

# 令和5年度学力検査問題

工学部・後期日程

## 物 理

ページ	解答用紙枚数
1 ~ 16	2 枚

解答時間 120 分

---

### 注 意 事 項

---

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
2. 本冊子のページ数は上記のとおりである。落丁、乱丁、印刷不鮮明の箇所などがある場合は申し出ること。
3. 解答はすべて別紙解答用紙のそれぞれの指定の解答欄に記入すること。
4. 解答用紙2枚の指定された欄(計4箇所)に、忘れずに本学の受験番号を記入すること。
5. この問題冊子は試験終了後持ち帰ること。

1 図1のように、水平に固定された表面がなめらかで十分に大きな円形の台の上で、ばね定数  $k_1$  [N/m] の軽いばねの一端を台の中心に固定し、他端に質量  $m$  [kg] の小球を取り付けた。このとき、ばねの自然の長さを  $l_1$  [m]、重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とするとき、台の中心から外向きを正として、以下の文章中の (ア) ~ (ク) に適切な数式を記入せよ。ただし、空気抵抗の影響は無視でき、ばねは途中で曲がってしまうことがないものとする。

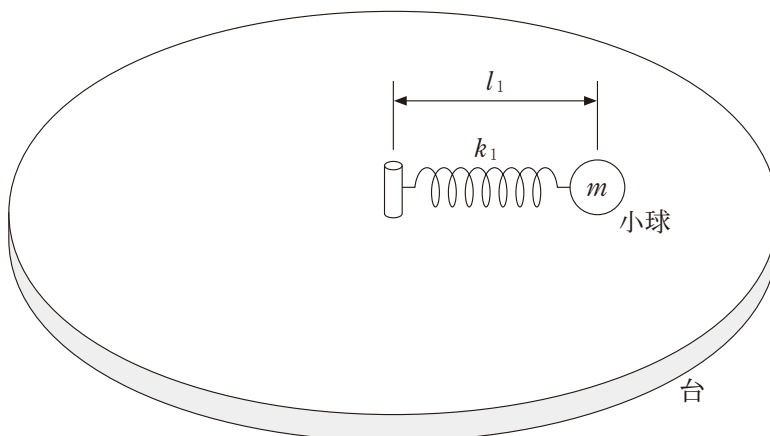


図1

問1 小球をばねのつり合いの位置から外向きに  $x_1$  [m] だけ移動させ、静かに離れたところ、小球が単振動をはじめた。小球の単振動の周期は、 $k_1$ ,  $m$ ,  $x_1$ ,  $g$  のうち必要なものを用いて (ア) [s] と表せる。また小球の速さは、小球が動き出してから (イ) [s] 後に最初に最大となり、このときの速さは、 $k_1$ ,  $m$ ,  $x_1$ ,  $g$  のうち必要なものを用いて (ウ) [m/s] と表せる。

問 2 図 2 のように、ばね定数  $k_2$  [N/m] の軽いばねの一端を台に固定し、他端を小球に取り付けた。このとき、ばね定数  $k_1$  および  $k_2$  の 2 つのばねはどちらも自然の長さであり、小球をはさんで一直線状になっていた。次に、小球を外向きに  $x_2$  [m] だけ移動させ、静かに離れたところ、小球は単振動をはじめた。小球の最大加速度の大きさを  $a$  [m/s<sup>2</sup>] とするとき、 $a$  は、 $k_1$ ,  $k_2$ ,  $l_1$ ,  $m$ ,  $x_2$ ,  $g$  のうち必要なものを用いて  (エ)  [m/s<sup>2</sup>] と表せる。また、単振動の周期は、 $k_1$ ,  $k_2$ ,  $l_1$ ,  $m$ ,  $x_2$ ,  $g$  のうち必要なものを用いて  (オ)  [s] と表せる。

