | 11 メスバウアー | 12 ラマン |
| 13 ラムザウアー | 14 ジャンプ | 15 ドップラー | |

II α 粒子が物質中を進むときに、その質量は電子に比べて極めて大きいので、軌道電子との衝突によるエネルギー損失の過程で直線的な飛跡になるが、 $\boxed{\text{E}}$ は α 粒子の速度が小さくなるに従い大きくなり、粒子が止まる間に急激に増加する。 α 粒子の飛跡に沿った $\boxed{\text{E}}$ の変化を示したものが $\boxed{\text{F}}$ である。

荷電粒子が物質中を進むとき、単位距離あたりに失うエネルギーを阻止能と呼ぶ。陽子や α 粒子においては、制動放射による影響を無視できるので、 $\boxed{\text{G}}$ 阻止能が支配的である。 $\boxed{\text{G}}$ 阻止能は物質の $\boxed{\text{H}}$ に比例し、荷電粒子の原子番号を z 、速度を v とすると、 $\boxed{\text{I}}$ に比例する。これにより、同じエネルギーの α 粒子と陽子の阻止能を比べると、 α 粒子の方が $\boxed{\text{ウ}}$ 倍大きいことが分かる。また、 $\boxed{\text{G}}$ 阻止能を物質の密度で割った質量 $\boxed{\text{G}}$ 阻止能は、近似的に物質の種類によらない。

< E、F の解答群 >

- | | | | |
|----------|---------|----------|----------|
| 1 比電荷 | 2 比電離 | 3 残留飛程 | 4 W 値 |
| 5 G 値 | 6 ファノ因子 | 7 プラトー特性 | 8 校正曲線 |
| 9 ブラッグ曲線 | 10 減弱曲線 | 11 グロー曲線 | 12 ベーテの式 |

< G、H の解答群 >

- | | | |
|----------------|-------------|---------|
| 1 電離 | 2 衝突 | 3 放射 |
| 4 輻射 | 5 散乱 | 6 比 |
| 7 平均イオン化ポテンシャル | 8 平均励起エネルギー | 9 電子密度 |
| 10 質量 | 11 質量数 | 12 原子半径 |
| 13 中性子数 | | |

< I の解答群 >

- | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1 $z \cdot v$ | 2 $z^2 \cdot v$ | 3 $z \cdot v^2$ | 4 $z^2 \cdot v^2$ |
| 5 $z \cdot v^{-1}$ | 6 $z^2 \cdot v^{-1}$ | 7 $z \cdot v^{-2}$ | 8 $z^2 \cdot v^{-2}$ |
| 9 $v \cdot z^{-1}$ | 10 $v^2 \cdot z^{-1}$ | 11 $v \cdot z^{-2}$ | 12 $v^2 \cdot z^{-2}$ |
| 13 $v^{-1} \cdot z^{-1}$ | 14 $v^{-2} \cdot z^{-1}$ | 15 $v^{-2} \cdot z^{-2}$ | |

< ウの解答群 >

- | | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 1 1 | 2 2 | 3 3 | 4 4 |
| 5 6 | 6 8 | 7 16 | 8 20 |
| 9 24 | 10 32 | 11 48 | 12 64 |

Ⅲ $1.0 \times 10^3 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の一様な強度を持つ高エネルギー陽子の平行ビームが、半径 10 cm の球形生体組織等価電離箱に入射するときの出力電流 [pA] と吸収線量率 [$\text{mGy} \cdot \text{h}^{-1}$] を求める。ただし、陽子線の質量阻止能を $2.0 \text{ MeV} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^2$ 、組織等価ガスの密度を $1.0 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、W 値を 31 eV とする。また、計算においては、荷電粒子平衡が成立していると仮定し、陽子が電離箱を通過する際に強度の変化、電離箱の壁等の影響はないものとし、生成電荷はすべて収集されるものとする。

ここで、気体 1.0 cm^3 において毎秒吸収されるエネルギーは エ MeV であるから、電離箱からの電流は オ pA である。これに相当する吸収線量率は カ $\text{mGy} \cdot \text{h}^{-1}$ となる。

<エ～カの解答群>

1 0.12	2 0.20	3 0.43	4 0.64	5 0.87
6 1.2	7 2.0	8 4.3	9 6.4	10 8.7
11 12	12 20	13 43	14 64	15 87

