

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）（17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（H B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（H B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つの問い合わせに対して、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□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、相対論的立場から正しいものの組合せはどれか。

- A 質量をもつ粒子の運動量は、速度に比例する。
- B 質量をもつ粒子のド・ブロイ波長は、運動量に逆比例する。
- C 質量をもつ粒子のエネルギーは運動量に比例する。
- D 光子のエネルギーは、波長に逆比例する。
- E 光子の運動量は、エネルギーに比例する。

1 A B Cのみ 2 A B Dのみ 3 A C Eのみ 4 B D Eのみ 5 C D Eのみ

問2 NaI(Tl)結晶から放出されるシンチレーション光のピーク波長（最大発光波長）はほぼ410 nmである。410 nmの光子のエネルギー[eV]として最も近い値は、次のうちどれか。

1 1.0 2 3.0 3 6.0 4 14 5 34

問3 次の記述のうち、正しいものはどれか。

- 1 同重体は、質量数が互いに等しい。
- 2 核異性体は、核内の陽子の数と中性子の数が互いに入れ替わっている。
- 3 原子核の半径は、質量数の $2/3$ 乗に比例する。
- 4 原子の半径は、軌道電子数に比例する。
- 5 同位体は、核内の中性子数が互いに等しい。

問4 次の用語のうち、放射性壊変に直接関係のないものはどれか。

- 1 半減期
- 2 吸収端
- 3 トンネル効果
- 4 永続平衡
- 5 内部転換

問5 ある短半減期核種の線源を NaI(Tl) シンチレーション計数管を用いた計数装置で 2 秒間計数したところ、1,000 カウントを得た。その後、リセットをかけずに、そのままの状態にして全部で 1,500 秒間計数を続けた結果、積算計数値は 90,000 カウントであり、さらに計数を続行しても、計数値は変わらなかった。ただし、計数値はバックグラウンド計数を補正してある。この核種の半減期[s]として最も近い値は、次のうちどれか。

- 1 75 2 100 3 125 4 150 5 175

問6 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A ^{226}Ra が α 壊変すると ^{222}Rn が生成する。
B ^{226}Ra の放射能が37 MBqである場合、その質量は約1 μg である。
C ^{252}Cf 中性子線源は、 ^{226}Ra -Be中性子線源より、線源強度 [s^{-1}] の減衰が速い。
D 中性子線源として、中性子発生に用いる $^9\text{Be}(\gamma, n)$ 反応および $^9\text{Be}(\alpha, n)$ 反応はどちらも発熱反応である。

1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問7 ^{40}K は、半減期 $1.25 \times 10^9 \text{ y}$ で β^- 壊変または EC 壊変する。これらの壊変の分岐比をそれぞれ 0.89、0.11 とするとき、EC 壊変の部分壊変定数 [y^{-1}] として最も近い値は次のうちどれか。

1 5.4×10^{-11} 2 6.1×10^{-11} 3 6.7×10^{-11} 4 4.8×10^{-10} 5 5.4×10^{-10}

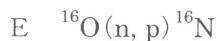
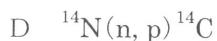
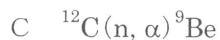
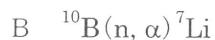
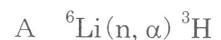
問8 2 倍のヘリウムイオン He^{2+} と 1 倍の水素分子イオン H_2^+ を同じ加速電圧で加速した。加速後の He^{2+} と H_2^+ の運動エネルギーをそれぞれ E_1, E_2 とすると、 E_1/E_2 に最も近い値は次のうちどれか。

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

問9 次の加速器、加速粒子、加速電場の組合せのうち、適切でないものはどれか。

加速器	加速粒子	加速電場
1 コッククロフト・ワルトン型加速装置	電子、イオン	静電場
2 ファン・デ・グラーフ型加速装置	電子、イオン	静電場
3 サイクロトロン	電子、イオン	高周波
4 シンクロトロン	電子、イオン	高周波
5 リニアック	電子、イオン	高周波

