2017（H29)年度　京都大学　入学試験　物理解説

物　　理　　　　　　（３問題　100点）

物理問題　Ⅰ

＜解答＞

(1)　ア $\sqrt{\dfrac{2E}{m}-4gr}$　イ $2\sqrt{gr}$　ウ $4mgr$

(2)　エ $\dfrac{1}{16}E$　オ $\dfrac{9}{16}E$　カ 9　キ $\dfrac{9}{4}mgr$　ク $\sqrt{2}\,r$

(3)　ケ $F-mg\cos\theta$　コ $E_2-mgr(1-\cos\theta)$　サ $\dfrac{2}{3}$

問１

　二重レールの運動では初期の運動エネルギーがすべて高さh_2の位置エネルギーに変換される。内側レールのない運動では，水平方向の速さによる運動エネルギーが残るので，最高到達点の高さはその分だけ低くなる。

＜解説＞

(1)　ア

点Bにおける球の速さを v_B とすれば，エネルギー保存の法則から，

$$E=\frac{1}{2}mv_B{}^2+2mgr,\ \therefore v_B=\boxed{ア\ \sqrt{\frac{2E}{m}-4gr}}$$

ただし，$2mgr$ は点A に対する点B における重力の位置エネルギーである。

イ

球は点B を離れると，鉛直方向に加速度g の落下運動，水平方向に速さv_B の等速運動をする。

球が点B から台に落下するまでの時間は $t=2\sqrt{\dfrac{r}{g}}$

$$\therefore L=v_Bt=2v_B\sqrt{\frac{r}{g}}=4r,\ \therefore v_B=\boxed{イ\ 2\sqrt{gr}}$$

ウ

イによって，$E=\dfrac{1}{2}mv_B{}^2+2mgr=2mgr+2mgr=\boxed{ウ\ 4mgr}$

(2)

エ，オ

衝突前の球①の速さをv_1，衝突後の速さをそれぞれv_1'，v_2'とする。水平右方向への速さを正とする。球①と②が離れて移動するので，$v_2'>v_1'$である。

$$E=\frac{1}{2}mv_1{}^2,\ E_1=\frac{1}{2}mv_1'^2,\ E_2=\frac{1}{2}mv_2'^2$$

反発係数は $0.5=\left|\dfrac{v_1'-v_2'}{v_1}\right|=\dfrac{v_2'-v_1'}{v_1}$　(∗)

運動量保存の法則により，$mv_1 = mv_1' + mv_2'$，$\therefore\ v_1 = v_1' + v_2'$　(**)

式(*)，(**)から，$v_1' = \dfrac{1}{4}v_1$，$v_2' = \dfrac{3}{4}v_1$

$E_1 = \dfrac{1}{2}mv_1'^2 = \dfrac{1}{2}\dfrac{1}{16}mv_1^2 = \boxed{エ\ \dfrac{1}{16}E}$，$E_2 = \dfrac{1}{2}mv_2'^2 = \dfrac{1}{2}\dfrac{9}{16}mv_1^2 = \boxed{オ\ \dfrac{9}{16}E}$

ここでは，$v_2' > v_1'$ であることに注意すること。

カ

速さが0ということは，運動エネルギーが重力による位置エネルギーに変化したことだから，

$$mgh_1 = E_1 = \frac{1}{16}E,\ mgh_2 = E_2 = \frac{9}{16}E,\ \therefore\ \frac{h_2}{h_1} = \boxed{カ\ 9}$$

キ

ばねを最も縮めて球① を打ち出したときの運動エネルギーEはウ$=4mgr$だから，
衝突直後の球② の運動エネルギーは

$$E_2 = \frac{9}{16}E = \frac{9}{16}\times 4mgr = \boxed{キ\ \frac{9}{4}mgr}$$

ク

球 ② について，点Aと点B におけるエネルギー保存の法則により，$v_2'{}_B$ を点Bでの速さとすれば，

$\dfrac{9}{4}mgr = \dfrac{1}{2}mv_2'{}_B{}^2 + 2mgr$，$v_2'{}_B{}^2 = \dfrac{1}{2}gr$，$v_2'{}_B = \sqrt{\dfrac{gr}{2}}$，したがって球 ② が落下する位置は，

$$L = v_2'{}_B\, t = \sqrt{\frac{gr}{2}}\,2\sqrt{\frac{r}{g}} = \boxed{ク\ \sqrt{2}\,r}$$

