

## 令和6(2024)年度入学者選抜個別(第2次)学力検査問題

# 理 科

### 注 意 事 項

1. 監督者の指示があるまで、この冊子を開いてはいけません。
2. この冊子は、全部で32ページあり、第1～3ページは下書用紙です。下書用紙は切り離してはいけません。
3. 解答用紙は、問題冊子と別に印刷されているので、誤らないように注意しなさい。
4. 解答は、必ず解答用紙の指定された欄内に記入しなさい。点線より右側には何も記入しないこと。
5. 入学志願票に選択を記載した2科目について解答しなさい。選択していない科目について解答しても無効です。
6. 各解答用紙には、受験番号欄が2か所ずつあります。それぞれ記入を忘れないこと。
7. 解答用紙は、記入の有無にかかわらず、机上に置き、持ち帰ってはいけません。この冊子は持ち帰りなさい。
8. 落丁または印刷の不鮮明な箇所があれば申し出なさい。



下 書 用 紙 (切り取ってはいけない)



下 書 用 紙 (切り取ってはいけない)



下 書 用 紙 (切り取ってはいけない)

# 物 理

(注) 医学科の受験生は(1)から(14)までの全ての問題を、歯学科および保健衛生学科(検査技術学専攻)の受験生は(1)から(11)までを解答せよ。

- 1 質量  $m$  の物体 2 つとばね定数  $k$  のばね 3 つを用いて、滑らかな水平面上に連結したばね振り子をつくった(図 1)。両物体に力を加えないとき、それらはばねの自然長の位置(図 1 中の点  $O_1$ ,  $O_2$ )に静止している。両物体はばねの伸縮方向にのみ動き、両端の壁は動かない。物体  $j$  ( $= 1, 2$ ) の点  $O_j$  からの変位を、右方向を正にとり  $x_j$  で表す。また物体  $j$  の速度を  $v_j$ , 加速度を  $a_j$  で表す。ばねの質量や空気抵抗の影響は無視できる。解答は問題文末尾にある [ ] 内の記号のうち必要なものを用いて表現すること。

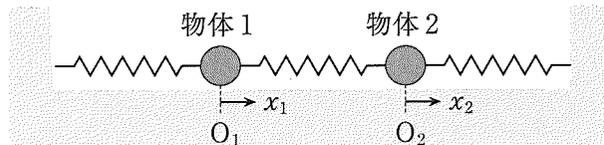


図 1

両物体に手で外力を加えて  $x_1 = d (> 0)$ ,  $x_2 = 0$  の位置に静止させた。物体 2 を動かないように固定したまま、物体 1 のみからそっと手を離すと物体 1 は単振動を始めた。

- (1) 物体 1 に対する運動方程式を記せ。[ $m, k, x_1, v_1, a_1$ ]
- (2) 単振動の周期  $T$  を求めよ。[ $m, k, d$ ]

両物体を  $x_1 = x_2 = 0$  の位置に戻して静止させ、手を離れた。その後、物体 2 のみに手で外力を加えて  $x_2 = d$  となる位置に静止させた。このとき物体 1 も移動したのち静止した。

- (3) 物体 1 の位置  $x_1$  を求めよ。[ $m, k, d$ ]
- (4) 物体 2 に加えている外力を求めよ。右向きを正とする。[ $m, k, d$ ]
- (5) 3 つのばねに蓄えられている弾性力による位置エネルギーの和を求めよ。[ $m, k, d$ ]

前問の状態において物体 2 からそっと手を離すと、両物体は運動を始めた。手を離れた時刻を  $t = 0$  とする。

- (6) 両物体に対する運動方程式を記せ。数式には括弧を用いずに表すこと。  
[ $m, k, x_1, x_2, v_1, v_2, a_1, a_2$ ]

両物体の運動を調べるために、変数変換  $y_1 = x_1 + x_2$ ,  $y_2 = x_1 - x_2$  を行う。また  $y_j$  ( $j = 1, 2$ ) に対応する速度を  $u_j$ , 加速度を  $b_j$  で表す。