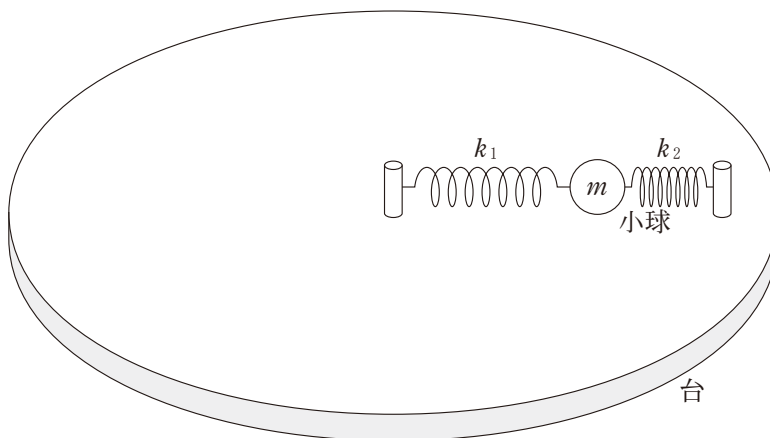


図 2

問 3 図 3 のように，自然の長さ  $l_1$  [m]，ばね定数  $k_1$  [N/m] のばねの一端を台の中心に固定し，他端に小球を取り付け，角速度  $\omega$  [rad/s] で等速円運動させたとき，台の中心から小球までの距離が  $l_2$  [m] となった。このとき，ばねの弾性力  $F$  [N] は， $k_1$ ， $m$ ， $l_1$ ， $l_2$  のうち必要なものを用いて  (カ)  [N] と表せる。また，等速円運動する小球の角速度の大きさ  $\omega$  [rad/s] は， $F$ ， $m$ ， $l_1$ ， $l_2$ ， $g$  のうち必要なものを用いて  (キ)  [rad/s] と表せ，このとき弾性力による位置エネルギーは， $F$ ， $k_1$ ， $m$ ， $l_1$ ， $l_2$ ， $g$  のうち必要なものを用いて  (ク)  [J] と表せる。

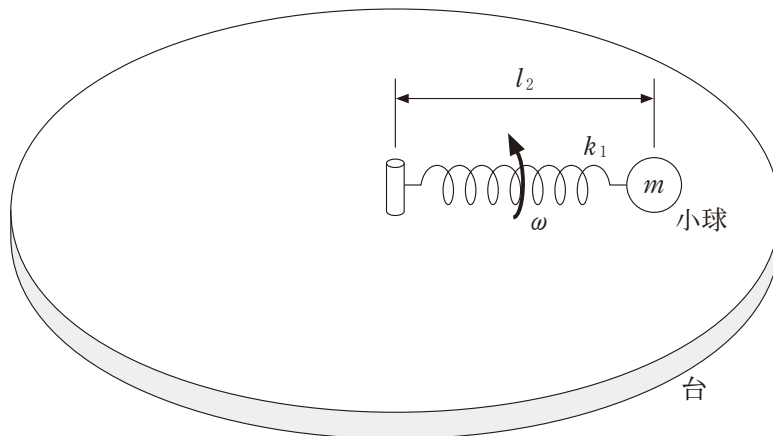


図 3

2 図1に示すように、気密を保ちながらなめらかに動く質量  $M$  [kg] のピストンが組み込まれた断面積  $S$  [m<sup>2</sup>] のシリンダーが、圧力  $P_0$  [Pa] の大気中で水平面に鉛直下向きに固定されている。シリンダー内には  $n$  [mol] の単原子分子理想気体が封入されている。シリンダーとピストンは断熱材でできているが、シリンダーの上面には温度調節器が組み込まれており、シリンダー内の気体を加熱・冷却することができる。また、ピストンには物を置くことができる台が伸びない糸によって吊り下げられている。この台と糸を合わせた質量はピストンと等しく  $M$  [kg] である。シリンダー内の気体の気体定数を  $R$  [J/(mol·K)]、重力加速度を  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とする。シリンダー内の気体の質量は、ピストンやおもりの質量に比べて無視できるほど小さいとする。このとき以下の間に答えよ。ただし、解答は  $M, S, P_0, n, R, g$  および下記の問1で与えられる  $m$  と  $T_1$  から必要な記号を用いて表せ。

問1 ピストンに吊り下げられた台の上に小さなおもりを少しずつ置いていき、おもりの質量の合計が  $m$  [kg] になった。このときピストンは静止し、シリンダー内の気体の温度は  $T_1$  [K] であった(図2)。この状態におけるシリンダー内の気体の圧力  $P_1$  [Pa] とシリンダー内の気体の体積  $V_1$  [m<sup>3</sup>] を求めよ。

