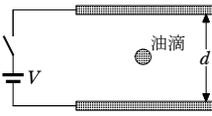


1]06ミリカンの実験[2006 近畿大]

重力加速度の大きさを g として、次の各問の答えとして最も適当なものを、それぞれの解答群の中から1つ選べ。

図のように電圧をかけていない平行板電極間に、質量 m の微小な油滴を落とすところ、油滴は落下しはじめるとすぐに一定の速さ(終端速度) v_1 になった。油滴には速さに比例する空気抵抗 kv (k : 定数, v : 油滴の速さ) がはたらく。



(1) v_1 はいくらか。

- ① mgk ② $\frac{mg}{k}$ ③ $\frac{mk}{g}$ ④ $\frac{kg}{m}$ ⑤ $\frac{k}{mg}$ ⑥ $\frac{g}{mk}$

スイッチを閉じ平行板電極間に電圧 V をかけたところ、落下していた油滴は上昇しはじめ、そしてすぐに一定の速さ v_2 になった。油滴の電気量は $-q$ (<0) とする。

(2) 平行板電極間の電界(電場)の強さ E はいくらか。ただし、平行板の電極間隔は d である。

- ① Vd ② $\frac{d}{V}$ ③ $\frac{V}{d}$ ④ qVd ⑤ $\frac{qd}{V}$ ⑥ $\frac{qV}{d}$

(3) v_2 はいくらか。

- ① $\frac{k}{qE+mg}$ ② $k(qE+mg)$ ③ $\frac{qE+mg}{k}$
 ④ $\frac{k}{qE-mg}$ ⑤ $k(qE-mg)$ ⑥ $\frac{qE-mg}{k}$

(4) 油滴の電気量 q を求めよ。

- ① $\frac{kV(v_1+v_2)}{d}$ ② $\frac{dV(v_1+v_2)}{k}$ ③ $\frac{kdV}{v_1+v_2}$
 ④ $kd(v_1+v_2)V$ ⑤ $\frac{dV}{k(v_1+v_2)}$ ⑥ $\frac{kd(v_1+v_2)}{V}$

(5) さまざまに帯電した油滴を用いて実験したところ q は

3.2, 4.8, 9.7, 1.5, 6.5 (単位は $\times 10^{-19} \text{C}$)

となった。油滴の電気量は電気素量 e の整数倍であるとする、この実験データから推測される e はいくらか。

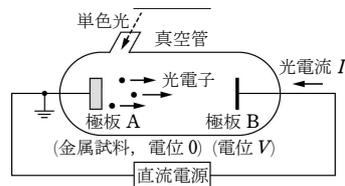
- ① 1.2 ② 1.6 ③ 3.2 ④ 4.8 ⑤ 6.4 ⑥ 9.7

2]17光電効果[2017 立命館大]

次の文章を読み、 \square ア～ \square エに適切な数式、 \square オ、 \square カに適切な数値を答えよ。また、 \square イ～ \square へには指定された選択肢から最も適切なものを選べ。なお、 \square オ、 \square カの数値はいずれも有効数字2桁とし、 \square ろと \square ほ、 \square はと \square にには同じ選択肢を選んでもよい。

金属の表面に波長の十分に短い光を当てると、表面から電子が飛び出す現象が知られており、これを光電効果とよぶ。アインシュタインは「振動数 ν の光はエネルギー $h\nu$ をもつ粒子(光子、または光量子)の集団としてふるまう(h はプランク定数)」とする光量子仮説を唱え、従来の光の波動説では説明のつかなかった光電効果を説明した。

(1) 図は光電効果を調べる実験の模式図である。



極板 A は金属試料であり、接地されていて常に電位は 0 である。極板 B は極板 A と平行に置かれており、その電位 V は正から負に自由に変えられるものとする。極板 A に十分に短い波長の単色光を当てると、極板 A からさまざまな速度の電子(光電子)が飛び出し、光電子が極板 B に到達すると回路に光電流 I が流れる。

大きさ v_A の初速度で極板 A から垂直に飛び出した光電子を考えよう。電子は電気量 $-e$ (e は電気素量) をもつ粒子であるから、極板間の電場から(正または負の)仕事をされる。したがって、この光電子が極板 B に到達できるための条件は、 V , v_A , e , および電子の質量 m を用いて \square い と表される。この条件が満たされているとき、極板 B の位置での光電子の速さ v_B は \square ア となる。