問32 次のⅠ～Ⅲ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。

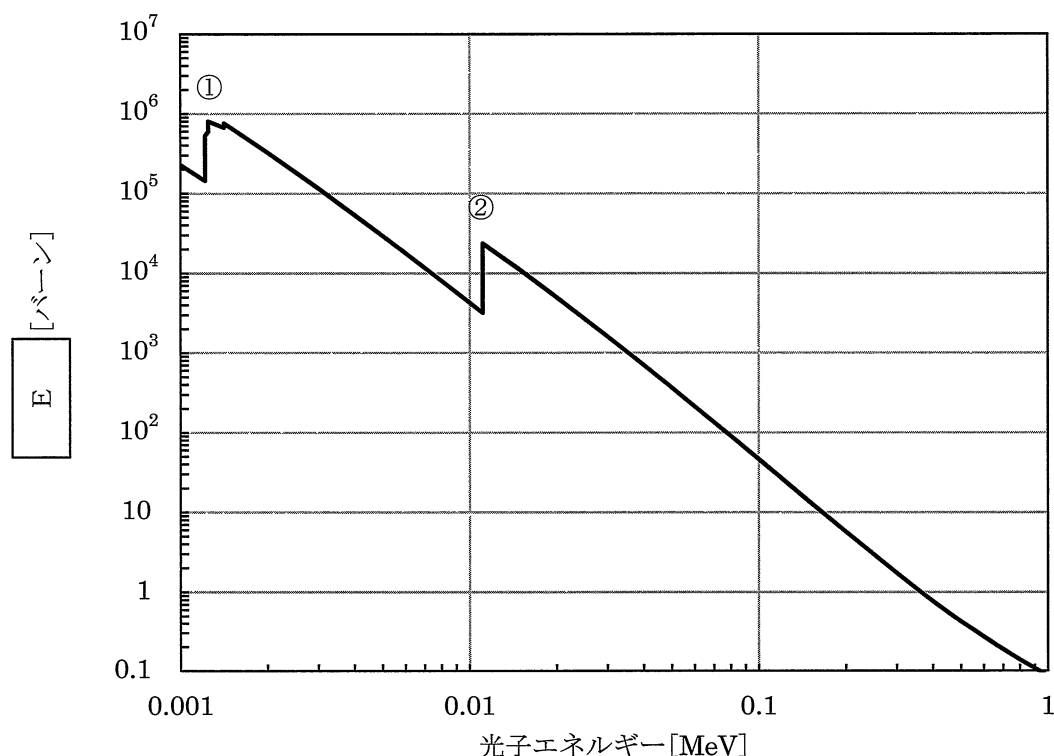
Ⅰ 光電効果では、□ A □ エネルギー E_1 で原子核に束縛されていた軌道電子は入射光子のエネルギー E_p を全て吸収して光電子として原子の外に飛び出し、光子は消滅する。この時の光電子の初期運動エネルギー E_e' は、

$$E_e' = \text{□ ア □} \quad (1)$$

で表される。

限界波長と比べて入射光子の波長が □ B □ 場合、光子フルエンス率が高くなっても光電子は生成されない。一方、一定波長の光子により光電効果が起こるとき、光電子の生成率は光子フルエンス率 □ C □ が、 E_e' は変わらない。これは、光が □ D □ を持つ証拠となっている。

物質中の標的原子 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数の期待値は □ E □ と呼ばれる。物質をゲルマニウムとして例示した図のように、光電効果の □ E □ は、入射光子エネルギーの増加とともに急速に小さくなる。しかし、この減少は単調ではなく、□ F □ (図中①) や、□ G □ (図中②) で不連続的に変化する。この不連続部は、軌道電子の □ A □ エネルギーに対応しており、光子エネルギーがこれよりも大きくなると対応する軌道電子が光電効果に寄与するようになるため、急激に □ E □ が増加して不連続的になる。



図

< A ～ D の解答群 >

- | | | | |
|---------|----------|---------------|--------------|
| 1 短い | 2 等しい | 3 長い | 4 の 2 乗に比例する |
| 5 に比例する | 6 に反比例する | 7 の 2 乗に反比例する | 8 波動性 |
| 9 粒子性 | 1 0 反跳 | 1 1 質量 | 1 2 しきい |
| 1 3 運動 | 1 4 結合 | 1 5 共鳴 | |

< ア の解答群 >

- | | | | |
|-----------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|
| 1 E_p | 2 E_1 | 3 $E_p + E_1$ | 4 $2E_p + E_1$ |
| 5 $E_p + 2E_1$ | 6 $E_p - E_1$ | 7 $2E_p - E_1$ | 8 $E_p - 2E_1$ |
| 9 $E_p \cdot E_1$ | 1 0 $\sqrt{E_p \cdot E_1}$ | 1 1 $\frac{E_p}{E_1}$ | 1 2 $\frac{E_p^2}{E_1}$ |
| 1 3 $\frac{E_1}{E_p}$ | 1 4 $\frac{E_1^2}{E_p}$ | | |