問2 次に、このおもりを台の上から少しずつ取り除いたところピストンはゆっくり上昇し、全て取り除いたときのある高さで静止した(図3)。この間、シリンダー内の気体の温度は温度調節器により  $T_1$  に保たれていた。ピストンが静止したときのシリンダー内の気体の圧力  $P_2$  [Pa] と、この状態変化の間にピストンが移動した距離  $L$  [m] を求めよ。

問3 さらに、シリンダー内の気体を温度調節器により加熱したところ、ピストンはゆっくり下降し、おもりを取り除く前の高さ(図2の位置)に戻って静止した(図4)。ピストンが静止したときのシリンダー内の気体の温度  $T_2$  [K] と、この状態変化の間にシリンダー内の気体が外部に対して行った仕事  $W_h$  [J]、および加熱後と加熱前のシリンダー内の気体の内部エネルギーの変化  $\Delta U_h$  [J] を求めよ。

問 4 最後に、ピストンの高さを図 4 の位置に固定した状態でシリンダー内の気体を温度調節器により冷却し、圧力を  $P_1$  に戻した。このとき、冷却後と冷却前のシリンダー内の気体の内部エネルギーの変化  $\Delta U_c$  [J] および状態変化の間に温度調節器がシリンダー内の気体から奪った熱量の大きさ  $Q_c$  [J] を求めよ。

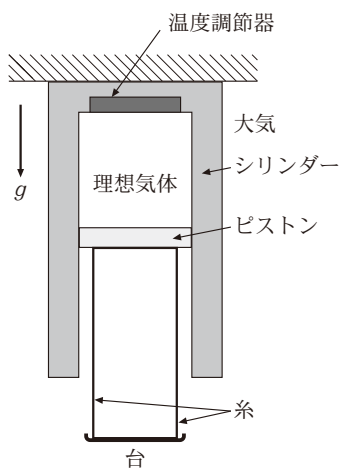


図 1

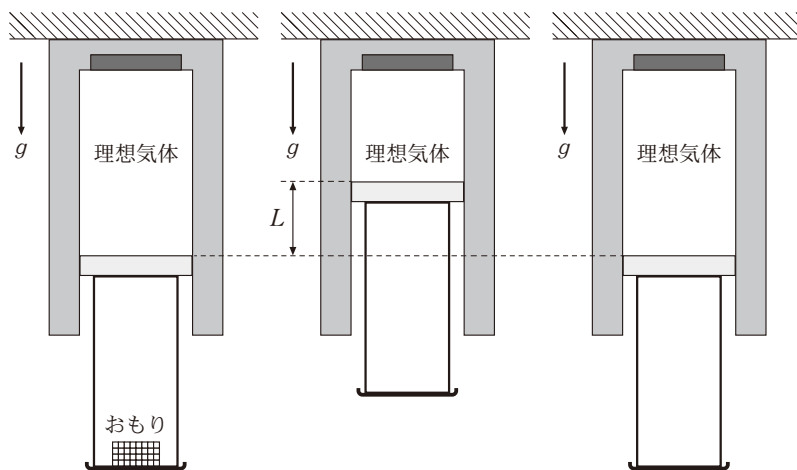


図 2

図 3

図 4

**3** 同じ位相で同じ振動数  $f$  [Hz] の音波を発生する 2 つの音源を、図のように  $L$  [m] 離れた点 A と点 B に設置する。点 A と点 B の中間の点を C とする。これらの音源の周囲は、気温  $T$  [°C]、1 気圧、無風であるとする。このときの音速は  $v$  [m/s] であるとする。また、 $L$  は音源が発生する音波の波長と比べ十分に長いものとする。以下の問に答えよ。

**問 1** 観測点が点 C にあるとき、観測した音波と音源が発生する音波との位相の差を求めよ。

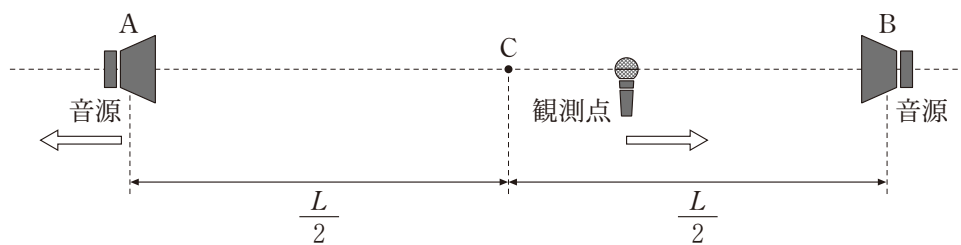
**問 2** 観測点を点 A から点 B へとゆっくりとまっすぐに移動させると、観測される音波の振幅(音の強さ)が増減を繰り返す。観測点が点 C を通過した後、観測される音波の振幅が最初に極小となる点を D とする。CD 間の距離を求めよ。