- (7)  $u_1$  および  $b_2$  を、元の変数を用いて表せ。[ $x_1, x_2, v_1, v_2, a_1, a_2$ ]
- (8) (6) で求めた 2 つの運動方程式を、新しい変数を用いて書き直せ。[ $m, k, y_1, y_2, u_1, u_2, b_1, b_2$ ]
- (9) 時刻  $t = 0$  での  $y_1$  および  $u_2$  の値、すなわち  $y_1(0)$ ,  $u_2(0)$  の値を記せ。  
[ $m, k, d$ ]
- (10)  $y_1(t)$ ,  $y_2(t)$  を求めよ。[ $m, k, d, t$ ]

また、それらの概形を解答用紙のグラフに示せ。 $y_1(t)$  は実線、 $y_2(t)$  は点線で示すこと。ただし  $t \geq 0$  であり、グラフの横軸にある  $T$  は(2)で求めた量である。

- (11)  $x_2(t)$  を求めよ。[ $m, k, d, t$ ]

質量  $m$  の物体 3 つとばね定数  $k$  のばね 4 つを用いて滑らかな水平面上に連結したばね振り子をつくった(図 2)。全物体に力を加えないとき、それらはばねの自然長の位置(図 2 中の点  $O_1, O_2, O_3$ )に静止している。物体  $j(=1, 2, 3)$  の点  $O_j$  からの変位を、右方向を正にとり  $x_j$  で表す。また物体  $j$  の速度を  $v_j$ , 加速度を  $a_j$  で表す。

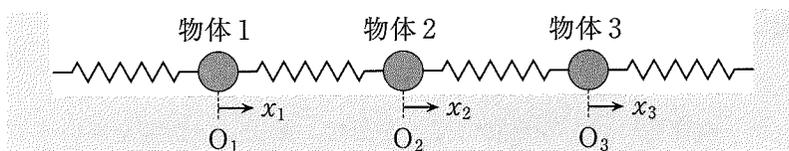


図 2

全物体が静止している状況から、物体 2 のみに手で外力を加えて  $x_2 = d$  となる位置に静止させた。このとき物体 1, 3 も移動したのち静止した。その後、時刻  $t = 0$  に物体 2 からそっと手を離すと、3 つの物体は運動を始めた。

- (12) 3 つの物体に対する運動方程式を記せ。数式には括弧を用いずに表すこと。[ $m, k, x_1, x_2, x_3, v_1, v_2, v_3, a_1, a_2, a_3$ ]

3 つの物体の運動を調べるために、変数変換  $y_1 = x_1 + \sqrt{2}x_2 + x_3$ ,  $y_2 = x_1 - x_3$ ,  $y_3 = x_1 - \sqrt{2}x_2 + x_3$  を行う。また  $y_j (j = 1, 2, 3)$  に対応する速度を  $u_j$ , 加速度を  $b_j$  で表す。

- (13) (12) で求めた 3 つの運動方程式を、新しい変数を用いて書き直せ。[ $m, k, y_1, y_2, y_3, u_1, u_2, u_3, b_1, b_2, b_3$ ]
- (14)  $y_2(t), x_2(t)$  を求めよ。[ $m, k, d, t$ ]



(注) 医学科の受験生は(1)から(11)までの全ての問題を、歯学科および保健衛生学科(検査技術学専攻)の受験生は(1)から(9)までを解答せよ。

2 電子(質量  $m$ , 電気量  $-e$ )は波動性を示し, 電子線を結晶に入射させると回折がおこる。図1のように, 電子銃は, 静止している電子を電位  $-V(V > 0)$ の電極 O から電位 0 の電極 P へ加速し, 真空中に射出する。この電子線は, 結晶に格子面 1 と角度  $\theta$  をなす向きから入射する。

最初に, 図1のように, 結晶の内部電位が一様に 0 で真空中の電位と等しい場合を考える。このとき, 結晶中に入射した電子線は結晶表面(格子面 1)で屈折せず直進する。結晶内に規則的に並ぶ原子によって電子線が回折し, 格子面 1, 2 から反射した電子線が干渉した。なお電子は, 進む間にエネルギーを失ったり, 電子線から失われることはないとする。格子面は平行であり, 格子面間隔は  $d$  である。プランク定数を  $h$  とし, 電気素量を  $e(> 0)$  とする。また, 角度  $\theta$  の単位はラジアンとし, 電子に働く重力は無視できるとする。解答は, 問題文末尾にある [ ] 内の記号のうち必要なものを用いて表現すること。

