

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）（18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。

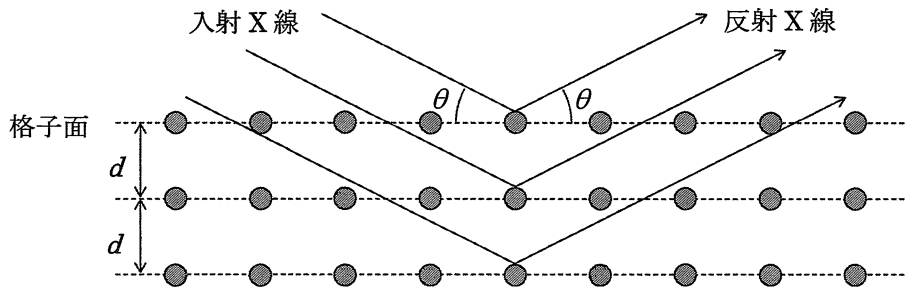
次の問 1 から問 30 について、5 つの選択肢のうち適切な答えを 1 つだけ 選び、また、問 31、問 32 の文章の の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを 1 つだけ 選び、注意事項に従って解答用紙に記入せよ。

問 1 ヘリウム-3 と熱中性子との発熱反応における反応前後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 質量は保存されていない。
- B 運動エネルギーは保存されている。
- C 運動量は保存されている。
- D 全エネルギーは保存されている。
- E 電荷保存則が成立していない。

- 1 ABEのみ 2 ACDのみ 3 ADEのみ 4 BCDのみ 5 BCEのみ

問 2 図に示す格子面が等間隔 d で積み重なった結晶における X 線のブラッグ反射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 物質の構造解析に利用される X 線の粒子性に基づく現象である。
- B 結晶の同一格子面からの反射波の位相は等しくなる。
- C 隣り合う格子面同士の行路差が波長の整数倍のときに反射波が強くなる。
- D 格子面への入射角が θ のとき、隣り合う格子面からの行路差は $2d \tan \theta$ となる。

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

問3 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 壊変と β^- 壊変は同一核種では起きない。
- B α 壊変ではニュートリノが放出されない。
- C EC壊変ではニュートリノが放出されない。
- D β^+ 壊変が起きる核種では、競合してEC壊変が起きる。

- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問4 ^{226}Ra の放射能が 3.7×10^{10} Bqであるとき、永続平衡にある ^{222}Rn の原子数に最も近い値は次のうちどれか。ただし、 ^{222}Rn の半減期を3.8日とする。

- 1 5.5×10^{15} 2 9.5×10^{15} 3 1.2×10^{16} 4 1.5×10^{16} 5 1.8×10^{16}

問5 次のうち、 β^- 壊変だけをする核種として、正しいものの組合せはどれか。

- A ^{14}C
- B ^{32}P
- C ^{40}K
- D ^{57}Co

- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問6 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を表す式として、正しいものは次のうちどれか。

1 $\frac{MZe}{2\pi B}$

2 $\frac{2\pi BM}{Ze}$

3 $\frac{Ze}{2\pi BM}$

4 $\frac{2\pi M}{BZe}$

5 $\frac{B}{2\pi MZe}$

問7 電子を加速するのに適していない加速器はどれか。

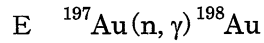
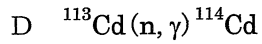
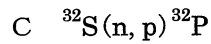
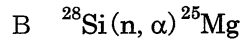
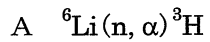
- 1 コッククロフト・ワルトン型加速器
- 2 ファン・デ・グラーフ型加速器
- 3 サイクロトロン
- 4 シンクロトロン
- 5 線形加速器

問8 次のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 1 MeVの中性子が水素原子核との衝突で熱中中性子になるまでの平均衝突回数は約25である。
- B ^{252}Cf 線源と $^{241}\text{Am-Be}$ 線源を比較すると、放出される中中性子の平均エネルギーは ^{252}Cf 線源の方が高い。
- C D-D反応で発生する中中性子のエネルギーは約14 MeVである。
- D ^3He が熱中中性子を吸収した時に起こる反応は(n, p)反応である。