さて、単色光を当てながら、 V の値を徐々に下げたところ、負の電位 $V = -V_0$ ($V_0 > 0$) になったときに回路を流れる光電流 I が 0 となり、 $V < -V_0$ では光電流 I は 0 のままであった。このとき上の考察より、極板 A から飛び出す光電子の速さの \square ろ を求めることができる。この値は、 e , V_0 , および電子の質量 m を用いて \square イ と表される。アインシュタインの光量子仮説によると、1 個の光子が吸収されることによって金属中の 1 個の電子を「たたき出す」ため、飛び出す瞬間の光電子の速さの(ろ)は、入射する単色光の \square は によって決まり、 \square にには依存しない。一方、光電流 I が流れている状態で任意の十分大きな正の電位 V に対しては、ほぼすべての光電子が極板 B に到達できるため、光電流 I は上限値に近づくが、この値はおもに入射単色光の(に)によって決まる。

金属表面から電子 1 個を取り出すのに必要なエネルギーは、電子ごとに異なる値をとりえるが、この実験では、飛び出す瞬間の光電子の速さが(ろ)となるとときに、必要なエネルギーは \square ほ をとり、これを仕事関数とよぶ。仕事関数は、金属の種類や表面の状態によって決まることが知られている。図の実験において、仕事関数 W は、入射する単色光の波長 λ , 真空中の光の速さ c , および h , e , V_0 を用いて、 $W = \square$ ウ と表すことができる。また、光電効果の起こる波長 λ の上限値(限界波長)は、 h , c , W を用いて、 \square エ と表される。

光の波動(電磁波)としての解釈に基づいて光電効果の現象を考察すると \square へ」という結論が導かれるため、限界波長の存在の説明は困難であった。しかしながら、光量子仮説を用いることにより、その存在は初めて合理的に説明された。

(2) ある金属試料に対し、波長の違う 2 種類の単色光を用いて図の光電効果の実験を行ったところ、 V_0 として 1.6 V と 7.8 V が得られた。長いほうの単色光の波長は短いほうの波長の 2.0 倍であった。長いほうの単色光の波長は \square オ m である。また、この金属試料に対する光電効果の限界波長は \square カ m と求められる。

ここで、電気素量 e , 真空中の光の速さ c , プランク定数 h の値は、それぞれ

$$e \approx 1.60 \times 10^{-19} \text{C},$$

$$c \approx 3.00 \times 10^8 \text{m/s},$$

$$h \approx 6.63 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s} \approx 4.14 \times 10^{-15} \text{eV} \cdot \text{s}$$

である。なお、エネルギーの単位 eV(電子ボルト)は、「電気素量 e の電荷を 1 V の電位差で加速して得られる運動エネルギー」として定義されており、 $1 \text{eV} \approx 1.60 \times 10^{-19} \text{J}$ である。

\square い に対する選択肢

- ① $mv_A + eV \geq 0$ ② $mv_A + eV < 0$ ③ $mv_A - eV \geq 0$
 ④ $mv_A - eV < 0$ ⑤ $\frac{1}{2}mv_A^2 + eV \geq 0$ ⑥ $\frac{1}{2}mv_A^2 + eV < 0$
 ⑦ $\frac{1}{2}mv_A^2 - eV \geq 0$ ⑧ $\frac{1}{2}mv_A^2 - eV < 0$

\square ろ, \square ほ に対する選択肢

- ① 最大値 ② 最小値 ③ 平均値
 ④ 二乗平均値 ⑤ 中間値 ⑥ 中央値

\square は, \square に に対する選択肢

- ① 屈折率 ② 反射率 ③ 位相 ④ 波長
 ⑤ 限界振動数 ⑥ コンプトン波長 ⑦ 量子数 ⑧ 電離エネルギー
 ⑨ エネルギー準位 ⑩ 吸収スペクトル ⑪ 強度 ⑫ 絶対温度

\square へ に対する選択肢

- ① 光は電子にエネルギーを与えることができない
 ② 光が電子に与えるエネルギーは電磁波としての振動数で決まり、波長には依存しない
 ③ 光が電子に与えるエネルギーは電磁波としての波長で決まり、振幅には依存しない
 ④ 光が電子に与えるエネルギーは電磁波としての振幅で決まり、振動数には依存しない
 ⑤ 光が電子に与えるエネルギーは電子の運動状態のみで決まり、電磁波としての光の性質には依存しない

