解答速報

慶應義塾大学医学部　物理

2026年 2月 9日実施

【解答】

Ⅰ　問1　(a) $\eta=\dfrac{W}{Q_1}$　(b) $\Delta U=Q-W$　(c) $\Delta U=nC_V\Delta T$

問2　$\dfrac{2Vv}{V^2-v^2}f$　　問3　$\boxed{ア}$ $\dfrac{2\pi}{T}$　$\boxed{イ}$ $\dfrac{2\pi}{vT}$　　問4　α崩壊：8回　β崩壊：4回

Ⅱ　問1　$\dfrac{2V}{\pi}$　　問2　$v\left(1-\dfrac{mV}{Mv}\right)$

問3　(a) $(1+e)v$

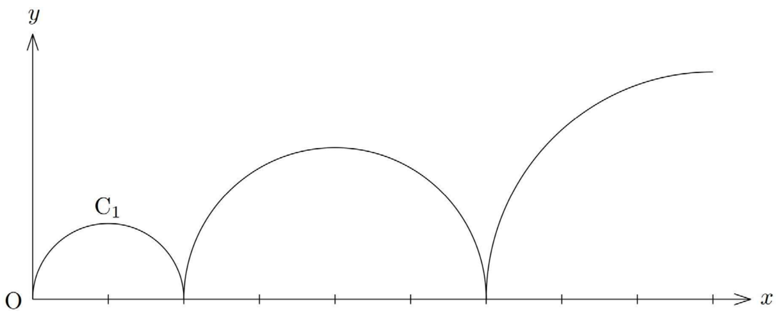
(b) $eV_n+(1+e)v$

(c) $\dfrac{1+e}{1-e}v$

(d) $2mvV_\infty$

問4　(e) $\dfrac{2mv}{QB}$

(f) 右図



問5　(g) $\dfrac{2NQV_\infty}{\pi}$

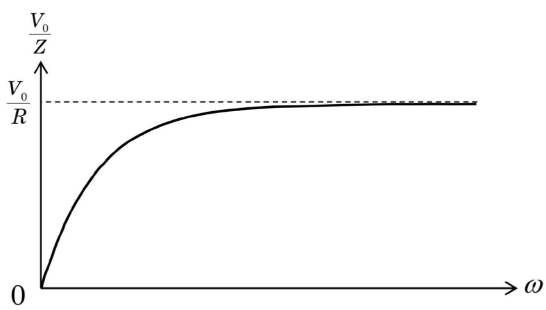
(h) IBL

Ⅲ　問1　$\dfrac{\varepsilon_0 S}{d_0}$

問2　(a) $\boxed{ア}$ R　$\boxed{イ}$ $\dfrac{1}{C_0}$

(b) $Z=\sqrt{R^2+\left(\dfrac{1}{\omega C_0}\right)^2}$，　$\tan\alpha=\dfrac{1}{\omega C_0 R}$

(c) 右図



問3　(d) $\boxed{ウ}$ $\dfrac{1}{C(t)}$

(e) $\boxed{エ}$ $\dfrac{1}{C_0}$　$\boxed{オ}$ $\dfrac{\sin\omega t}{C_0 d_0}$　$\boxed{カ}$ C_0V　$\boxed{キ}$ $\dfrac{V}{d_0}\sin\omega t$

(f) $\dfrac{d}{d_0\sqrt{1+\left(\dfrac{1}{\omega RC_0}\right)^2}}V$

問4　$40\pi RC_0\gg 1$

【講評】

Ⅰ　小問集合

平易であり完答必須。

Ⅱ　荷電粒子の運動

丁寧に誘導に乗っていき，問 4 までは正答したい。

Ⅲ　コンデンサーマイクの原理

計算ミスを抑えて問 3(e)までは正答したい。

【総評】

昨年に比べてやや易化。試験時間内の完答は難しいが，Ⅱの問 5 とⅢの問 3(f)以降を後回しにし，それ以外の問題でミスなく得点を積み上げたい。正規合格ラインは，Ⅰ 完答，Ⅱ 3 ミス，Ⅲ 3 ミスの「合計 7 割台後半」，一次通過ラインは「合計 7 割」程度であろう。