問10 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。



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

問11 次の記述のうち、誤っているものはどれか。

1 ${}^{239}\text{Pu}$ は、熱中性子照射により核分裂を起こす。

2 ${}^{238}\text{U}$ は自発核分裂を起こさない。

3 ${}^{252}\text{Cf}$ の放射性壊変の大半は α 壊変であり、自発核分裂の分岐比は約 3% である。

4 天然に存在するウラン同位体の99%以上は、 ${}^{238}\text{U}$ である。

5 ${}^{252}\text{Cf}$ は、人工的に生成される。

問 12 軌道電子と直接関係のないものの組合せは、次のうちどれか。

- A 内部転換
- B オージェ効果
- C EC壊変
- D β^- 壊変
- E ラザフォード散乱

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

問 13 同じ速度の陽子、重陽子及び α 粒子の物質中での飛程をそれぞれ R_p 、 R_d 、 R_α とするとき、飛程の大小関係として正しいものは、次のうちどれか。

- 1 $R_d > R_p \doteq R_\alpha$
- 2 $R_p > R_d \doteq R_\alpha$
- 3 $R_\alpha > R_p > R_d$
- 4 $R_p > R_d > R_\alpha$
- 5 $R_p \doteq R_d > R_\alpha$

問 14 5 MeV の電子線を鉛に入射させたときに直接起こる相互作用として、正しいものの組合せは次のうちどれか。

- A コンプトン散乱
- B 制動放射
- C 光電効果
- D 電離

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

問 15 次の文章の [ア]、[イ] に入る数値として、最も適切な組合せは次のうちどれか。

ベーテの式によれば、重荷電粒子に対する衝突阻止能は、重荷電粒子の電荷の [ア] 乗およびその速度の [イ] 乗に比例する。

	[ア]	[イ]
1	-2	2
2	-1	1
3	1	-1
4	2	2
5	2	-2

問 16 核子当たり 200 MeV の運動エネルギーを持つ 6 倍の炭素イオンがアルミニウムの板に $1.0 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ のフルエンスで入射したとき、入射面近傍の平均の吸収線量[Gy]として、最も近い値は次のうちどれか。ただし、 200 MeV の陽子線のアルミニウムに対する質量阻止能の値は $3.5 \text{ MeV} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ とする。

- 1 2.0 2 5.6 3 34 4 120 5 200

問 17 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A コンプトン効果による散乱光子の波長は、入射光子の波長より短い。
B コンプトン効果では、入射光子エネルギーが大きいほど、前方散乱が増大する。
C 質量数 56 の鉄におけるコンプトン効果の原子当たりの断面積は電子当たりの断面積の 26 倍である。
D コンプトン効果により生じた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。

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

問 18 γ 線スペクトロスコピーにおいて、コンプトンエッジと全吸収ピークとのエネルギー差は、入射光子のエネルギーが大きくなると、次のどの値 [MeV] に近づくか。

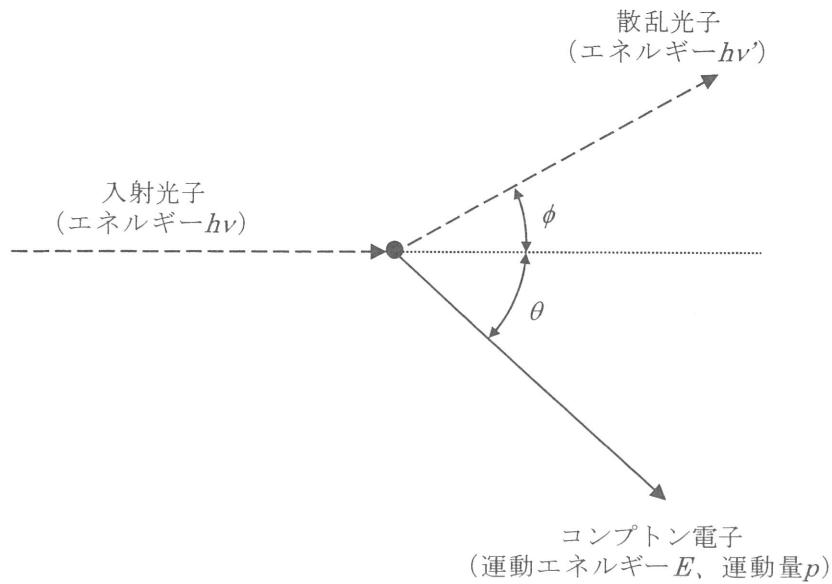
- 1 0.128 2 0.256 3 0.511 4 1.02 5 2.04

問 19 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 電子対生成によって作られた陽電子は、同時に生成された電子と結合して消滅する。
B 電子対生成によって作られた陽電子のエネルギーと電子のエネルギーは等しい。
C 電子対生成の原子当たりの断面積は物質の原子番号のほぼ 2 乗に比例する。
D 光子と原子核の電場との相互作用により生じる。
E 電子対生成によって作られた陽電子の真空中の寿命は約 15 分である。