< E ～ G の解答群 >

- | | | |
|------------------|-----------------|------------|
| 1 質量 | 2 長さ | 3 フルエンス |
| 4 断面積 | 5 体積 | 6 しきい反応 |
| 7 シングル・エスケープ・ピーク | 8 ダブル・エスケープ・ピーク | 9 コンプトンエッジ |
| 1 0 K吸収端 | 1 1 L吸収端 | 1 2 M吸収端 |

II 光電効果が起こった後は、光電子の放出に伴い空になった内殻軌道に外殻の軌道電子が遷移する。この遷移に伴うエネルギーは、電磁波である H として放出されるが、別の軌道電子に与えられた場合には I の放出が起こる。

ゲルマニウム半導体検出器を用いた γ 線のスペクトル測定においては、光電効果により形成される全吸収ピークの波高（エネルギー）から γ 線を放出する核種を同定する。密度が $5.4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ で体積 10 cm^3 の有感領域を持つゲルマニウム半導体検出器に ^{57}Co 線源からの 122 keV γ 線が $100 \text{ cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ のフルエンス率で入射したとき、光電効果による全吸収ピークの計数率は イ s^{-1} となる。ここで、 122 keV 光子に対するゲルマニウム原子 1 個あたりの光電効果の E を 25 b （バーン）、ゲルマニウムの原子量を 73 とし、ゲルマニウム半導体検出器内や周辺の構造物での自己吸収、光電子の有感領域外への漏えい、計数の数え落としやパイルアップは無視できるものとする。

<H、I の解答群>

- | | | | |
|-----------|-----------|--------------|-----------------|
| 1 赤外線 | 2 紫外線 | 3 γ 線 | 4 消滅 γ 線 |
| 5 特性 X 線 | 6 制動 X 線 | 7 チェレンコフ光 | 8 内部転換電子 |
| 9 コンプトン電子 | 10 オージェ電子 | 11 陽電子 | |

<イの解答群>

- | | | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|
| 1 1.1×10^{-1} | 2 1.9×10^{-1} | 3 2.6×10^{-1} | 4 8.0×10^{-1} | 5 1.9×10^1 |
| 6 2.6×10^1 | 7 8.0×10^1 | 8 1.1×10^3 | 9 1.9×10^3 | 10 2.6×10^3 |
| 11 8.0×10^3 | 12 1.1×10^4 | 13 1.9×10^4 | 14 2.6×10^4 | 15 8.0×10^4 |

Ⅲ 光電効果は、光子と軌道電子との相互作用であるが、静止状態にある自由電子にエネルギーが E_p で振動数が ν の光子が吸収されて光電効果が起こることを仮定してみる。ここで、光速を c 、電子の質量を m_e 、プランク定数を h とする。

光電子のエネルギー E_e は、相対論を考慮するとその運動量 p_e を用いて次式で表される。

$$E_e^2 = c^2(p_e^2 + m_e^2 c^2) \quad (2)$$

一方、入射光子のエネルギー E_p は次式で表される。

$$E_p = \boxed{\text{ウ}} \quad (3)$$

光子と光電子のエネルギー保存則から(4)式が、運動量保存則から(5)式が導出される。

$$\boxed{\text{ウ}} = \boxed{\text{エ}} - \boxed{\text{オ}} \quad (4)$$

$$\boxed{\text{カ}} = p_e \quad (5)$$

(2)式、(4)式及び(5)式から、 E_e と p_e を消去すると

$$2 \times \boxed{\text{オ}} \times \boxed{\text{ウ}} = 0 \quad (6)$$

となり、 $\boxed{\text{オ}} \neq 0$ なので(6)式を満足するためには $\nu = 0$ 、つまり入射光子がエネルギーを持たないこととなり、自由電子との衝突では光電効果が起こらないことがわかる。

一方、軌道電子は、原子核とクーロン力で結びついており、衝突の際に運動量の一部が原子核に与えられることから、運動量保存則が成り立ち、光電効果を起こすことができる。

<ウ～カの解答群>

- | | | | |
|-----------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 $\frac{1}{2} m_e c$ | 2 $m_e c^2$ | 3 $\frac{1}{4} m_e^2 c^4$ | 4 $\frac{1}{2} m_e^2 c^4$ |
| 5 $m_e^2 c^4$ | 6 E_e | 7 E_p | 8 $E_p + E_e$ |
| 9 $E_p - E_e$ | 10 $\frac{h\nu}{2c}$ | 11 $\frac{h\nu}{c}$ | 12 $\frac{2h\nu}{c}$ |
| 13 $\frac{1}{2} h\nu$ | 14 $h\nu$ | 15 $2h\nu$ | |