【解説】

Ⅰ

問 1 (a) $\eta = \frac{W}{Q_1}$ (b) $Q = \Delta U + W$ (c) $\Delta U = nC_V\Delta T$

問 2 ドップラー効果の式より，反射音と直接音を求めて差をとると，$\dfrac{2Vvf}{V^2 - v^2}$

問 3 $y = A\sin\dfrac{2\pi}{T}\left(t - \dfrac{x}{v}\right) = A\sin\left(\dfrac{2\pi}{T}t - \dfrac{2\pi}{vT}x\right)$

問 4 それぞれx，y回とすると，$237 - 4x = 205$，$93 - 2x - (-1)y = 81$ $\therefore x = 8$，$y = 4$

Ⅱ

問１　運動に要した時間は $\varDelta t=\frac{\pi r}{V}$ となるので，平均の速さは $\bar{v}=\frac{2r}{\varDelta t}=\frac{2V}{\pi}$

問２　運動量保存則より　$Mv-mV=Mv'+mV$　　$\therefore\ \ v'=v-\frac{2mV}{M}$

よって，求める運動エネルギーの変化量は　$\varDelta K=\frac{1}{2}M(v^2-v'^2)$　　$\therefore\ \ \Delta K=2mV(v-\frac{m}{M}V)$

問３（a）はね返り係数の式より　$(0-v)\times(-e)=V_1-v\ \ \therefore\ \ V_1=(1+e)v$

（b）（a）と同様にして　$(V_n-v)\times(-e)=V_{n+1}-v\ \ \therefore\ \ V_{n+1}=eV_n+(1+e)v$

（c）nが無限大のときには質点の速さは一定値 V_∞ になると考えて，（b）より

$V_\infty=eV_\infty+(1+e)v\ \ \therefore\ \ V_\infty=\frac{1+e}{1-e}v$

［補足］V_nの一般項は $V_n=\frac{(1-e^n)(1+e)}{1-e}v$ と求まるので，$V_\infty=\frac{1+e}{1-e}v$

（d）問２の結果　$\Delta K=2mV(v-\frac{m}{M}V)$　において，$V=V_\infty$，　$\frac{m}{M}V\fallingdotseq 0$ として　$\Delta K=2mvV_\infty$

問４（e）原点で静止した質点が羽子板と弾性衝突するので，質点は速さ$2v$ を得る。ここで，ローレンツ力による円運動の運動方程式より　$\frac{m\,(2v)^2}{R}=Q\times 2v\times B$　$\therefore\ \ R=\frac{2mv}{QB}$

（f）衝突後，質点は磁場によって円弧を描き，$y=0$を横切るたびに羽子板で反射される。このとき，質点の速さは衝突の度に 2v ずつ増加するので，その半径はR，$2R$，$3R$・・・と増加していく。よって軌道は，上側（$y>0$）の半円が半径を増しながら次々と右へ連結していく形になる。

問５（g）電流I は，ある断面を単位時間に通過する電荷量である。線密度がNであるから，x 方向の平均速度をuとすると，単位時間に通過する粒子数は Nuである。x 方向の平均速度は問１より　$\overline{v}=\frac{2V_\infty}{\pi}$ であるから，電流は　$I=QNu=\frac{2NQV_\infty}{\pi}$　となる。

（h）求める力を F とし，全質点から受ける力積を I とすると，力積の定義より

$I=F\varDelta t$　　$\therefore\ \ NL\times 2mV_\infty=F\times\frac{\pi R}{V_\infty}$

ここで，$R=\frac{mV_\infty}{QB}$を代入して　$F=\frac{2NL\quad\infty}{\pi}=IBL$

Ⅲ

問１　$C_0 = \varepsilon_0 \dfrac{S}{d_0}$

問２　(a)　$V_0\sin\omega t = RI + \dfrac{Q}{C_0}$，$I = +\dfrac{dQ}{dt}$ より，$V_0\sin\omega t = R\dfrac{dQ}{dt} + \dfrac{Q}{C_0}$

(b)　ベクトル図を用いて電位の式を書くと，

$$I(t) = I_0\sin(\omega t + \alpha) = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C_0}\right)^2}}\sin(\omega t + \alpha)\,,$$