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

問20 図に示す通り、エネルギー $h\nu$ の光子がコンプトン効果によりエネルギー $h\nu'$ 、散乱角 ϕ で散乱され、コンプトン電子が運動エネルギー E 、運動量 p 、角度 θ で反跳されたとする。電子の質量を m 、光速度を c とすると、正しい式の組合せは次のうちどれか。



A $\frac{h\nu}{c} = \left(\frac{h\nu'}{c} \right) \cos\phi + p \cos\theta$

B $0 = \left(\frac{h\nu'}{c} \right) \sin\phi - p \sin\theta$

C $h\nu = h\nu' + E$

D $(pc)^2 = E(E + 2mc^2)$

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

問21 運動エネルギー20 MeV中性子の速度[m·s⁻¹]として、最も近い値は次のうちどれか。ただし、中性子の質量はエネルギーに換算すると939.6 MeVである。

- 1 4.5×10^7 2 5.1×10^7 3 5.5×10^7 4 6.1×10^7 5 6.6×10^7

問 22 中性子が静止している標的核に正面衝突して、標的核が入射中性子の進行方向に反跳されるとを考える。標的核が ^1H または ^{16}O である場合のそれぞれの反跳エネルギーを E_{H} 、 E_0 とする
と、その比 (E_{H}/E_0) として最も近い値は次のうちどれか。

- 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5

問 23 量と単位に関する次の組合せのうち、正しいものはどれか。

- | | | |
|----------------|---|---|
| A ϵ 値 | — | $\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$ |
| B 照射線量 | — | $\text{A} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ |
| C 質量阻止能 | — | $\text{m}^4 \cdot \text{s}^{-2}$ |
| D 衝突断面積 | — | m^{-2} |
| E 質量エネルギー吸収係数 | — | $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ |
- 1 A B C のみ 2 A B D のみ 3 A C E のみ 4 B D E のみ 5 C D E のみ

問 24 試料を 1 分間測定して 4,800 カウントを得た。次に試料を除いて 3 分間バックグラウンドを測定したところ、900 カウントであった。この試料の正味計数率の標準偏差[cpm]として最も近い値は、次のうちどれか。

- 1 40 2 50 3 60 4 70 5 80

問 25 イメージングプレート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 ガドリニウム含有蛍光体を用いることにより熱中性子の二次元分布を取得できる。
- B トリチウムの二次元分布は β 線のエネルギーが低いため取得できない。
- C 一般にX線フィルムと比べて感度が低い。
- D 紫外線照射で初期化が可能である。