**問 3** 点 C と点 B の間で、点 C からの距離が CD 間の距離の 6 倍となる位置に点 E をとる。観測点を点 A から点 B へ向かってゆっくりとまっすぐに移動させたとき、点 C を通過してから点 E までの間で、観測される音波の振幅が極小となる点の数を求めよ。

**問 4** 観測点を問 2 で求めた点 D に固定し、音源が発生する音波の振動数を  $f$  [Hz] からゆっくりと上げてゆく。このとき、観測される音波の振幅は増減を繰り返す。音波の振幅が  $N$  回目に極大となるときの振動数を求めよ。

**問 5** 音源が発生する音波の振動数を  $f$  [Hz] とする。点 A に設置した音源を直線 AB に沿って点 C から離れる方向に一定の速さ  $w$  [m/s] で動かしたとき、点 C にある観測点で 1 秒間に何回の方が観測されるのかを求めよ。ただし、 $v > w$  とする。

問 6 気温が  $\Delta T$  [°C] だけ上昇した。音源の位置を点 A および点 B に固定し、音源が発生する音波の振動数を  $f$  [Hz] として、問 2 と同様に観測点をゆっくりと動かしながら音波の振幅を観測する。このとき観測点が点 C を通過した後、観測される音波の振幅が最初に極小となる点を D' とする。問 2 で求めた点 D と点 D' の距離を求めよ。



図



4 以下の文章中の ① には、欄内の2つの選択肢から適切なものを記入せよ。また、②，③，⑤，⑦，⑨ には適切な数式を記入せよ。

④，⑥，⑧，⑩ には、問3の下部にある選択肢から適切な記号を記入せよ。

図1に示すように、太さが無視できる十分長い針金W1およびW2に、同じ大きさの定常電流  $I_1$  [A] が  $+z$  方向に流れている。2本の針金は  $z$  軸に平行で間隔が  $2d$  [m] であり、針金W1は点  $(0, -d, 0)$  を、針金W2は点  $(0, d, 0)$  を通るようにそれぞれ配置され固定されている。針金の周りは真空(透磁率  $\mu_0$  [N/A<sup>2</sup>])で、地磁気および重力の影響は無視できるものとする。(図2は、 $z$  の正側から  $xy$  平面を見た図である。)

問1 2本の針金の間にはたらく力は ① {引力, 斥力} であり、その大きさは単位長さあたり ② [N/m] である。

問2 針金W1を流れる電流が点  $P(d, 0, 0)$  に作る磁場の大きさは ③ [A/m] であり、その方向は ④ である。また、針金W2を流れる電流が点  $P$  に作る磁場の大きさは ⑤ [A/m] であり、その方向は ⑥ である。これらをベクトルとして合成することにより、点  $P$  には、大きさが ⑦ [A/m]、方向が ⑧ の磁場が生じる。

次に、図3に示すように、長辺と短辺の長さがそれぞれ  $2d$  [m] および  $d$  [m] である長方形回路 ABCD を加えた場合を考える。長方形回路は太さが無視できる針金で構成されており、定常電流  $I_2$  [A] が  $A \Rightarrow B \Rightarrow C \Rightarrow D \Rightarrow A$  の方向に流れている。長辺が  $z$  軸に、短辺が  $x$  軸にそれぞれ平行で、AD が点  $P(d, 0, 0)$  を通るように配置され固定されている。

問 3 長方形回路全体が受ける力の大きさは  $\boxed{9}$  [N]で、その方向は  $\boxed{10}$  である。

〔④, ⑥, ⑧, ⑩の選択肢〕

- (ア)  $+x$  方向                      (イ)  $-x$  方向                      (ウ)  $+y$  方向  
(エ)  $-y$  方向                      (オ)  $+z$  方向                      (カ)  $-z$  方向  
(キ) 図 2 において  $xy$  平面内で  $(\alpha)$  の方向  
(ク) 図 2 において  $xy$  平面内で  $(\beta)$  の方向  
(ケ) 図 2 において  $xy$  平面内で  $(\gamma)$  の方向  
(コ) 図 2 において  $xy$  平面内で  $(\delta)$  の方向

