物理　正解・解答例

1

問１（解答例）

（１）おもりが棒から受ける力は円周方向に垂直なので，円周方向の力を求めるには重力のみ考えればよい。すなわち

$$
\begin{aligned}
(\text{おもりにはたらく円周方向の力}) &= (\text{重力の円周方向成分}) \\
&= -mg\sin\theta \\
&\fallingdotseq -mg\theta
\end{aligned}
$$

（２）運動方程式は $ma = -mg\theta$ なので，加速度は $a = -g\theta$ である。

（３）図１’のように点Ｏから円周に沿った質点の変位（右向きを正）を s とおくと，$s = l\theta$ と表せる。ゆえに円周方向の運動方程式は

$$ma = -mg\theta = -\frac{mg}{l}s \quad ①$$

とかける。

さらに，θ が十分小さいとき，おもりの運動を近似的に直線上の往復運動とみなすことができる。すると，式①は単振動の運動方程式と同様の形なので，おもりの振動は単振動とみなせる。ゆえに単振動の角振動数についての公式より，振り子の角振動数は $\omega = \sqrt{\frac{1}{m}\frac{mg}{l}} = \sqrt{\frac{g}{l}}$ と与えられる。ゆえに周期 T_0 は

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

である。よって，T_0 は $\sqrt{l}$ に比例し m には依存しない。すなわち棒が長いほど周期 T_0 は長くなるが，質量によっては変化しない。

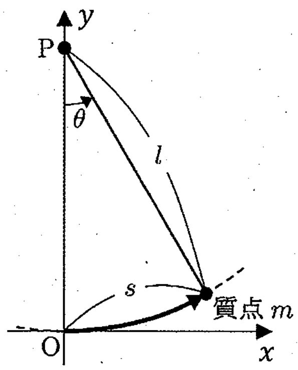

図１’

（採点基準）

・単振り子にはたらく力と運動方程式を理解している。

・単振り子の微小振動の周期を理論式に基づいて説明している。

物理　正解・解答例

問２（解答例）

支点 P を通り xy 面に垂直な軸周りの剛体球の慣性モーメントをIとおくと、この軸周りの角運動量は $I\frac{d\theta}{dt}$ と表せる。ここで tは時間である。回転に関する運動方程式より，角運動量 $I\frac{d\theta}{dt}$ の時間変化は重力 mg のトルク $-mgl\sin\theta$ によって生じる（おもりが棒から受ける力は円周方向成分を持たないので，トルクに寄与しない）。すなわち

$$I\frac{d^2\theta}{dt^2} = -mgl\sin\theta \fallingdotseq -mgl\,\theta$$

である。C, θ_0 を定数，ω を角振動数として，一般解 $\theta = C\cos(\omega t + \theta_0)$ を上式に代入すると，角振動数は $\omega = \sqrt{\frac{mgl}{I}}$ であることが分かる。ゆえに振動周期 T は

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgl}}$$

となる。ここでIは，平行軸定理より，$I = l^2m + I'$ と表せる。ただしI'は剛体球の中心を通る軸周りの慣性モーメントで正の値をとる。ゆえに

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g} + \frac{I'}{mgl}}$$

上式より振動周期 T は質点の場合の周期 T_0 より長い。その理由は、質点では慣性モーメント I' が 0 であるのに対し、半径 $r > 0$ の剛体球ではI'が正だからである。

（採点基準）
- 剛体の回転に関する運動方程式を理解している。
- 振動周期の大小関係を理論式に基づいて考察している。

物理　正解・解答例

2

問１（解答例）

（１）電流が$+x$方向に流れているため，電子の速度は$-x$方向，磁場は$+z$方向であるため，電子はy方向にローレンツ力$F=-evB$を受ける。それによって電子は$-y$側に蓄積し，+側に正電荷が残る。このため，導体内に電場が生じる。

（２）ローレンツ力と静電気力がつり合うとき，$-eE'=-evB$より$E'=vB$。電場の向きは電子を引き戻す$-y$方向となる。

（３）ホール電圧はE'と幅wの関係より$V_H=E'w=vBw$。

（４）$+x$方向の電流の大きさは，$I=nevwd$より$v=I/(newd)$。これを（３）で求めたV_Hに代入して，$V_H=(IB)/(ned)$となる。つまり，

$$n=\frac{IB}{edV_H}$$

（採点基準）
・電荷が電場および磁場から受ける力を正しく理解し，ローレンツ力の方向を判断できること。
・また，ホール効果に関する基本的な物理量（電場，電圧，キャリア密度）の関係を導出できること。