3]11ブラッグ反射と光電効果[2011 徳島大]

光と電子に関する次の問い(1)~(5)に答えよ。

[A] X線(エックス線)のような波長 λ [m]がきわめて短い光を用いて物質の構造を調べることができる。図1のようにX線を結晶に当てると、入射角度 θ がある条件を満たすときに強く反射する。この性質を利用して結晶の原子面間隔 d [m]を求めることができる。

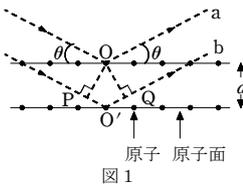


図1

(1) 結晶の原子面間隔が d であるとき、図1のX線aとbの経路差 $\Delta x = PO' + O'Q$ を λ, d, θ の中で必要なものを用いて表せ。ただし、点Oからbの経路におろした垂線とbの経路との交点をP, Qとする。

(2) n を任意の自然数として、反射したX線が強めあう条件式を $\Delta x, \lambda, n$ を用いて表せ。

(3) 波長 7.1×10^{-11} mのX線を入射させると $n=2, \theta=30^\circ$ のときに強く反射した。原子面間隔 d [m]を求めよ。

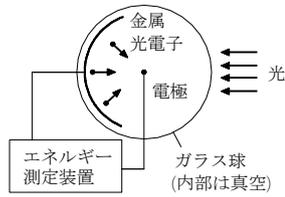


図2

[B] 図2のように真空中の金属にいろいろな振動数 f [Hz]の光を当てると電子(光電子)が飛び出す。光の振動数 f と電極で集められた光電子の最大運動エネルギー E [J]の関係は表のようになった。

f [Hz]	4.50×10^{14}	5.00×10^{14}	5.50×10^{14}	6.00×10^{14}	6.50×10^{14}
E [J]	1.60×10^{-20}	4.80×10^{-20}	8.00×10^{-20}	11.2×10^{-20}	14.4×10^{-20}

(4) 表の数値を図3のグラフにかき、光をあてても電子が飛びださない光の振動数の最大値 f_0 [Hz]を求めよ。

(5) f [Hz]と E [J]の関係は h, E_0 を定数として $E = hf + E_0$ で表されることがわかっている。この実験から得られる傾きの値 h はいくらか。 h は光のエネルギーを記述するのに用いられる重要な定数である。

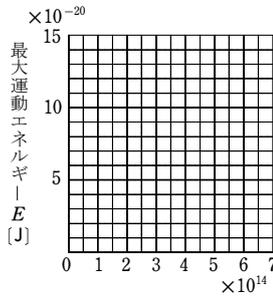


図3

4]05 X線の発生とブラッグ反射[2005 筑波大]

図1に示すように、X線発生管内で陰極から初速度0で放出された電子を、加速電圧 V で加速して陽極に衝突させると、図2のスペクトルをもつX線が発生した。このX線は、連続X線と波長 λ_1 および λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$)の特性X線(固有X線)からなる。このX線を、図1に示すように結晶に入射するとする。この場合について、以下の問いに答えよ。ただし、電子の質量を m 、電子の電荷を $-e$ 、プランク定数を h 、光の速さを c とする。

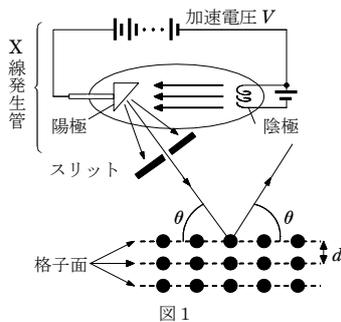


図1

(1) 陽極に衝突する直前の電子の速さ v_0 と、物質波としての電子の波長 λ_0 を V, m, e, h, c のうち必要なものを用いて表せ。

(2) 加速電圧 V をさらに大きくするとき、発生するX線について下記の問いに答えよ。

(a) 連続X線の最短波長 λ_{\min} はどうなるか述べよ。また、 λ_{\min} を V, m, e, h, c のうち必要なものを用いて表せ。

(b) 特性X線の波長はどうなるか述べよ。

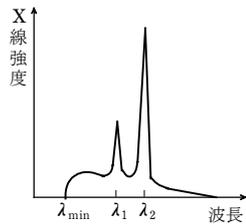


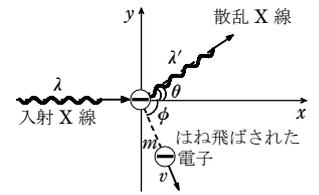
図2

(3) 加速電圧 V で発生したX線を、図1に示すようにスリットを通して面間隔 d の格子面に対し角度 θ で入射する。入射角度 θ を 0° から徐々に大きくするとき、反射角度 θ 方向のX線強度が先に極大になるのは、波長 λ_1 と λ_2 の特性X線のどちらか。その理由も述べよ。