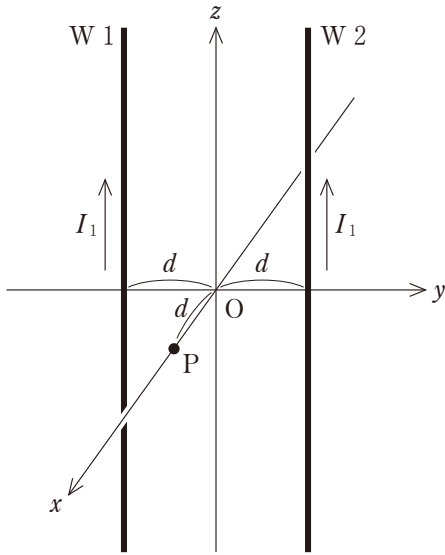
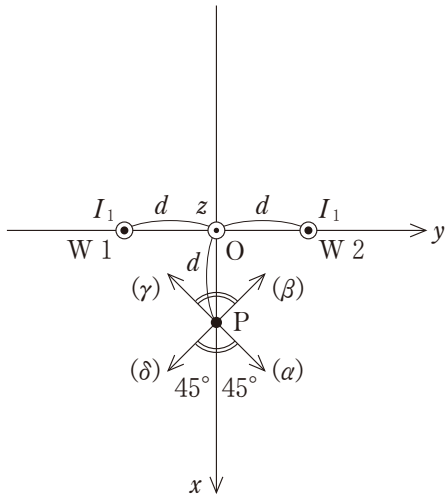


図 1



(z の正側から  $xy$  平面を見た図)

図 2

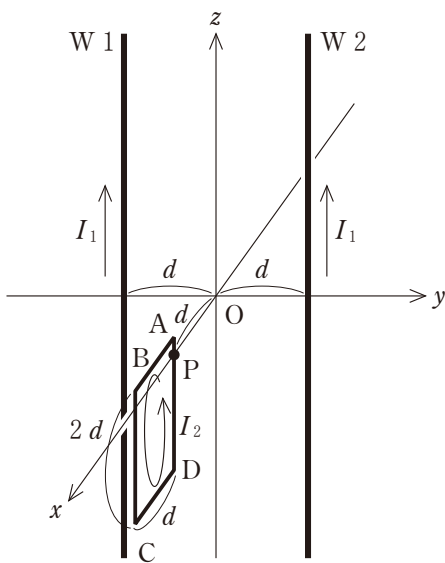


图 3

5 以下の文章中の (i) , (ii) , (v) , (vi) には各問の下部にある選択肢から適切な語句をそれぞれ1つ選び記入せよ。また, (iii) , (iv) および (vii) ~ (xi) には適切な数式を記入せよ。なお,  には対応する  での解答と同じ語句が入るものとする。

問 1 X線を、原子が規則正しく配列した結晶に入射させると、原子によって散乱されたX線が干渉して強め合う現象が知られている。これはX線回折と呼ばれ、さまざまな物質の結晶構造を調べる手段として用いられている。これについて考えてみる。

図1のように、結晶の格子面に対し、波長 $\lambda$ [m]のX線が $\theta$ [rad]の角をなす方向から入射したとき、このX線は結晶中の原子により、さまざまな方向に散乱される。このとき、格子面1にある原子により散乱されたX線と、格子面2にある原子から散乱されたX線が干渉して強め合うのは、 (i) を満たす方向に散乱されたX線で、かつ、これらのX線が (ii) になる場合である。格子面1、格子面2の間隔を $d$ [m]とすると、それぞれの格子面から反射されたX線の経路差は (iii) [m]である。 $n$ を正の整数とすると、この経路差について、 (iv) の関係が成り立てば、それぞれの格子面から反射されたX線は強め合うことになる。これは、 (v) の条件と呼ばれる。

[(i), (ii), (v)の選択肢]