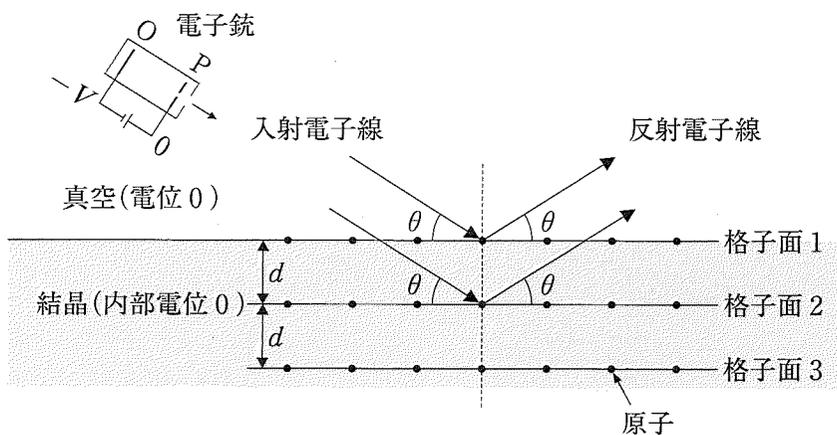


図 1

- (1) 結晶に入射直前の電子の速さ  $v_1$  と、電子線の波長  $\lambda_1$  を求めよ。[ $e$ ,  $h$ ,  $m$ ,  $V$ ]
- (2) 格子面 1, 2 で反射した電子線が強め合う条件を求めよ。 $N$  を任意の正の整数とする。[ $d$ ,  $N$ ,  $\theta$ ,  $\lambda_1$ ]

次に、電子銃の加速電圧  $V$  を一定に保ち、電子線の結晶への入射角度  $\theta$  を  $0 < \theta < \pi/2$  の範囲で 0 から少しずつ大きくした。

- (3) 格子面 1, 2 で反射した電子線が強め合う角度  $\theta$  が 1 つ以上存在する場合、入射電子線の波長  $\lambda_1$  に必要な条件を示せ。[ $d$ ,  $\lambda_1$ ]
- (4)  $\theta = \theta_A$  のとき、格子面 1, 2 で反射した電子線が最初に強め合った。格子面間隔  $d$  を求めよ。[ $V$ ,  $\theta_A$ ,  $\lambda_1$ ]
- (5) 格子面間隔  $d = 4.4 \times 10^{-10}$  m の結晶に電子線を入射すると、反射電子線が  $\theta_A = \pi/6$  で最初に強め合った。電子銃の加速電圧  $V$  を  $V$  (ボルト) 単位で有効数字 2 桁まで計算せよ。また、電子線の代わりに X 線を同じ結晶に入射しても問題(4)と同様の回折条件が成り立ち、反射 X 線が  $\theta_A = \pi/6$  で最初に強め合った。入射 X 線の光子のエネルギーを eV 単位で有効数字 2 桁まで計算せよ。 $m = 9.1 \times 10^{-31}$  kg,  $h = 6.6 \times 10^{-34}$  J·s,  $e = 1.6 \times 10^{-19}$  C, 光速を  $3.0 \times 10^8$  m/s とする。
- (6) 結晶の温度を下げると結晶が熱収縮し、格子面間隔  $d$  が  $d - \Delta d$  ( $\Delta d > 0$ ) に減少した。このとき、最初に反射電子線が強め合う角度は、 $\theta_A$  から  $\theta_A + \Delta\theta_A$  ( $\Delta\theta_A > 0$ ) に増加した。格子面間隔の相対変化  $\Delta d/d$  を求めよ。なお、 $\Delta d$  は  $d$  に比べて十分小さく、また  $\Delta\theta_A$  も微小なため、この問題では、 $\cos \Delta\theta_A \doteq 1$ ,  $\sin \Delta\theta_A \doteq \Delta\theta_A$  と近似し、さらに微量の 2 次以上の項は無視せよ。[ $\theta_A$ ,  $\Delta\theta_A$ ]