$\therefore$　$Z = \sqrt{R^2 + \left(\dfrac{1}{\omega C_0}\right)^2}$　　また，$\tan\alpha = \dfrac{1/\omega C_0}{R} = \dfrac{1}{R\omega C_0}$

(c)　$\dfrac{V_0}{Z} = \dfrac{V_0}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C_0}\right)^2}}$　より，$\omega = 0$ のとき，$\dfrac{V_0}{Z} = 0$，$\omega = \infty$ のとき，$\dfrac{V_0}{Z} = \dfrac{V_0}{R}$

となることを用いてグラフを描くと，解答のようになる。

問３　$(d)(e)$　$V = RI + \dfrac{1}{C(t)}Q(t)$，$I = +\dfrac{dQ}{dt}$ より，$V = R\dfrac{dQ}{dt} + \dfrac{1}{C(t)}Q(t)$　ここで，

$\dfrac{1}{C(t)} = \dfrac{d_0 + d\sin\omega t}{\varepsilon_0 S} = \dfrac{1}{C_0}\left(1 + \dfrac{d}{d_0}\sin\omega t\right) = \dfrac{1}{C_0} + \dfrac{\sin\omega t}{C_0 d_0}d$　と，$Q(t) = q_0(t) + q_1(t)d$

を代入して，さらにd^2の項を無視すると，

$$0 = \left(R\frac{dq_0}{dt} + \frac{1}{C_0}q_0 - V\right) + \left(R\frac{dq_1}{dt} + \frac{1}{C_0}q_1 + \frac{\sin\omega t}{C_0 d_0}q_0\right)d$$

$\therefore A_0 = R\dfrac{dq_0}{dt} + \dfrac{1}{C_0}q_0 - V$，$A_1 = R\dfrac{dq_1}{dt} + \dfrac{1}{C_0}q_1 + \dfrac{\sin\omega t}{C_0 d_0}q_0$

十分に時間が経過した後は，$\dfrac{dq_0}{dt} = 0$ となり，$A_0 = 0$ より，

$0 = 0 + \dfrac{1}{C_0}q_0 - V$　　$\therefore q_0 = C_0 V$

(f)　$I(t) = +\dfrac{dQ}{dt} = \dfrac{d[q_0(t) + q_1(t)d)]}{dt} = d\,\dfrac{dq_1(t)}{dt}$

(キ)の式

$$0 = R\frac{dq_1}{dt} + \frac{1}{C_0}q_1 + \frac{\sin\omega t}{C_0 d_0}q_0 = R\frac{dq_1}{dt} + \frac{1}{C_0}q_1 + \frac{\sin\omega t}{C_0 d_0}C_0 V = R\frac{dq_1}{dt} + \frac{1}{C_0}q_1 + \frac{V\sin\omega t}{d_0}$$ は，

問 2 で電圧が $-\dfrac{V}{d_0}\sin\omega t = \dfrac{V}{d_0}\sin(\omega t + \alpha)$ の交流電源を RC 回路につないだときの式と

同形になっているので，問 2 の結果を用いると，$\dfrac{dq_1}{dt}$ の振幅は，$\dfrac{V/d_0}{Z}$ となる。

抵抗に生じる電圧の「大きさ」を「振幅」と解釈すると，

$$|V_R(t)| = R|I(t)| = R\left(d\,\frac{V/d_0}{Z}\right) = \frac{dVR}{d_0\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C_0}\right)^2}}$$

問 4　問 3 の結果より，電気信号の電圧の振幅は $|V_R(t)| = \dfrac{dV}{d_0\sqrt{1+\left(\frac{1}{\omega RC_0}\right)^2}}$

となり ω が増加するにつれ一定となることがわかる。よって，十分な電気信号を得るには

$$\left(\frac{1}{\omega RC_0}\right)^2 \ll 1 \qquad \therefore\ \frac{1}{RC_0} \ll \omega$$

が必要である。この関係を人間の可聴周波数の最小値 20Hz で満たす条件は

$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 20 = 40\pi$　として　$\dfrac{1}{RC_0} \ll 40\pi$