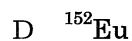
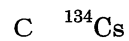
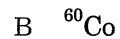
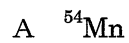
- 1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとC 5 BとD

問9 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 ABEのみ 2 ACDのみ 3 ADEのみ 4 BCDのみ 5 BCEのみ

問10 高エネルギー加速器施設の鉄筋コンクリートの放射化で生成される可能性がある放射性核種の組合せは、次のうちどれか。



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

問11 チェレンコフ効果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 荷電粒子が誘電体を通過する際に起こりうる。

B 荷電粒子の速度が物質中における光の伝播速度より遅いときに観察される。

C チェレンコフ光は荷電粒子の進行方向に対し円錐形状に前方へ放射される。

D 荷電粒子が物質中を進むにつれ、チェレンコフ光の強度が増大する。

- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問12 それぞれ電荷 z_1 、 z_2 及び質量 M_1 、 M_2 をもつ2種の等速の粒子が同じ物質中で止まり、それぞれの飛程が R_1 、 R_2 とすると、次の関係式のうち正しい式はどれか。

1 $R_1 = \left(\frac{z_2}{z_1}\right)^2 \left(\frac{M_1}{M_2}\right) R_2$

2 $R_1 = \left(\frac{z_1}{z_2}\right)^2 \left(\frac{M_1}{M_2}\right) R_2$

3 $R_1 = \left(\frac{z_2}{z_1}\right)^2 \left(\frac{M_2}{M_1}\right) R_2$

4 $R_1 = \left(\frac{z_1}{z_2}\right)^2 \left(\frac{M_2}{M_1}\right) R_2$

5 $R_1 = \left(\frac{z_1}{z_2}\right)^2 R_2$

問13 鉛に入射する20 MeV電子のエネルギー損失に関する次の記述のうち、正しいものはどれか。

- 1 放射阻止能のみである。
- 2 衝突阻止能のみである。
- 3 放射阻止能と衝突阻止能が同程度で、原子核との散乱による損失は無視できる。
- 4 原子核との散乱による損失並びに放射阻止能も無視できないが、衝突阻止能が主である。
- 5 放射阻止能が衝突阻止能よりも大きく、原子核との散乱による損失は無視できる。

問14 1.0 MeVのエネルギーを持つ電子の密度 $1.0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ の水における飛程[cm]に最も近い値は、次のうちどれか。

- 1 0.1 2 0.2 3 0.4 4 0.8 5 1.2

問15 コリメートされた単色光子線が厚さ1.20 mmの鋼板を通過したとき、透過率は12.5%であった。この光子線に対する鋼板の線減弱係数[mm⁻¹]として最も近い値は、次のうちどれか。ただし、ビルドアップ効果は無視する。

- 1 1.33 2 1.47 3 1.60 4 1.73 5 1.87

問16 光電効果に関する記述のうち、誤っているものはどれか。

- 1 光子の粒子性を示すものである。
- 2 光電子の数は光子のエネルギーに比例しない。
- 3 光電子の運動エネルギーは光子のエネルギーよりも放出された軌道電子の電離エネルギー分だけ小さい。
- 4 相互作用の結果、光子は消失する。
- 5 光電子の放出角度分布は光子のエネルギーに依存しない。

問17 オージェ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 オージェ電子放出と制動X線放出は競合して起こる。
B オージェ電子のエネルギーは線スペクトルを示す。
C 原子番号が大きい核種ほどオーজে収率（オーজে電子放出の割合）が大きくなる。
D 内部転換後にオーজে電子が放出されることがある。
- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問18 1 MeV光子の物質中での減弱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 線減弱係数は物質の原子数密度に比例する。
B 線減弱係数の逆数は平均自由行程である。
C 質量減弱係数は線源弱係数を物質の密度で除した値である。
D 質量減弱係数は物質の種類にあまり依存しない。
- 1 ABCのみ 2 ABDのみ 3 ACDのみ 4 BCDのみ 5 ABCDすべて