1 A と B

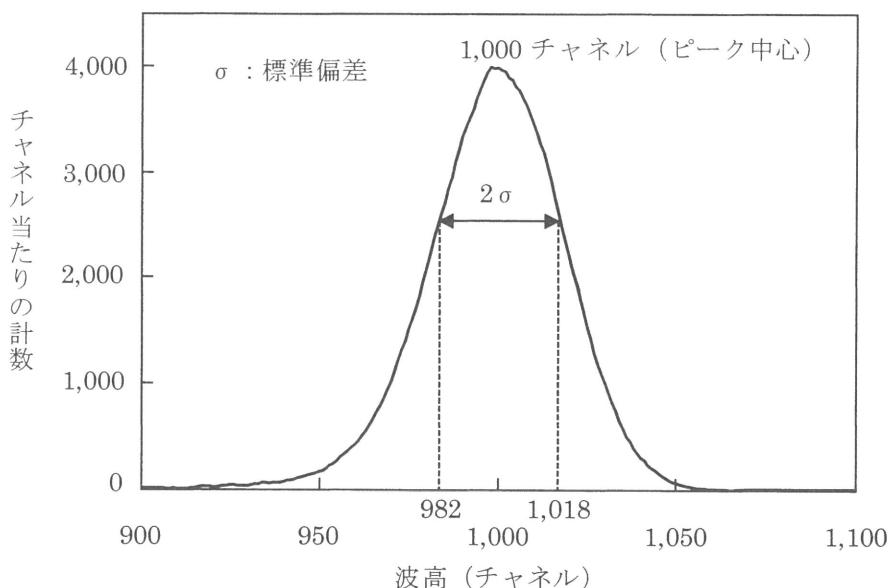
2 A と C

3 A と D

4 B と C

5 B と D

問 26 あるシンチレーション検出器を用いて ^{137}Cs 線源からの γ 線による波高分布を測定したところ、図に示すような全吸収ピークが観測された。この場合の相対エネルギー分解能[%]（全吸収ピーク位置に対する半値全幅（FWHM））として最も近い値は次のうちどれか。なお、図中の σ は、全吸収ピークの形状をガウス分布としたときの標準偏差を表す。



1 1.8

2 2.1

3 3.6

4 4.2

5 5.4

問27 中性子の検出に用いる核分裂計数管に関する次の記述のうち、適切なものの組合せはどれか。

- A ^{235}U を計数管の内面に薄く被覆する。
- B パルス波高を利用して中性子と γ 線の信号を弁別できる。
- C 計数管内面のウラン等の核分裂反応により放出された核分裂片は信号に寄与しない。
- D 出力パルス波高は中性子のエネルギーに比例する。

1 AとB

2 AとC

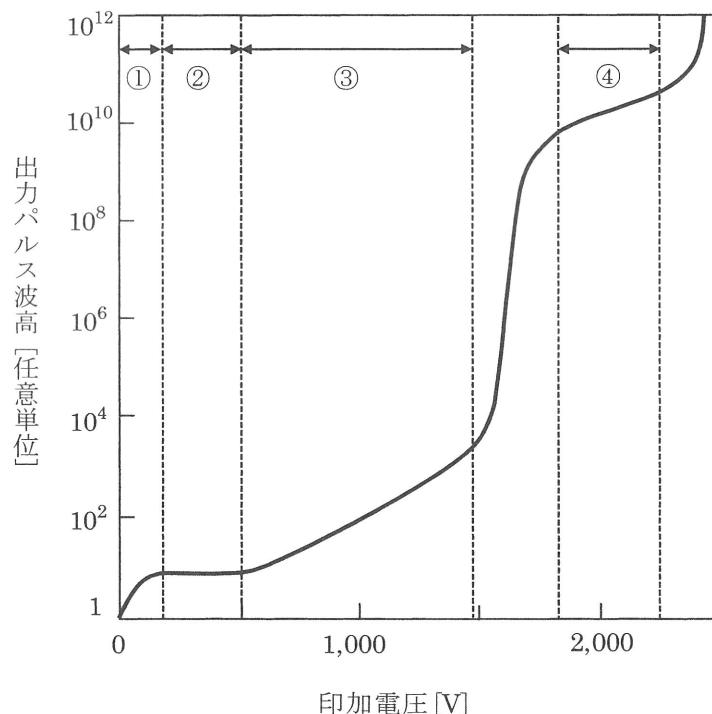
3 AとD

4 BとC

5 BとD

問28 図は気体の電離を利用した検出器の印加電圧と出力パルス波高の関係を概念的に示したもの

である。次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。



A ①の領域では、生成したイオン対の一部が再結合を起こす。

B ②の領域では、生成イオン対のほとんどは集電極で集められる。

C ③の領域では、ガス增幅により出力パルス波高は一次イオン対の数に比例する。

D ④の領域では、出力パルス波高は一次イオン対の数に比例しない。

1 ABCのみ

2 ABDのみ

3 ACDのみ

4 BCDのみ

5 ABCDすべて

問 29 γ 線 (60 keV~1.5 MeV) の1 cm線量当量の測定に関する次の記述のうち、適切なものの組合せはどれか。

- A NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータでの正確な測定に、エネルギー補償機能付を用いる。
B 放射性物質を取扱う指に取り付けたリングバッジで測定した。
C 電離箱式サーベイメータで測定した。
D ZnS(Ag)シンチレーション式サーベイメータで測定した。

