

2014年度 筑波大学 (物理学)

概要

(試験概要)

解答方式	大問数	難易度	点数	時間
記述式	3問	標準		2科目 120分

(設問別分析)

問題番号	領域	難易度	内容
1	力学	標準	剛体のつり合い
2	電磁気学	標準	ローレンツ力
3	波動	標準	気柱内を伝搬する音波

物理 問題I

問1

問2 (a) 問1の図を参考にとすると、水平方向および鉛直方向の力のつり合いは、

$$\text{水平方向： } N_A = F_B \quad (1)$$

$$\text{鉛直方向： } N_B = Mg \quad (2)$$

(b) 同様に、問1の図を参考にとすると、力のモーメントのつり合いは、

$$\frac{Mg}{2}l \cos \theta = N_A l \sin \theta \quad (3)$$

(c) 式(1), 式(3)より、

$$N_A = \frac{Mg}{2} \cot \theta \quad (4)$$

$$\therefore F_B = N_A = \frac{Mg}{2} \cot \theta \leq \mu Mg \quad (5)$$

$$\therefore \tan \theta_0 = \frac{1}{2\mu} \quad (6)$$

問3 糸の張力を T 、剛体棒がおもりに及ぼす抗力を N_C とし、図を参考にとすると、おもりに働く力のつり合いは、

$$\text{水平方向： } N_C \cos \theta + T \sin \theta = mg \quad (7)$$

$$\text{鉛直方向： } N_C \sin \theta - T \cos \theta \quad (8)$$

よって、

$$T = mg \sin \theta \quad (9)$$

$$N_C = mg \cos \theta \quad (10)$$

問4

問5 (a) 棒とおもりを一つの系と見なすと、力のつり合いの式は、

$$N_B = (m + M)g \quad (11)$$

$$N_A = F_B \quad (12)$$

(b) B点まわりの力のモーメントのつり合いは、

$$\frac{Mg}{2}l \cos \theta + N_C(l - x) = N_A l \sin \theta \quad (13)$$

(c) 式(10)を式(13)に代入すると,

$$\begin{aligned}\frac{Mg}{2}l \cos \theta + mg(l-x) \cos \theta &= N_A l \sin \theta \\ \therefore N_A &= \left\{ \frac{M}{2} + \frac{m(l-x)}{l} \right\} g \cot \theta\end{aligned}\tag{14}$$

式(12)より,

$$\begin{aligned}F_B = N_A &= \left\{ \frac{M}{2} + \frac{m(l-x)}{l} \right\} g \cot \theta \\ &\leq \mu(m+M)g\end{aligned}\tag{15}$$

よって,

$$\begin{aligned}\tan \theta &\leq \frac{1}{\mu(m+M)} \left\{ \frac{M}{2} + \frac{m(l-x)}{l} \right\} \\ \therefore \tan \theta_1 &= \frac{1}{2\mu(m+M)} \left\{ M + \frac{2m(l-x)}{l} \right\}\end{aligned}\tag{16}$$

問6 題意より,

$$\begin{aligned}\tan \theta_1 &< \tan \theta_0 \\ \therefore \frac{l}{2} &< x\end{aligned}$$

物理 問題II

問1 金属棒に働くローレンツ力の向きは、 y 軸正の方向であり、大きさは evB 。

問2 ローレンツ力の大きさは evB 、電場による力の大きさは eE であり、これがつり合うとき電子は静止する。よって、大きさは $E = vB$ であり、向きは y 軸正の方向。

問3 時刻 t において、導線 W_1 と W_2 の間の距離 l は、

$$l = f(vt)$$

電場 E は y 軸正の向きなので、点 P_1 における電位は負となる。これらを踏まえると、点 P_1 における電位 V_1 は、

$$V_1 = -vBf(vt)$$

問4 問3より、点 P_1 の電位 $V_1(t)$ は、

$$\begin{aligned} V_1(t) &= -vBf(vt) \\ &= -vB\{a \sin(kvt) + b\} \end{aligned}$$

よって、コンデンサの極板間電位 $V_C(t)$ は、

$$\begin{aligned} V_C(t) &= V_1 - V_0 \\ &= -vB\{a \sin(kvt) + b\} - V_0 \end{aligned}$$

$V_C(t) = 0$ が振動中心なので、

$$\begin{aligned} vBb + V_0 &= 0 \\ \therefore V_0 &= -vBb \end{aligned}$$

また、周期 T_C は、

$$\begin{aligned} kvT_C &= 2\pi \\ \therefore T_C &= \frac{2\pi}{kv} \end{aligned}$$

問5 コンデンサの極板間電位 $V_C(t)$ は、

$$V_C(t) = -vBa \sin(kvt)$$

このコンデンサの角周波数 $\omega = kv$ なので、容量リアクタンス $X_C = 1/\omega C = 1/kvC$ となる。また、コンデンサを流れる電流 $I(t)$ の位相は電圧よりも $\pi/2$ 進んでいるので、

$$I(t) = -aBCkv^2 \cos(kvt)$$

問6 金属棒が磁場から受ける力 F は、

$$\begin{aligned} F &= BI(t)f(vt) \\ &= -aB^2Ckv^2 \cos(kvt)\{a \sin(kvt) + b\} \end{aligned}$$

よって、金属棒が一定の速度で運動するためには、 F と同じ大きさで、逆向きの力を加える必要が有る。

物理 問題 III

問 1 題意より、両端が自由端振動するので、波長 λ_n と気柱の長さ L との関係は、

$$L = \frac{n}{2}\lambda_n$$
$$\therefore \lambda_n = \frac{2L}{n}$$

また、波動の進行速度 V 、周波数 f_n および波長 λ_n との間に成り立つ関係は $V = f_n\lambda_n$ より、共鳴周波数 f_n は、

$$f_n = \frac{V}{\lambda_n} = \frac{n}{2L}V$$

問 2 (a) 略

(b) 題意より、

$$0.1L = \frac{\lambda_n}{4}$$
$$\therefore \lambda_n = 0.4L$$
$$\therefore T_n = \frac{\lambda_n}{V} = \frac{2L}{5V}$$

(c) 略

問 3 気柱内部で共鳴が起こった際、気柱が受信した音波の波長 λ'_n は、

$$\lambda'_n = \frac{2L}{n}$$

よって、このとき気柱が受信する音波の振動数 f'_n は、

$$f'_n = \frac{V}{\lambda'_n} = \frac{nV}{2L}$$

ただし、 V は音速であるとする。ところで、音源が気柱に向かって等速運動しているので、気柱が受信する音波はドップラー効果の影響を受けている。ゆえに、音源の振動数を f_0 とすると、

$$\frac{V}{V-w}f_0 = \frac{nV}{2L}$$
$$\therefore f_0 = \frac{n(V-w)}{2L}$$

問 4 問 3 と同様の方法で、音源が気柱から遠ざかる方向に等速運動している場合の音源の振動数 f'_0 は、

$$f'_0 = \frac{n(V+w)}{2L}$$

よって、題意より、

$$f'_0 - f_0 = \delta$$
$$\therefore w = L\delta$$

問 5 題意より, 音源 b の振動数 f_b は,

$$f_b = 990[\text{Hz}] \text{ or } 1010[\text{Hz}]$$

よって, L が取り得る値は二つあり,

$$L \approx 0.172[\text{m}] \text{ or } 0.168[\text{m}]$$

問 6 0.168[m]