問19 静止している原子核と熱中性子の核反応で、質量 M_A の粒子Aと質量 M_B の粒子Bが放出されるとき、運動エネルギーの比 E_A/E_B を示す式は、次のうちどれか。ここで、A及びBの運動エネルギーをそれぞれ E_A 及び E_B とする。また、熱中性子の運動エネルギーは、核反応の発熱エネルギーと比べて十分に小さく無視できるものとする。

- 1 M_A/M_B 2 M_B/M_A 3 $\frac{M_A}{M_A + M_B}$
- 4 $\frac{M_B}{M_A + M_B}$ 5 $\frac{M_A \times M_B}{(M_A + M_B)^2}$

問20 吸収線量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 シーベルト[Sv]という特別単位が用いられる。
 B 荷電粒子平衡が成立しているとき衝突カーマと等しくなる。
 C 中性子線には適用できない。
 D 制動放射により系外に逃れるエネルギーは含まれない。

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

問21 次の量と単位の組合せのうち、正しいものはどれか。

- A 質量阻止能 $\text{J} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$
 B エネルギーフルエンス率 $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
 C 吸収線量 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
 D LET $\text{J} \cdot \text{m}^{-1}$

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

問22 光電子増倍管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 光陰極では放出される光電子数が入射光子数よりも少ない。
 B 印加電圧が1,000 V以上であれば電子数の増倍率がほぼ一定である。
 C 暗電流は温度に依存しない。
 D 出力パルス波高はダイノードの段数に依存しない。
 E 陽極出力端子では入力光子数に比例する波高の負パルスが生じる。

- 1 AとB 2 AとE 3 BとD 4 CとD 5 CとE

問23 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 熱蛍光線量計は、読み取り操作のために加熱した後には再び使用可能である。
- B アルベド型線量計は、人体に入射した高速電子が散乱により体外に出てくる散乱電子を検出する個人線量計である。
- C バブル線量計は、過熱状態にある媒質に荷電粒子がエネルギーを付与すると、準安定状態にある媒質の沸とう現象が生じることを利用する。
- D ポリカーボネート、アリルジグリコールカーボネートは、プラスチックシンチレータとしてシンチレーション検出器に利用される。

- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問24 分解時間 $220\ \mu\text{s}$ のGM計数管を用いて計数したところ、5秒間で 7.5×10^3 カウントを得た。このとき真の計数率 $[\text{s}^{-1}]$ として最も近い値は、次のうちどれか。

- 1 1,600 2 2,200 3 2,800 4 3,200 5 3,800

問25 トリチウムの放射能の測定に適している検出器として、正しいものの組合せはどれか。

- A $\text{ZnS}(\text{Ag})$ シンチレーション検出器
- B 液体シンチレーション検出器
- C BGOシンチレーション検出器
- D 通気型電離箱
- E 表面障壁型Si半導体検出器

- 1 AとB 2 AとC 3 BとD 4 CとE 5 DとE

問26 次のうち、Ge半導体検出器におけるエネルギー分解能[%] ($100 \times \text{FWHM}/E$) を理論的に表す式はどれか。ただし、検出器で吸収される放射線のエネルギーを E 、ゲルマニウムの W (e) 値を W 、ファノ因子を F とする。FWHMは半値幅を表す。

1 $235 \times \sqrt{\frac{W \cdot F}{E}}$

2 $235 \times \sqrt{\frac{F}{W \cdot E}}$

3 $235 \times \sqrt{\frac{E \cdot F}{W}}$

4 $100 \times \sqrt{\frac{W}{E \cdot F}}$

5 $100 \times \sqrt{\frac{E \cdot F}{W}}$

問27 次のうち、検出器の使用に関して適切なものの組合せはどれか。

A ^{210}Po 線源からの α 線スペクトルを測定するため、空乏層厚 $100 \mu\text{m}$ の表面障壁型 Si 半導体検出器を用いた。

B ^{210}Pb 線源からの α 線及び β 線を分離計数するため、PR ガスをフローガスとした窓無し 2π 比例計数管を用いた。

C ^{125}I 線源の放射能を測定するため、 $50 \text{ mm } \phi \times 50 \text{ mm}$ の井戸型 NaI(Tl) シンチレーション検出器を用いた。

