

令和4年度 一般選抜個別学力検査【前期日程】「理科（物理）」 出題意図・解答例（略解）

I 出題意図：重力の下での小球と小物体の運動を通して、基本的な運動方程式およびエネルギー保存則などを理解しているかを問うた。

問 1

- (1) 点 A_1 から点 B_1 までの長さは $\sqrt{h^2 + l^2}$ 、また、経路 1 での小球の加速度の斜面に平行な成分の大きさは $\frac{h}{\sqrt{h^2 + l^2}}g$ であり、等加速度直線運動なので、 $\sqrt{h^2 + l^2} = \frac{1}{2} \frac{h}{\sqrt{h^2 + l^2}} g T_1^2$ より、

$$T_1 = \sqrt{2 \frac{h^2 + l^2}{gh}} \text{ となる。}$$

- (2) 位置エネルギーが運動エネルギーに変わるので、点 B_1 と点 B_2 で速さは同じである。その速さを v とすれば、 $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ より、いずれも $v = \sqrt{2gh}$ となる。

別解：経路 1 では、(1) の T_1 を使い、 $v = \frac{h}{\sqrt{h^2 + l^2}} g T_1 = \sqrt{2gh}$ となる。

経路 2 では、 A_2O_2 間は自由落下なので、かかる時間を T とすれば、 $h = \frac{1}{2}gT^2$ となり、 $T = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ である。点 O_2 での速さは $v = gT = \sqrt{2gh}$ となる。さらに、 O_2B_2 間は等速直線運動なので、速さは変わらず $v = \sqrt{2gh}$ である。

- (3) 経路 2 の A_2O_2 間を動く間にかかる時間は (2) の別解で示したように $\sqrt{\frac{2h}{g}}$ となる。

経路 2 の O_2B_2 間を動く間にかかる時間は、速さが $\sqrt{2gh}$ で、長さが l なので、 $\frac{l}{\sqrt{2gh}}$ となる。

従って、 $T_2 = \sqrt{\frac{2h}{g}} + \frac{l}{\sqrt{2gh}} = \frac{2h + l}{\sqrt{2gh}}$ となる。

- (4) h を一定にして l を大きくしていくと、 $\frac{h}{l}$ は 0 に近づくので、

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\sqrt{2 \frac{h^2 + l^2}{gh}}}{\frac{2h + l}{\sqrt{2gh}}} = \frac{2\sqrt{\left(\frac{h}{l}\right)^2 + 1}}{2\left(\frac{h}{l}\right) + 1} \rightarrow 2 \text{ となる。}$$

問 2

- (1) 小物体にはたらく重力の斜面に平行な成分の大きさ、垂直抗力の大きさ、最大摩擦力の大きさはそれぞれ、 $\frac{h}{\sqrt{h^2 + l^2}}mg$ 、 $\frac{l}{\sqrt{h^2 + l^2}}mg$ 、 $\frac{l}{\sqrt{h^2 + l^2}}\mu mg$ となる。

小物体が動き出すには、 $\frac{l}{\sqrt{h^2 + l^2}}\mu mg < \frac{h}{\sqrt{h^2 + l^2}}mg$ より、 $\mu < \frac{h}{l}$ が必要となる。

また、小物体が動いているときの動摩擦力の大きさは $\frac{l}{\sqrt{h^2 + l^2}}\mu' mg$ となる。

(2) 小物体にはたらく動摩擦力の向きと小物体の運動の向きがなす角は 180° なので、動摩擦力がした仕事は、 $\frac{l}{\sqrt{h^2 + l^2}} \mu' mg \cos 180^\circ \times \sqrt{h^2 + l^2} = -\mu' mgl$ となる。

(3) 動摩擦力のした仕事の量だけ力学的エネルギーが変化するから、点 B'_1 での小物体の速さを v とすれば、 $\frac{1}{2}mv^2 - mgh = -\mu' mgl$ であり、 $v = \sqrt{2g(h - \mu'l)}$ となる。

別解：小物体の加速度の大きさは $\frac{h - \mu'l}{\sqrt{h^2 + l^2}}g$ となるので、問 1 (1) および問 1 (2) 別解と同様に解いて、 $v = \sqrt{2g(h - \mu'l)}$ となる。