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

問 30 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 1 MeVの中性子と光子を人体に照射したとき、吸収線量が同じであれば実効線量も同じである。
B 外部被ばくによる実効線量を評価するため、放射線管理の測定では1 cm線量当量が導入されている。
C 照射線量は空気に対してのみ定義される。
D レントゲンは、SI単位系における照射線量の固有な単位名称である。

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

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。なお、解答群の選択肢は必要に応じて2回以上使ってよい。

線量測定において主に用いられる物理量として、[A]と[B]がある。前者は電気的に中性な放射線にのみ使用されるのに対し、後者は全ての放射線に対し適用される。単位は $J \cdot kg^{-1}$ であるが、特別な単位として Gy を用いることが多い。

光子の[A]は[C]と質量エネルギー転移係数の積によって得ることができる。例えば、 1.25 MeV の光子が面積 1 cm^2 当たり 1.00×10^{10} 個で一様に空気に入射した場合、このときの質量エネルギー吸収係数および制動放射により失われる電子のエネルギーの割合をそれぞれ $0.0267 \text{ cm}^2 \cdot g^{-1}$ および 0.3% とすると、空気[A]の値は[ア] $J \cdot kg^{-1}$ と計算できる。

実際の空気[A]の測定では、[C]を直接測定することが困難であることから、通常は空洞電離箱が用いられる。例えば、 1 cm^3 の空気が詰められた空洞電離箱を用いて 1.25 MeV の光子を測定したところ、 1 nC の収集電荷を得た。このとき、空洞電離箱の存在による放射線場の乱れが無視できる場合、単位質量当たりの空洞空気に転移したエネルギーは、空気の W 値を 34.0 eV 、空気の密度を $1.20 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ とすると[イ] $J \cdot kg^{-1}$ と算出される。ただし、この値を直接空気[A]の値として採用できない点には注意が必要である。その理由は、収集電荷量は、主に電離箱の[D]中で発生した[E]による[F]における電離に由来するためである。この場合、まずは[G]に基づき、空洞電離箱の[H]の[B]値に[H]に対する電離箱の[D]の[I]を乗じて、電離箱の[D]における[B]を求める。さらに荷電粒子平衡条件により、電離箱の[D]に対する[H]の[J]を乗じ、さらに制動放射により失われる電子のエネルギーの割合を加味すれば、空気[A]が得られる。このような測定では、物質による違いを小さくするため、電離箱の[D]として[K]を用いることが多い。

荷電粒子平衡が成立し、制動放射により失われる電子のエネルギーの割合が無視できる場合、[A]と[B]は互いに等しくなる。

<A～Cの解答群>

- | | | |
|-------------------------|----------------|-----------------------|
| 1 照射線量 | 2 吸收線量 | 3 1 cm 線量当量 |
| 4 $70 \mu\text{m}$ 線量当量 | 5 実効線量 | 6 等価線量 |
| 7 カーマ | 8 フルエンス | 9 フルエンス率 |
| 10 エネルギーフルエンス | 11 エネルギーフルエンス率 | |

<ア、イの解答群>

- | | | | |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 1.60×10^{-5} | 2 2.84×10^{-5} | 3 3.35×10^{-5} | 4 3.55×10^{-5} |
| 5 4.29×10^{-5} | 6 5.36×10^{-5} | 7 1.60×10^{-2} | 8 2.84×10^{-2} |
| 9 3.35×10^{-2} | 10 3.55×10^{-2} | 11 4.29×10^{-2} | 12 5.36×10^{-2} |

<D～Hの解答群>

- | | | |
|---------|----------------|----------|
| 1 空気 | 2 壁物質 | 3 制動放射線 |
| 4 散乱光子 | 5 二次電子 | 6 消滅放射線 |
| 7 電子なだれ | 8 中性子 | 9 回折 |
| 10 萤光 | 11 ブラッグ・クレーマン則 | 12 質量保存則 |
| 13 空洞原理 | 14 ローレンツ変換 | |

<I、Jの解答群>

- | | | |
|---------------|----------------|----------|
| 1 阻止能 | 2 阻止能比 | 3 質量阻止能 |
| 4 質量阻止能比 | 5 線減弱係数 | 6 質量減弱係数 |
| 7 質量エネルギー吸收係数 | 8 質量エネルギー吸收係数比 | 9 W 値 |
| 10 イオン再結合係数 | | |