D $^{241}\text{Am-Be}$ 線源からの中性子のエネルギースペクトルを測定するため、 BF_3 比例計数管を用いた。

E ^{32}P 線源からの β 線のエネルギースペクトルを測定するため、PR ガスを充填した比例計数管を用いた。

- 1 ABCのみ 2 ABDのみ 3 ACEのみ 4 BDEのみ 5 CDEのみ

問28 電離箱における電子・イオン対の再結合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 再結合の割合は、線量率に依存する。
- B 再結合の割合は、電離箱への印加電圧に依存する。
- C 電離電流が同じであれば、 α 線の場合も β 線の場合も再結合の割合は同じである。
- D 平均電離電流が同じであっても、連続照射の場合とパルス照射の場合では再結合の割合は異なる。

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

問29 10 cm^3 の有感体積を有する ^3He 比例計数管で熱中性子を測定したところ、 530 cps の計数率が得られた。この時の熱中性子フルエンス率 $[\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}]$ として、最も近い値は次のうちどれか。ここで、温度が 0°C のときの計数ガスの ^3He 圧力を 0.20 MPa 、 ^3He の熱中性子に対する核反応断面積を $5,300\text{ b}$ (バーン) とする。また、計数ガス内での熱中性子フルエンスの吸収による減弱は無視できるものとする。

- 1 95 2 190 3 370 4 740 5 6,800

問30 重量 $100\pm 5\text{ g}$ の試料Xからの放射線を放射線検出器で測定した。バックグラウンドを差し引いて得た計数率は $100\pm 10\text{ cps}$ であった。放射線検出器の計数効率が 0.10 ± 0.01 である場合、試料Xの放射能濃度 $10\text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ の不確かさ(標準偏差)を示す数値 $[\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}]$ として、最も近い値は次のうちどれか。ただし、Xに含まれる放射性同位元素からの放射線の放出率を 100% とする。

- 1 0.50 2 1.0 3 1.5 4 2.0 5 2.5

問31 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 原子核の構成要素は、正の電荷をもつ陽子と電荷をもたない中性子という2種類の核子である。原子核の直径は 10^{-15} m程度で、原子の直径と比べても非常に小さい。陽子と陽子の間にはお互いを反発させる□ A力が働くが、小さい原子核内では陽子同士の距離が非常に小さくなるため、□ A力も大きくなり原子核を安定させることができなくなってしまう。一方、核子には非常に短い距離にのみ作用する□ B力が働き、お互いを強く結びつける。これにより、小さな原子核の内部に多数の陽子を束縛しておくことが可能となり、原子核として存在できる。質量数が小さな安定同位体では、原子核中の陽子と中性子の数はほぼ等しいが、質量数が増すにつれて陽子と中性子の数の比は変化し、原子番号82（鉛）の安定同位体では、中性子の数は陽子の数のほぼ□ ア倍となる。

様々な核子や原子核の質量が精密に測定され、原子核の質量は構成する核子の質量の総和□ Cことが分かった。原子核を構成する種々の核子の質量の総和と原子核の質量との差 Δm は□ Dと呼ばれる。 Δm をエネルギーに換算した ΔE は原子核の□ Eエネルギーと呼ばれ、光速度を c とすると、 ΔE は□ イであらわされる。もし、重水素 ${}^2_1\text{H}$ と三重水素 ${}^3_1\text{H}$ が核融合反応を起こして中性子を放出した場合、反応前後の□ Eエネルギーの差に相当する□ ウ MeVのエネルギーが放出される。ここで、質量1 uは 1.66×10^{-27} kg、核子又は核種の質量は表のとおりとする。

表 核子又は核種とその質量

核子又は核種	質量[u]
中性子	1.0087
${}^1_1\text{H}$	1.0078
${}^2_1\text{H}$	2.0141
${}^3_1\text{H}$	3.0160
${}^3_2\text{He}$	3.0160
${}^4_2\text{He}$	4.0026

< A、Bの解答群 >

- | | | |
|--------|-------|-------------|
| 1 重 | 2 核 | 3 ファンデルワールス |
| 4 クーロン | 5 表面張 | 6 ローレンツ |
| 7 復元 | 8 起電 | |