II 出題意図：電場および磁場中の荷電粒子の運動に関して、基本的な事柄を十分に理解しているかを問うた。
また、運動エネルギーや速さといった、物質の運動を表す基本的な量を正しく理解しているかを問うた。

問 1

(1) 荷電粒子は運動エネルギー K をもっているため、速さ v は $K = \frac{1}{2}mv^2$ より $v = \sqrt{\frac{2K}{m}}$ となる。

したがって、荷電粒子の受けるローレンツ力の大きさ F は、 $F = qvB = qB\sqrt{\frac{2K}{m}}$ である。また、ローレンツ力の向きは、 y 軸の正の向き である。

(2) 荷電粒子は、 $x \geq 0$ の領域内で円運動する。円運動の半径 R は、荷電粒子の速さを v としたときの遠心力とローレンツ力のつりあいの式 $qvB = \frac{mv^2}{R}$ より、 $R = \frac{mv}{qB} = \frac{m}{qB}\sqrt{\frac{2K}{m}} = \frac{\sqrt{2mK}}{qB}$ となる。ここで、(1) でも用いた荷電粒子の速さ v を代入している。 $|y_1|$ は円運動の直径に対応し、 $y_1 > 0$ であることから、 $y_1 = 2R = 2\frac{\sqrt{2mK}}{qB}$ である。

問 2

(1) $-d \leq x < 0$ の領域に電場 E がかけられているので、荷電粒子が $x \geq 0$ の領域に入った直後の運動エネルギーは qEd だけ小さくなり $K - qEd$ である。したがって、この場合の荷電粒子の速さ v は、 $K - qEd = \frac{1}{2}mv^2$ から求めることができ、 $v = \sqrt{\frac{2(K - qEd)}{m}}$ となる。

(2) 荷電粒子は、問 1 と同様に、 $x \geq 0$ の領域内で円運動する。速さが v の場合の円運動の半径は問 1 で見たように $R = \frac{mv}{qB}$ であるので、(1) で求めた速さ v を用いると、 $R = \frac{m}{qB}\sqrt{\frac{2(K - qEd)}{m}} = \frac{\sqrt{2m(K - qEd)}}{qB}$ となる。したがって、円運動の直径に対応する y_2 ($y_2 > 0$) は、 $y_2 = 2R = 2\frac{\sqrt{2m(K - qEd)}}{qB}$ となる。

問 3

- (1) 荷電粒子 a, b は $x \geq 0$ の領域内で問 1 の場合と同様に円運動をする。問 1 同様に、それぞれの粒子が円運動した後、 $x < 0$ の領域に戻る際に通過する y 軸上の点を、 $(0, y_1^a)$, $(0, y_1^b)$ とすると、

$$y_1^a = 2 \frac{\sqrt{2m_a K}}{q_a B} = 2 \frac{\sqrt{2MK}}{eB}$$

$$y_1^b = 2 \frac{\sqrt{2m_b K}}{q_b B} = 2 \frac{\sqrt{2(4M)K}}{2eB} = 2 \frac{\sqrt{2MK}}{eB}$$

となり、 $y_1^a = y_1^b$ であることから、2 個の粒子の軌跡は同じであることがわかる。

- (2) 荷電粒子 a, b は $x \geq 0$ の領域内で問 2 の場合と同様に円運動をする。問 2 同様に、それぞれの粒子が円運動した後、 $x < 0$ の領域に戻る際に通過する y 軸上の点を、 $(0, y_2^a)$, $(0, y_2^b)$ とすると、

$$y_2^a = 2 \frac{\sqrt{2m_a(K - q_a E d)}}{q_a B} = 2 \frac{\sqrt{2M(K - e E d)}}{eB}$$

$$y_2^b = 2 \frac{\sqrt{2m_b(K - q_b E d)}}{q_b B} = 2 \frac{\sqrt{2(4M)(K - 2e E d)}}{2eB} = 2 \frac{\sqrt{2M(K - 2e E d)}}{eB}$$