問２（解答例）
導体の上側（+y 方向）を基準とした場合，電子がキャリアであれば $V_H>0$，ホールがキャリアであれば $V_H<0$ となる。この符号により，n 型半導体か、p 型半導体かの識別が可能となる。

（採点基準）
・ホール効果に基づき，キャリアの正負によってホール電圧の符号が変化する理由を説明できること。
・その現象がキャリアの判別などに応用されていることを理解し，考察できること。

物理　正解・解答例

3

問１（解答例）

（１）　$\theta_i = \theta_r$

（２）　波面 AB 上から出た無数の素元波は，A から B まで順次境界面に到達した後に反射される。B から出た波が，A に遅れて t 秒後に境界面 XX’上の D に達したとき，図１’のように A から出る波は A を中心とする半径 v_1t の円周上まで進んでいる。このときの反射波の波面は AD 上の各点から少しずつ遅れて出た素元波に接する面である。A から出た素元波に D から接線を引き，その接点を C とすると，$\triangle$ABD$\equiv\triangle$DCA であるから反射の法則 $\theta_i = \theta_r$ が成り立つ。

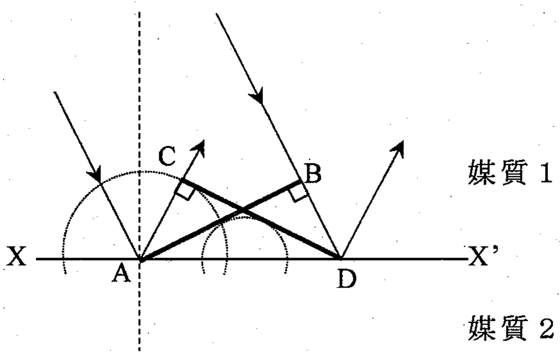

図１’

（採点基準）

・媒質１中の波の速さが入射時と反射時で不変であることから，B から出る波の遅れが A から出る波の進みと等しいことが理解できている。

・反射後の波面が AD 上の各点から順に出たすべての素元波に接する面であることが理解できている。

・幾何学的な関係から反射の法則 $\theta_i = \theta_r$ が成り立つことを説明できる。

問２（解答例）

（１）　$\theta_i > \theta_t$

（２）　媒質２中では波の速さが媒質１中よりも遅いため，B から出た波が，A に遅れて t 秒後に境界面上の D に達したとき，図のように A から出る波は A を中心とする半径 $v_2t\,(v_1 > v_2)$ の円周上まで進んでいる。A から出た素元波に D から接線を引き，その接点を E とすると，明らかに $\angle$BAD$>\angle$EDA である。また，$\theta_i =\angle$BAD，$\theta_t = \angle$EDA であることから，$\theta_i > \theta_t$ である。

物理　正解・解答例

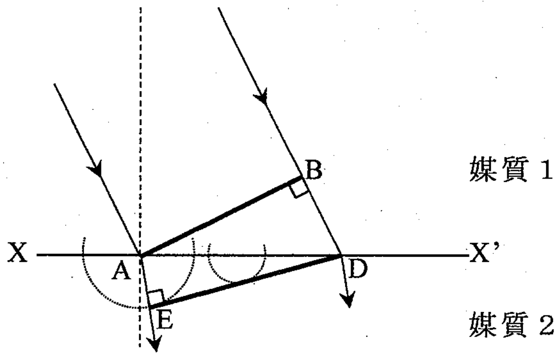

図１''

（採点基準）

・媒質２中の波の速さが媒質１中よりも遅くなることから，AD 上の各点から出る素元波の半径が媒質１中よりも小さくなることが理解できている。

・幾何学的な関係から入射角と屈折角の大小関係を説明できる。

問３（解答例）

媒質１中の波の速さと媒質２中の波の速さの関係が問２と反対であることから，入射角よりも屈折角は大きく，さらに入射角を大きくしていくと屈折角はより大きくなっていく。やがて屈折角 $\theta_t = \pi/2$ となり，このときの入射角を臨界角という。臨界角より入射角を大きくすると入射波はすべて反射するようになり，この現象を全反射という。

（採点基準）

・問２と各媒質中の波の速さの関係が反対であることから，入射角と屈折角の大小関係も逆になることが理解できている。

・入射角が臨界角より大きくなると全反射が生じることを理解している。