<アの解答群>

- | | | | | |
|--------|---------|--------|--------|---------|
| 1 0.1 | 2 0.2 | 3 0.25 | 4 0.33 | 5 0.5 |
| 6 0.75 | 7 1.0 | 8 1.2 | 9 1.25 | 10 1.33 |
| 11 1.5 | 12 1.75 | 13 2.0 | 14 2.5 | |

<Cの解答群>

- | | | | |
|-----------|-------------------------|------------|--------|
| 1 の約半分となる | 2 の約 $\frac{2}{3}$ 倍となる | 3 より小さい | 4 と等しい |
| 5 より大きい | 6 のほぼ1.5倍となる | 7 のほぼ2倍となる | |

<D、Eの解答群>

- | | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| 1 位置 | 2 内部 | 3 イオン化 | 4 熱 |
| 5 結合 | 6 静止 | 7 壊変 | 8 仕事関数 |
| 9 しきい | 10 質量保存 | 11 質量効果 | 12 質量欠損 |
| 13 質量減少 | 14 質量増加 | | |

<Iの解答群>

- | | | | |
|---------------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| 1 $\frac{1}{2}\Delta m \cdot c$ | 2 $\Delta m \cdot c$ | 3 $2\Delta m \cdot c$ | 4 $\frac{1}{2}\Delta m \cdot c^2$ |
| 5 $\Delta m \cdot c^2$ | 6 $2\Delta m \cdot c^2$ | | |

<ウの解答群>

- | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 0.511 | 2 0.662 | 3 1.02 | 4 1.17 | 5 1.33 |
| 6 2.20 | 7 2.50 | 8 3.27 | 9 5.49 | 10 9.40 |
| 11 14.1 | 12 17.6 | 13 19.2 | 14 26.2 | 15 29.1 |

II 中性子のエネルギーを精度良く測定する方法の1つとして、中性子が飛行した距離と時間を計測して得られた速度から、中性子のエネルギーを計算する **F** 法がある。加速器で発生させた極短時間のパルス状の荷電粒子ビームをターゲットに照射して、発生させたパルス状の中性子を線源として利用する場合、**F** 法によるエネルギー測定が適用できる。

ここで、パルス状の荷電粒子が中性子発生用のターゲットに入射して、中性子と γ 線が同時に放出され、ターゲットから距離 l の位置にある検出器で観測された γ 線と中性子の時間差が Δt であった場合を考える。ターゲットで発生した γ 線が検出器に到達するまでに要する時間は **E** となり、この時間を考慮すると中性子の速度 v は、