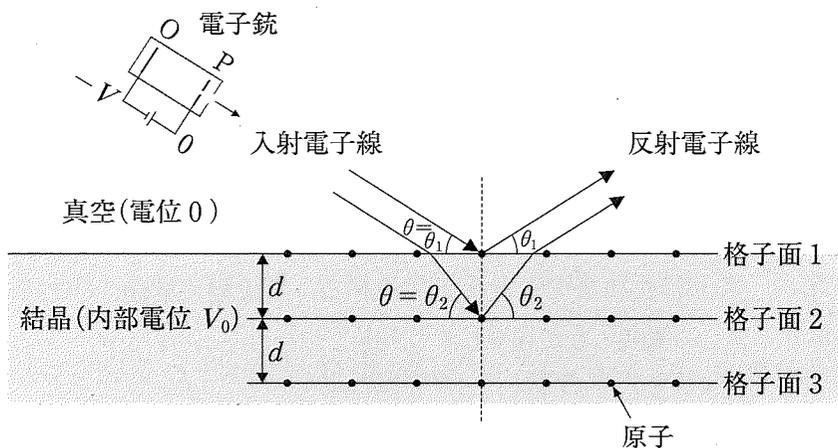


図 2

結晶の温度を上昇させ、格子面間隔を  $d$  に戻した。以下の問題(7)-(11)では、真空中の電位は 0 であり、結晶の内部電位が真空中と比較して  $V_0 (> 0)$  だけ一様に高い場合を考える。ただし、電位の変化は格子面 1 近傍の厚さが無視できる範囲内でのみ起こっているとす。このとき、結晶内へ入射した電子線は結晶表面(格子面 1)で屈折する。図 2 のように、静止している電子を電子銃により電位  $-V$  の電極 O から電位 0 の電極 P へ加速し、真空中より電子線を結晶の格子面 1 に入射させた。入射角  $\theta$  を 0 から少しずつ大きくすると、 $\theta = \theta_1$  のとき、格子面 1, 2 からの反射電子線が強め合った。このとき、入射電子線は格子面 1 で屈折後、格子面 2 に角度  $\theta_2 (> \theta_1)$  をなす向きで入射した。以下の問題に答えよ。

- (7) 結晶入射前の電子線の波長  $\lambda_1$  と結晶中の電子線の波長  $\lambda_2$  の比  $\lambda_2/\lambda_1$  を
- (i)  $V$  と  $V_0$  を使って表せ。[ $V, V_0$ ]
  - (ii)  $\theta_1$  と  $\theta_2$  を使って表せ。[ $\theta_1, \theta_2$ ]
- (8) 反射電子線が最初に強め合う条件を示せ。[ $d, \lambda_2, \theta_2$ ]
- (9)  $V_0$  を  $d, e, h, m, V, \theta_1$  を使って表せ。この問題の解答に使用できる三角関数は  $\sin$  関数のみとする。[ $d, e, h, m, V, \theta_1$ ]

- (10)  $V_0$  が  $V$  に比べて微小な場合,  $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$  も微小となる。 $\Delta\theta$  を  $V_0$  に比例する近似式として表せ。ここでは,  $\cos \Delta\theta \doteq 1$ ,  $\sin \Delta\theta \doteq \Delta\theta$ ,  $|x|$  が 1 よりも十分小さい場合に成立する近似式  $(1+x)^a \doteq 1+ax$  を用いよ。[ $V$ ,  $V_0$ ,  $\theta_1$ ]

同様の実験を電子の代わりに陽電子(質量  $m$ , 電気量  $+e$ )を用いて行う。この時, 電子銃の電極 O の電位を  $V$  に変更し, 静止した陽電子を電極 O から P へ加速電圧  $V$  で加速し, 陽電子線を結晶へ入射させた。 $V$  は  $V_0$  より大きいとする。なお陽電子は, 進む間にエネルギーを失ったり, 陽電子線から失われることはないとする。

- (11) 陽電子線の入射角度  $0 < \theta < \pi/2$  の範囲で反射強度を測ると, 電子線の場合に観測された反射強度の変動が見られず一定となる角度範囲があった。なお, 陽電子線の強度とは, 進行方向に垂直な断面を単位時間あたりに通過する陽電子の個数とする。

- (i) 反射強度の変動が見られない物理的理由を説明せよ。  
(ii) 反射強度が一定となる角度範囲内であるとき, 入射強度に対する反射強度の比(反射強度/入射強度)を答えよ。  
(iii) 反射強度が一定となる角度範囲を, 以下のように  $\sin \theta$  の範囲を表す不等式として示せ。空欄(1)には不等号を入れなさい。[ $V$ ,  $V_0$ ]

$$\sin \theta \quad \boxed{(1)} \quad \boxed{(2)}$$