反射の法則、屈折の法則、電磁誘導の法則、ニュートンの法則、逆位相、同位相、プランク、ファラデー、ラザフォード、ブラッグ

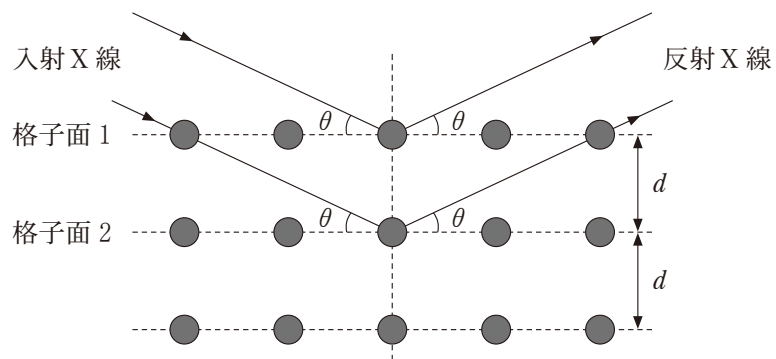


图 1

問 2 同様の現象は、電子線を入射させた場合においてもみられる。電子は、光や X 線と同様に、粒子としての性質と波動としての性質をあわせもっている。この性質は、粒子と波動の (vi) と呼ばれる。そこで、波としてふるまう電子の波長(電子波の波長)を求めてみる。真空中において、初速度 0 の電子が電圧  $V$  [V] で加速されたときの速さ  $v$  [m/s] は、電子の質量を  $m$  [kg]、電子の持つ電気量を  $-e$  [C] とすれば、 $v =$  (vii) [m/s] となる。一方、粒子と波動の (vi) より、ある速さで運動している電子は、その速さと質量で決まる波長(ドブロイ波長)を持っており、これを  $\lambda_e$  [m] とすれば、プランク定数を  $h$  [J·s] として、 $h$ 、 $m$ 、 $v$  を用いて、 $\lambda_e =$  (viii) [m] と表せる。以上より、 $\lambda_e$  を、 $e$ 、 $h$ 、 $m$ 、 $V$  を用いて表すと、 $\lambda_e =$  (ix) [m] となる。つまり、電子波の波長は、加速電圧により変化させることができる。

この電子線が、X 線の場合と同様に図 1 の格子面 1 に対して  $\theta_e$  [rad] の角をなす方向から入射し、同じ角度で反射されるとき電子線の強度を観測する。電子の加速電圧を  $V$  から増加させていくと、反射電子線の強度は増加と減少を交互に繰り返す。このとき、反射電子線が極大となったときの加速電圧を  $V_m$  [V] とする。 $n_e$  を正の整数とすれば、 $d$ 、 $e$ 、 $h$ 、 $m$ 、 $n_e$ 、 $\theta_e$  を用いて、 $V_m =$  (x) [V] となる。

電子の加速電圧が十分に低い場合、電子は深い位置まで侵入せず、結晶の表面の原子による散乱の影響が大きくなる。これは結晶表面の原子配列を観察する手段として用いられている。いま、十分に低い電圧  $V_L$  [V] で加速された電子線が、図 2 のように原子が  $a$  [m] の間隔で並んでいる結晶表面に  $\theta_1$  [rad] の角度で入射し、 $\theta_2$  [rad] の角度で反射されたとする。この図において、入射電子線および反射電子線の方法は紙面内にあるとし、表面より深い位置にある原子の影響は無視できるとする。このとき、 $N_e$  を整数として、P および Q の位置にある原子により散乱された電子線が干渉して強め合うのは、 $a$ 、 $e$ 、 $h$ 、 $m$ 、 $N_e$ 、 $V_L$ 、 $\theta_1$ 、 $\theta_2$  が (xi) の関係を満たす場合である。

[(vi)の選択肢]

独立性、等価性、二重性、不確定性

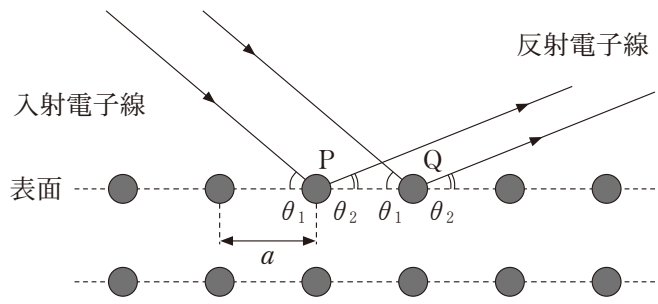


圖 2