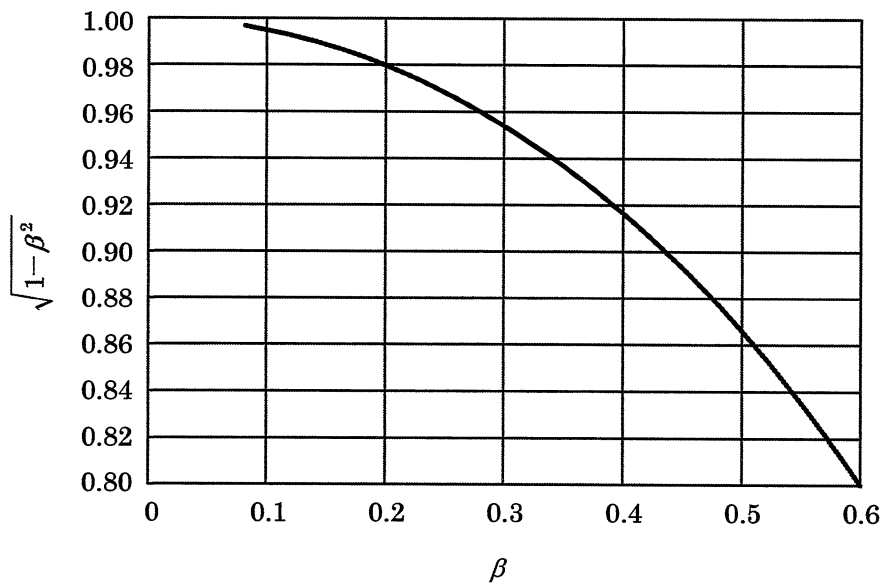
$$v = \text{オ}$$

となる。中性子の質量を m_n 、中性子の全エネルギーを E 、中性子の速度の光速に対する比 v/c を β とすると、相対論的立場から、

$$E = \text{カ}$$

となる。また、中性子の運動エネルギーは、全エネルギー E から中性子の **G** エネルギーを差し引くことにより求められる。

ターゲットから検出器までの距離 l が 5.0 m、 γ 線と中性子の時間差 Δt が 67 ns であったとき、 $\sqrt{1-\beta^2}$ は図より **キ** となり、中性子の運動エネルギーは、**ク** MeV となる。



図

< F の解答群 >

- | | | | |
|------------|------------------|----------|----------|
| 1 質量分析 | 2 γ 線共鳴吸収 | 3 チェレンコフ | 4 放射化分析 |
| 5 アンチコンプトン | 6 同時計数 | 7 減速時間測定 | 8 飛行時間測定 |
| 9 モンテカルロ | | | |

<エ、オの解答群>

- | | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 $\frac{l}{c}$ | 2 $\frac{l}{v}$ | 3 $\frac{l}{\Delta t}$ | 4 $\frac{c}{l}$ |
| 5 $\frac{v}{l}$ | 6 $l \cdot c$ | 7 $l \cdot v$ | 8 $l \cdot \Delta t$ |
| 9 $\frac{l - \frac{l}{c}}{\Delta t}$ | 10 $\frac{l + \frac{l}{c}}{\Delta t}$ | 11 $\frac{l}{\Delta t - l \cdot c}$ | 12 $\frac{l}{\Delta t - \frac{c}{l}}$ |
| 13 $\frac{l}{\Delta t + \frac{c}{l}}$ | 14 $\frac{l}{\Delta t - \frac{l}{c}}$ | 15 $\frac{l}{\Delta t + \frac{l}{c}}$ | |

<カの解答群>

- | | | | |
|---|---------------------------------------|--|--|
| 1 $m_n c^2 \cdot \beta^2$ | 2 $\frac{m_n c^2}{\beta^2}$ | 3 $m_n c^2$ | 4 $\frac{1}{2} m_n v^2$ |
| 5 $\frac{1}{2} m_n v^2 + m_n c^2$ | 6 $\frac{m_n c^2}{2\beta^2}$ | 7 $\frac{m_n c^2}{2\sqrt{1-\beta^2}}$ | 8 $\frac{m_n v^2}{2\sqrt{1-\beta^2}}$ |
| 9 $\frac{m_n c^2}{\sqrt{1-\beta^2}}$ | 10 $\frac{m_n v^2}{\sqrt{1-\beta^2}}$ | 11 $\frac{2m_n c^2}{\sqrt{1-\beta^2}}$ | 12 $\frac{2m_n v^2}{\sqrt{1-\beta^2}}$ |
| 13 $\frac{1}{2} m_n v^2 \cdot \sqrt{1-\beta^2}$ | 14 $m_n c^2 \cdot \sqrt{1-\beta^2}$ | 15 $\left(\frac{1}{2} m_n v^2 + m_n c^2\right) \cdot \sqrt{1-\beta^2}$ | |

<Gの解答群>

- | | | | | |
|------|------|--------|-------|------|
| 1 位置 | 2 内部 | 3 イオン化 | 4 熱 | 5 結合 |
| 6 静止 | 7 壊変 | 8 仕事関数 | 9 しきい | |

<キの解答群>

- | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 0.80 | 2 0.82 | 3 0.84 | 4 0.86 | 5 0.88 |
| 6 0.90 | 7 0.91 | 8 0.92 | 9 0.93 | 10 0.94 |
| 11 0.95 | 12 0.96 | 13 0.97 | 14 0.98 | 15 0.99 |