(4) 図1のX線発生管で発生したX線のかわりに、電子線を結晶に入射しても、回折が起こる。面間隔 d が 2.0×10^{-10} mである格子面に対して、入射角度 $\theta = 30^\circ$ で電子線を入射する。入射電子のエネルギーを1 keVから2 keVまで変化させるとき、反射角度 $\theta = 30^\circ$ 方向の電子線強度が極大を示す回数を求めよ。ただし、 $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg, $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $h = 6.6 \times 10^{-34}$ J·sとする。

5]17コンプトン効果[2017 九州工業大]

X線と電子の粒子性と波動性について、次の[ア]~[キ]に当てはまる数式、記号、数値を答えよ。ただし、電子の質量を m 、電子の電気量を $-e$ 、プランク定数を h 、光の速さを c とする。また、数値を求めるときには、 $m = 9.11 \times 10^{-31}$ kg, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J·s, $c = 3.00 \times 10^8$ m/sを用いよ。



図のように、原点に静止している電子に、 x 軸の正の向きへ入射させた波長 λ のX線を当てると、 xy 平面上において、電子はX線の入射方向に対して角度 ϕ の方向に速さ v ではね飛ばされた。また、散乱X線の波長は λ' となり、 xy 平面上において、入射方向に対して角度 θ の方向に進んだ。この現象を、1個のX線の光子と1個の電子の衝突として考える。

(1) 衝突の前後における運動量の保存の法則から、以下が成りたつ。

入射方向(図の x 方向)について $\frac{h}{\lambda} =$ [ア] ……(a)

これと垂直な方向(図の y 方向)について $0 =$ [イ] ……(b)

ただし、[ア], [イ]は、 $m, h, v, \lambda', \theta, \phi$ を用いて表せ。

(2) 衝突の前後におけるエネルギーの保存の法則から

$\frac{hc}{\lambda} =$ [ウ] ……(c)

が成りたつ。ただし、[ウ]は、 m, h, c, v, λ' を用いて表せ。

(3) (a), (b), (c)式から、以下のようにして衝突によるX線の波長の変化を求める。(a)式と(b)式から ϕ を消去すると

$(mv)^2 =$ [エ] ……(d)

となる。ただし、[エ]は、 $h, \lambda, \lambda', \theta$ を用いて表せ。

(d)式と(c)式から v を消去することにより

$\lambda' - \lambda =$ [オ] $\times \left(\frac{\lambda'}{\lambda} + \frac{\lambda}{\lambda'} - 2\cos\theta \right)$ ……(e)

となる。ただし、[オ]は、 m, h, c を用いて表せ。

波長の差 $|\lambda' - \lambda|$ が λ に比べて十分小さい場合には、 $\frac{\lambda'}{\lambda} + \frac{\lambda}{\lambda'} \approx 2$ と近似できるので

$\lambda' - \lambda \approx$ [カ] $\times (2 - 2\cos\theta)$ ……(f)

となる。

(4) (f)式より、 $0^\circ < \theta < 180^\circ$ の場合、衝突によりX線の波長は[カ] ことがわかる。

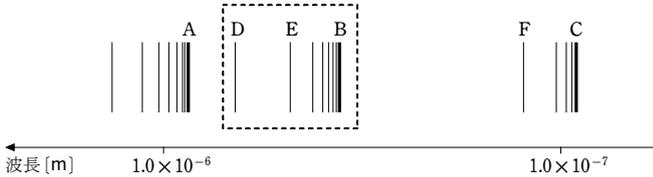
[カ]に当てはまる適切な語句を以下の中から選び、記号で答えよ。

- ① 長くなる ② 短くなる ③ 変化しない

(5) 入射X線の波長が $\lambda = 7.09 \times 10^{-11}$ mのとき、 $\theta = 90.0^\circ$ の方向に散乱されるX線の波長は $\lambda' =$ [キ] mである。ただし、[キ]は、有効数字3桁で数値を答えよ。