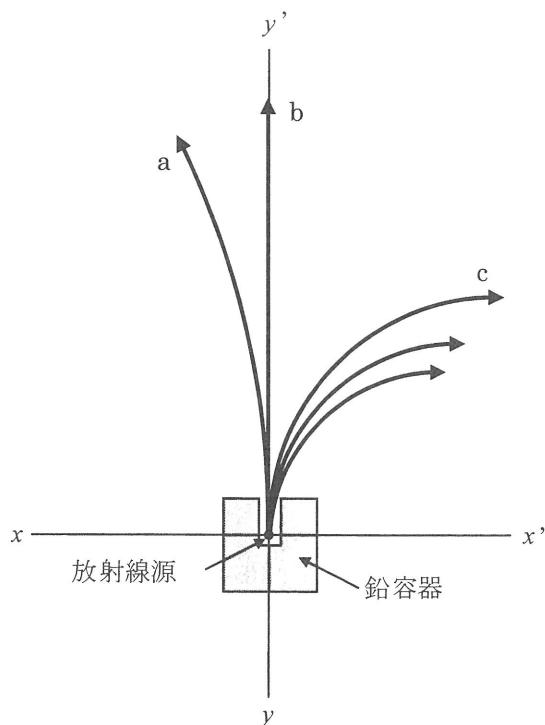
<Kの解答群>

- | | | | |
|----------|----------------------|----------|----------|
| 1 金 | 2 銀 | 3 銅 | 4 ステンレス鋼 |
| 5 鉛 | 6 プラチナ | 7 ジュラルミン | 8 アルミニウム |
| 9 グラファイト | 10 真鎔 ^{ちゆう} | | |

問 32 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。

図は、一様な磁場中における放射線の特徴を表すために模式的に描かれた図である。真空中に置かれた鉛容器には放射線源が入っており、放射線は鉛容器の小孔でコリメートされて $y-y'$ 軸上 ($y \rightarrow y'$) に向かう向きに放出される。

- (1) 放射線として放出される粒子 a、b 及び c は、それぞれ [A] である。磁界の方向は紙面に [B] 向かう向きである。
- (2) 粒子 a は、粒子に働く [C] を受けて、一定の軌道（半径 r ）をとる。粒子の質量を m_a 、電気素量を e 、磁束密度を B とすると、粒子 a の運動量は [ア] であり、運動エネルギーは [イ] である。壊変前の原子核を (Z, A) で表すと、壊変エネルギーは、粒子 a の運動エネルギーの [ウ] 倍に等しく、壊変後の原子核は [D] となる。ここで、 Z は原子番号、 A は質量数を表す。
- (3) 粒子 c は、図に示されているように、壊変ごとに軌道半径が異なる。この理由は壊変エネルギーの一部を [E] が持ち去るためであり、粒子 c のエネルギーは [F] を示す。この壊変を [G] といい、壊変前の原子核を (Z, A) と表すと、壊変後の原子核は [H] となる。ここで、 Z は原子番号、 A は質量数を表す。
- (4) 粒子 b は電磁波の性質を示し、その振動数を ν 、プランク定数を h 、光速度を c 、原子核の質量を M とすると、その運動量は [エ]、エネルギーは [オ] である。一方、粒子放出後の原子核の運動エネルギーは [カ] であり、これを [I] エネルギーという。



< A の解答群 >

- | | |
|------------------------|-------------------------|
| 1 電子、光子及び α 粒子 | 2 電子、 α 粒子及び光子 |
| 3 光子、電子及び α 粒子 | 4 光子、 α 粒子及び電子 |
| 5 α 粒子、光子及び電子 | 6 α 粒子、電子及び光子 |
| 7 電子、中性子及び α 粒子 | 8 電子、 α 粒子及び中性子 |
| 9 中性子、電子及び α 粒子 | 10 中性子、 α 粒子及び電子 |
| 11 α 粒子、中性子及び電子 | 12 α 粒子、電子及び中性子 |

< B の解答群 >

- | | | |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 平行に左から右 ($x \rightarrow x'$) | 2 平行に右から左 ($x' \rightarrow x$) | 3 平行に下から上 ($y \rightarrow y'$) |
| 4 平行に上から下 ($y' \rightarrow y$) | 5 垂直に表から裏 | 6 垂直に裏から表 |