<クの解答群>

- | | | | | |
|--------|--------|-------|-------|--------|
| 1 0.51 | 2 0.66 | 3 1.0 | 4 1.2 | 5 1.5 |
| 6 2.2 | 7 2.5 | 8 3.3 | 9 5.5 | 10 9.4 |
| 11 14 | 12 16 | 13 19 | 14 26 | 15 29 |

問32 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 γ 線やX線が軌道電子と衝突し、長波長側にシフトして散乱される現象を A とよび、光の B を示す過程として知られる。この過程は、電子にエネルギーを与えることから、光子の原子系による C 散乱であるが、一般に軌道電子の結合エネルギーは入射光子エネルギーに比べて無視できるので、光子と自由電子との D 衝突として扱うことができる。

図1に示すように、エネルギー E_0 の入射光子が位置 O で静止している電子（質量を m とする）に衝突し、入射方向に対して、光子はエネルギー E 、角度 θ で散乱され、電子は運動エネルギー T 、角度 ϕ で反跳される場合を考える。

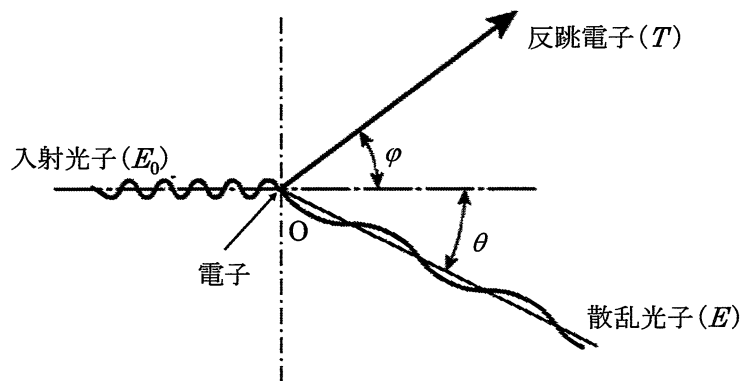


図1

ここで、反跳電子の運動量を p 、光速を c 、プランク定数を h とすると、光子の入射方向及び垂直方向に対する運動量保存則、並びにエネルギー保存則は、

$$\frac{E_0}{c} = \text{E} \quad \dots (1)$$

$$0 = \text{F} \quad \dots (2)$$

$$E_0 = E + T \quad \dots (3)$$

となる。これらの式、並びに $(pc)^2 = T(T + 2mc^2)$ なる関係を用いて次式

$$E = \frac{E_0}{1 + E_0 \text{G} x} \quad \dots (4)$$

を得る。ここで $x = (1 - \cos\theta)$ である。(4)式より散乱光子と入射光子の波長差 $\Delta\lambda$ [m] を求めると、

$$\Delta\lambda = \text{H} x \quad \dots (5)$$

となる。ただし、 $h = 6.6 \times 10^{-34}$ J·s、 $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg とする。

< A～Dの解答群 >

- | | | | |
|----------|------------|-----------|----------|
| 1 トムソン散乱 | 2 ラザフォード散乱 | 3 コンプトン効果 | 4 オージェ効果 |
| 5 光電効果 | 6 電子対生成 | 7 波動性 | 8 粒子性 |
| 9 干渉性 | 10 弾性 | 11 非弾性 | 12 共鳴 |
| 13 線形性 | | | |

< E、Fの解答群 >

- | | | |
|--|--|--|
| 1 $-\frac{h}{c}\cos\theta + p\cos\phi$ | 2 $\frac{h}{c}\cos\theta + p\cos\phi$ | 3 $-\frac{E}{c}\cos\theta + p\cos\phi$ |
| 4 $\frac{E}{c}\cos\theta + p\cos\phi$ | 5 $-\frac{E}{c}\sin\theta + p\cos\phi$ | 6 $\frac{E}{c}\sin\theta + p\cos\phi$ |
| 7 $-\frac{h}{c}\sin\theta + p\sin\phi$ | 8 $\frac{h}{c}\sin\theta + p\sin\phi$ | 9 $-\frac{E}{c}\sin\theta + p\sin\phi$ |
| 10 $\frac{E}{c}\sin\theta + p\sin\phi$ | | |