6] 10水素原子モデル [2010 筑波大]

高温の水素原子は特定の波長の電磁波を放射することが知られている。赤外線領域から波長が短い領域にかけて測定を行ったところ、図のようなスペクトルが観察された。スペクトルの輝線は黒線で表されている。図の横軸は、右から左に波長が長くなるように、波長に対する対数目盛りになっている。なお、図中の破線で囲まれた部分は、人間の目に見える光であった。観察されたスペクトルの間隔は一定ではなく、図中の A, B, C で示すように、輝線が集中している部分が3か所存在した。また、Cよりも短い波長の電磁波は観察されなかった。この現象に関して次の問いに答えよ。ただし、電子の質量を m [kg]、電子の電荷を $-e$ [C] とし、静電気力に関するクーロンの法則の比例定数を k_0 [N・m²/C²] とする。必要であれば、質量 m [kg]、速さ v [m/s] の物質粒子のドブロイ波長 λ [m] は、プランク定数 h [J・s] を用いて $\lambda = \frac{h}{mv}$ と表されることを用いてよい。



- 水素原子において、電子が原子核のまわりを速さ v [m/s]、半径 r [m] で等速円運動していると考えるとき、この運動の運動方程式を v, r, m, e, k_0 を用いて表せ。
- 等速円運動の円周の長さは、電子のドブロイ波長の n 倍であるとして (ただし、 n は自然数)、等速円運動の半径 r [m] がとりうる値を n, m, e, k_0, h を用いて表せ。
- 位置エネルギーの基準を無限遠として、電子の力学的エネルギー (運動エネルギーと位置エネルギーの和) を n, m, e, k_0, h を用いて表せ。
- 図中の記号 F で示した波長の電磁波が放射される理由について、電子のエネルギー準位の観点から、具体的な n の値に言及しつつ、100 字程度で説明せよ。
- 図中の記号 E で示した輝線の光の波長は 4.9×10^{-7} m である。図中の記号 D で示した輝線の光の波長を有効数字 2 桁で求めよ。

7] 16放射性崩壊と半減期 [2016 徳島大]

次の文章の [ア] ~ [コ] に適当な語句または数字を入れよ。
 天然に存在する原子核の中には、ウランやラジウムなど、不安定な原子核がある。これらは放射線とよばれる高エネルギーの粒子や電磁波を出しながら、別の原子核に変わる。この現象を原子核の崩壊という。物質が自然に放射線を出す性質を放射能といい、放射能をもった物質を放射性物質という。1秒あたりに崩壊する原子核の数を放射能の強さといい、単位は [ア] を用いる。放射線は物質中の原子から電子をはじき飛ばして原子をイオンにする電離作用をもっているため、放射線は物質にエネルギーを与える。物質が 1 kg 当りに吸収する放射線のエネルギーを吸収線量といい、単位は [イ] を用いる。人体も放射線を浴びると影響を受ける。放射線による人体への影響の大きさを表す量を実効線量といい、単位は [ウ] を用いる。

原子核が別の原子核に変わる崩壊には、原子核から陽子 2 個と中性子 2 個が ${}^4_2\text{He}$ となって出ていく [エ] と、原子核中の 1 個の [オ] が [カ] に変化し電子が飛び出す [キ] がある。質量数が 200 をこす不安定な原子核では、安定な原子核になるまでにこれらの崩壊を複数回起こすことで生じる一連の原子核の系列が存在し、崩壊系列という。この崩壊系列には崩壊に伴う質量数の変化から、[ク] 種類の系列が存在する。

ウラン系列では、 ${}^{238}_{92}\text{U}$ が [エ] を [ケ] 回、[キ] を [コ] 回行って、安定な ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ になる。

- カリウムは人間にとって必須栄養素であり、大人は約 140 g のカリウムを体内に蓄積している。カリウムには放射性同位体の ${}^{40}_{19}\text{K}$ が含まれているため、人間は体内から放射線を出している。次の問いに有効数字 2 桁で答えよ。
 - カリウム中の ${}^{40}_{19}\text{K}$ の存在比は 0.012 % である。アボガドロ定数を 6.0×10^{23} /mol とし、カリウム 140 g 中の ${}^{40}_{19}\text{K}$ の個数を求めよ。
 - ${}^{40}_{19}\text{K}$ の半減期 T は 12.8 億年 $\approx 4.0 \times 10^{16}$ 秒である。カリウム 140 g の放射能の強さを求めよ。ただし、半減期 T が十分に長いので、 $\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} \approx 1 - \frac{0.69}{T}t$ と近似せよ。