< C の解答群 >

- | | | |
|--------------|----------|-------|
| 1 引力 | 2 クーロン力 | 3 遠心力 |
| 4 表面張力 | 5 ローレンツ力 | 6 核力 |
| 7 ファンデルワールス力 | 8 コリオリ力 | |

< ア、イの解答群 >

- | | | | |
|---------------------------|---|---------------------------|---|
| 1 erB | 2 $\frac{eB}{r}$ | 3 $m_a erB$ | 4 $m_a \frac{eB}{r}$ |
| 5 $2erB$ | 6 $\frac{2eB}{r}$ | 7 $2m_a erB$ | 8 $2m_a \frac{eB}{r}$ |
| 9 $\frac{(erB)^2}{m_a}$ | 10 $\left(\frac{eB}{r}\right)^2 \frac{1}{m_a}$ | 11 $\frac{2(erB)^2}{m_a}$ | 12 $2\left(\frac{eB}{r}\right)^2 \frac{1}{m_a}$ |
| 13 $\frac{4(erB)^2}{m_a}$ | 14 $4\left(\frac{eB}{r}\right)^2 \frac{1}{m_a}$ | | |

< ウの解答群 >

- | | | | |
|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 1 | 2 $\frac{A-1}{A-2}$ | 3 $\frac{A-1}{A-4}$ | 4 $\frac{A-2}{A-4}$ |
| 5 $\frac{A}{A-1}$ | 6 $\frac{A}{A-2}$ | 7 $\frac{A}{A-4}$ | 8 $\frac{A-4}{A-2}$ |
| 9 $\frac{A-1}{A}$ | 10 $\frac{A-2}{A}$ | 11 $\frac{A-4}{A}$ | |

< D の解答群 >

- | | | | |
|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 (Z, A) | 2 ($Z-1, A$) | 3 ($Z+1, A$) | 4 ($Z-1, A-2$) |
| 5 ($Z+1, A-2$) | 6 ($Z-2, A-2$) | 7 ($Z+2, A-2$) | 8 ($Z-2, A-4$) |
| 9 ($Z+2, A-4$) | | | |

< E、F の解答群 >

- | | | | |
|------------------|--------------|-----------|------------|
| 1 中性子 | 2 γ 線 | 3 X線 | 4 ニュートリノ |
| 5 反ニュートリノ | 6 ミュー粒子 | 7 中間子 | 8 熱として格子振動 |
| 9 マクスウェル・ボルツマン分布 | | 10 ガウス分布 | |
| 11 連続分布 | | 12 線スペクトル | |
| 13 離散的スペクトル | | 14 矩形分布 | |

< G の解答群 >

- | | | | |
|----------------|----------------|---------------|--------|
| 1 β^- 壊変 | 2 β^+ 壊変 | 3 軌道電子捕獲 | 4 内部転換 |
| 5 核異性体転移 | 6 自発核分裂 | 7 α 壊変 | |

< H の解答群 >

- | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 (Z, A) | 2 $(Z-1, A)$ | 3 $(Z+1, A)$ | 4 $(Z-1, A-2)$ |
| 5 $(Z+1, A-2)$ | 6 $(Z-2, A-2)$ | 7 $(Z+2, A-2)$ | 8 $(Z-2, A-4)$ |
| 9 $(Z+2, A-4)$ | | | |

< エ～カの解答群 >

- | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|
| 1 c | 2 hc | 3 $h\nu$ | 4 $\frac{h\nu}{c}$ |
| 5 $\frac{hc}{\nu}$ | 6 hc^2 | 7 $h\nu^2$ | 8 Mc |
| 9 Mc^2 | 10 $2Mc^2$ | 11 $\frac{h\nu}{Mc}$ | 12 $\frac{h\nu}{Mc^2}$ |
| 13 $\frac{(h\nu)^2}{Mc^2}$ | 14 $\frac{(h\nu)^2}{2Mc^2}$ | 15 $\frac{(h\nu)^2}{4Mc^2}$ | |

< I の解答群 >

- | | | | |
|------|------|-------|------|
| 1 阻止 | 2 散乱 | 3 しきい | 4 転換 |
| 5 反跳 | 6 振動 | 7 放射 | 8 壊変 |