< Gの解答群 >

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

< Hの解答群 >

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1 2.0×10^{-14} | 2 2.4×10^{-14} | 3 2.8×10^{-14} | 4 3.2×10^{-14} | 5 2.0×10^{-12} |
| 6 2.4×10^{-12} | 7 2.8×10^{-12} | 8 3.2×10^{-12} | 9 2.0×10^{-10} | 10 2.4×10^{-10} |
| 11 2.8×10^{-10} | 12 3.2×10^{-10} | | | |

II ある線源から放出された単色 γ 線が図1の位置Oにある電子によって散乱されるとき、散乱 γ 線エネルギー[MeV]の逆数 $1/E$ と x の関係をプロットすると図2となった。この結果から、入射 γ 線のエネルギーは MeVであり、反跳電子のエネルギーが最大となるのは $\theta =$ 度るときで、そのエネルギーは MeVである。この入射 γ 線が最初に $\theta = 60$ 度で散乱され、さらに $\theta = 90$ 度で散乱されるとき、2回散乱された γ 線のエネルギーは MeVとなる。

次に、線源をエネルギー0.84 MeVの単色 γ 線を放出する線源に替えた。このとき、 $\theta = 90$ 度における散乱 γ 線エネルギーは MeVとなる。 $\theta = 60$ 度における波長差 $\Delta\lambda_1$ に対する $\theta = 90$ 度における波長差 $\Delta\lambda_2$ の比 $(\Delta\lambda_2/\Delta\lambda_1)$ は となる。また、 $\theta = 90$ 度ときの電子の反跳角 ϕ は、三角関数数値表からおおよそ 度となる。

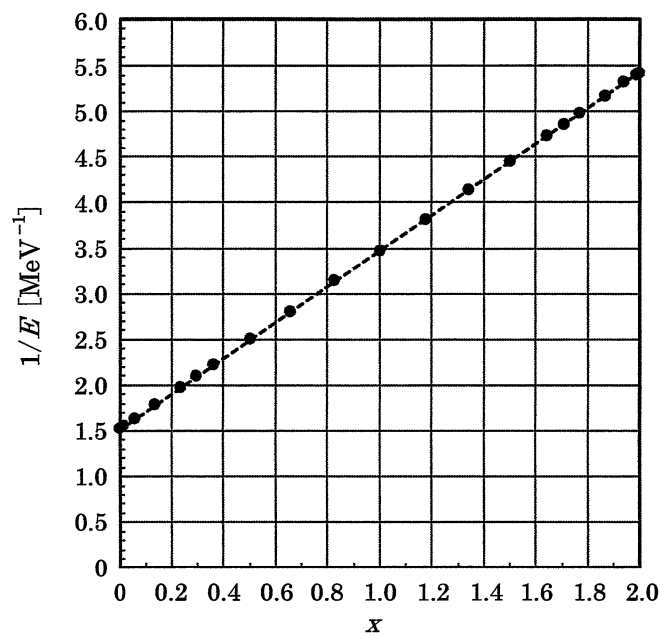


図 2

三角関数数値表

ϕ [度]	$\sin\phi$	$\cos\phi$
0	0.00	1.00
10	0.17	0.98
20	0.34	0.94
30	0.50	0.87
40	0.64	0.77
45	0.71	0.71
50	0.77	0.64
60	0.87	0.50
70	0.94	0.34
80	0.98	0.17
90	1.00	0.00

<ア～ウの解答群>

1 0.11 2 0.22 3 0.35 4 0.49 5 0.57
 6 0.67 7 0.79 8 0.89 9 1.0 10 1.1
 11 1.2

<Iの解答群>

1 0 2 30 3 45 4 60 5 90
 6 120 7 135 8 150 9 180

<エの解答群>

1 0.15 2 0.24 3 0.32 4 0.44 5 0.55
 6 0.65 7 0.75

<オの解答群>

1 0.25 2 0.50 3 0.75 4 1.0 5 1.3
 6 1.5 7 1.8 8 2.0 9 2.3 10 2.7

<カの解答群>

1 0 2 10 3 20 4 30 5 40
 6 45 7 50 8 60 9 70 10 80