となり、 $y_2^a \neq y_2^b$ であることから、2 個の粒子の軌跡は異なることがわかる。

III 出題意図：光および音の性質について、種々の項目を正しく理解した上で、判断し、表現する力を問うた。

問 1

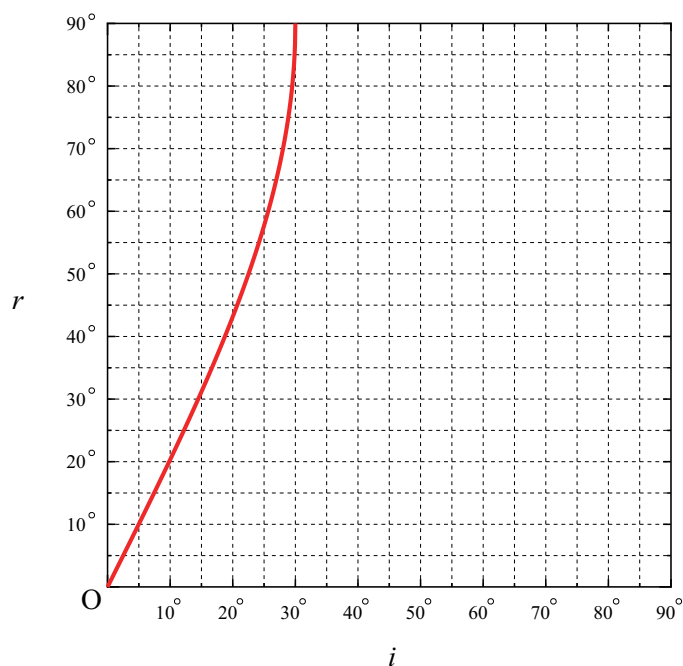
- | | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| 1： 散乱 | 2： 屈折 | 3： 回折 | 4： 干渉 |
| 5： 回折 | 6： 干渉 | 7： 干渉 | 8： 回折 |

問 2

(1) (解答例) 光はすべて境界面で反射される。

(2) $i = i_0$ のとき $r = 90^\circ$ であるから、屈折の法則より $\frac{\sin i_0}{\sin 90^\circ} = \frac{1}{2}$ となり、 $i_0 = 30^\circ$ となる。

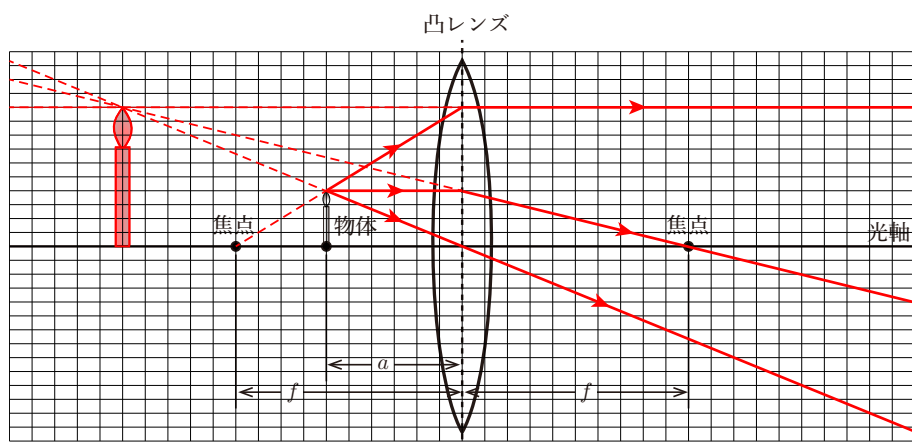
(3)



(4) (解答例)

入射角が小さいところでは、屈折角は入射角とほぼ比例して大きくなっている。入射角が 20° をこえたあたりから比例関係が成り立たなくなり、入射角が 30° に近づくと屈折角は急激に 90° に近づく。

問 3



(解答例)

物体からの光は、凸レンズを通った後に広がるので、実像はできない。物体をレンズの後方からみると、物体は、あたかもレンズから $|b| = \frac{3}{2}f$ の距離の位置にあるように見える。この像は、実際にこの位置に光が集まってできているわけではなく、虚像とよばれる。物体に対する像の大きさの比を表す倍率は $\frac{|b|}{a} = \frac{5}{2}$ となる。