8] 04核分裂により解放されるエネルギー [2004 新潟大]

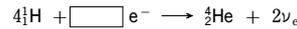
原子核 ${}^A_Z\text{X}$ の質量は、それを構成する陽子と中性子の質量の総和より小さいことが知られている。これは原子核を陽子と中性子にばらばらにするには、エネルギーが必要であることを示している。このエネルギーを結合エネルギーという。次の問いに答えよ。

- 原子核 ${}^A_Z\text{X}$ 、陽子と中性子の質量をそれぞれ M, m_p, m_n とするとき、結合エネルギーはどのように表されるか。 M, m_p, m_n および光の速さ c を用いて表せ。
- ${}^{235}_{92}\text{U}$ は自然には核分裂しにくい、中性子を衝突させると、たとえば次のような核分裂を起こす。

$${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{141}_{54}\text{Ba} + {}^{92}_{38}\text{Kr} + 3{}^1_0\text{n}$$
 この核分裂により解放される核エネルギーは何 J か。ただし、 ${}^{235}_{92}\text{U}, {}^{141}_{54}\text{Ba}, {}^{92}_{38}\text{Kr}$ および中性子の質量は、それぞれ 390.215×10^{-27} kg, 233.943×10^{-27} kg, 152.614×10^{-27} kg および 1.675×10^{-27} kg である。また、光の速さ c の値は 3.0×10^8 m/s を用いよ。
- 1.0 g の ${}^{235}_{92}\text{U}$ がすべて (2) の核分裂をしたとき、この放出されたエネルギーは石炭何 kg が燃焼したときに放出するエネルギーと同じか。ただし、アボガドロ数は 6.0×10^{23} で、石炭 1.0 kg が燃焼したときに放出するエネルギーは 3.0×10^7 J である。

9] 17核エネルギー [2017 川崎医科大]

次の反応は、陽子 ${}^1_1\text{H}$ と電子 e^- から、ヘリウム原子核 ${}^4_2\text{He}$ と電子ニュートリノ ν_e が生成されることを表している。



次の問いに答えよ。ただし、 ${}^1_1\text{H}, {}^4_2\text{He}$ および中性子の質量をそれぞれ 1.0078 u, 4.0026 u, 1.0087 u、真空中の光の速さを 3.00×10^8 m/s、電気素量を 1.60×10^{-19} C, $1 \text{ u} = 1.66 \times 10^{-27}$ kg とする。

- \square に当てはまる数字を選べ。
 ① 1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ⑤ 5 ⑥ 0
 - この反応は何か。
 ① α 崩壊 ② 核分裂反応 ③ ドップラー効果
 ④ 核融合反応 ⑤ 光電効果 ⑥ 誘電分極
 - 質量 1 u に相当するエネルギーとして最も適切なものを選べ。
 - この反応で 1 回当たりに放出されるエネルギーとして、最も適切なものを選べ。ただし、 e^- と ν_e の質量を無視できるものとする。
 - ${}^4_2\text{He}$ の 1 核子当たりの結合エネルギーとして、最も適切なものを選べ。
- (3)~(5)の選択肢 (同じものをくり返し選択してもよい)
- ① 2.39×10^{-29} eV ② 1.66×10^{-27} eV ③ 1.60×10^{-19} eV ④ 0.163 MeV
 ⑤ 0.511 MeV ⑥ 0.934 MeV ⑦ 1.63 MeV ⑧ 6.65 MeV
 ⑨ 7.10 MeV ⑩ 26.7 MeV ⑪ 28.3 MeV ⑫ 934 MeV
 - 電子ニュートリノはレプトンに分類される。次の粒子の中でレプトンはどれか。ただし、選択肢にレプトンが複数ある場合は、すべて選べ。
 ① パイ中間子 ② クォーク ③ タウ粒子 ④ 陽子 ⑤ 光子
 ⑥ 中性子 ⑦ ミュー粒子 ⑧ グルーオン ⑨ ミューニュートリノ