(3)　ケ

重力の成分 $mg\cos\theta$ が中心方向外向きに働く。したがって，球②の円運動の方程式は

$$m\frac{v^2}{r} = \boxed{ケ\ F - mg\cos\theta}\quad (\mathrm{i})$$

コ

点A に対する角度θ における球 ② の高さは $r(1-\cos\theta)$ だから，力学的エネルギー保存の法則は

$$\frac{1}{2}mv^2 + mgr(1-\cos\theta) = E_2,\ \therefore\ \frac{1}{2}mv^2 = \boxed{コ\ E_2 - mgr(1-\cos\theta)}\quad (\mathrm{ii})\quad （答）$$

サ

(i)，(ii)からvを消去し，$F=0$とおけば，$\cos\theta_F = \dfrac{2}{3}\left(1 - \dfrac{E_2}{mgr}\right)$

(ii)で$v=0$とおけば，$\cos\theta_V = 1 - \dfrac{E_2}{mgr}$

したがって，$\dfrac{\cos\theta_F}{\cos\theta_V} = \boxed{サ\ \dfrac{2}{3}}$　（答）

問１

二重レール内の運動で，高さh_2で球 ② の速さが0 に なったとき，エネルギー保存の法則により

$mgh_2 = E_2$，$\therefore\ h_2 = \dfrac{E_2}{mg}$ 。

内側レールがない運動では，斜方投射されるときの球の水平方向の速さv_x，最高到達点の高さをh_2'とすれば，エネルギー保存の法則により，

$$mgh_2' + \frac{1}{2}m{v_x}^2 = E_2, \quad \therefore\ h_2' = \frac{E_2}{mg} - \frac{{v_x}^2}{2g} = h_2 - \frac{{v_x}^2}{2g} < h_2$$

すなわち，前者の運動では，初期の運動エネルギーがすべて位置エネルギーに変換される。後者の運動では，水平方向の速さによる運動エネルギーの分だけ，重力による位置エネルギーが小さいから，放物運動の最高到達点はh_2よりも低い。

物理問題　II

<解答>

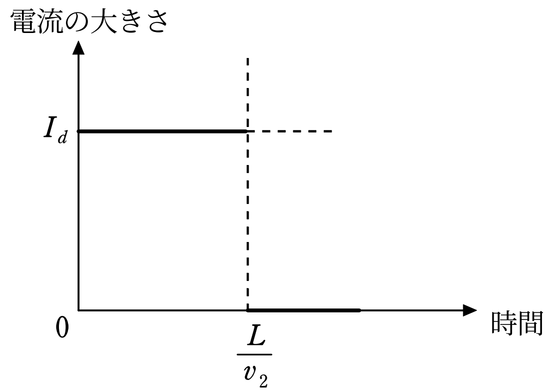
(1)

イ qE_1　ロ $\dfrac{qE_1}{k}$　ハ qv_1B　ニ y 軸の正　ホ J　ヘ v_1B　ト wv_1B　チ dwv_1nq　リ dq

(2)

ヌ $\dfrac{\varepsilon S}{L}$　ル $\dfrac{L}{v_2t}C$　ヲ $\dfrac{L}{L-v_2t}C$　ワ $\dfrac{v_2t}{L}\dfrac{Q-q_1}{C}$　カ $\dfrac{L-v_2t}{L}\dfrac{Q+q_2}{C}$　ヨ $\dfrac{qN}{L}$　タ 0

問１



<解説>

(1)

磁界中におかれた導体に電流を流したとき，ローレンツ力によって生じる事象に関する問題である。物理の教科書には，ホール効果として記載されている。教科書を読み込み，理解していれば正答できる問題である。

イ

強さE_1の電界により電子がうける力は$-qE_1$，したがって電界の方向とは逆のx軸の正の向きに，電子は大きさ$\boxed{イ\ qE_1}$の電気力を受けて進む。

ロ

電子の速さvに比例した抵抗力（比例係数k）を受けるので，電子が受ける力は

$F = qE_1 - kv$

電気力と抵抗力がつり合い，電子の速度が一定となったとき，$F=0$として，$v_1 = \boxed{ロ\ \dfrac{qE_1}{k}}$　（答）

ハ，ニ，ホ

電子は電流とは反対のx軸の正の方向に移動するので，電気量qがx軸の負の方向に速さv_1で移動する。電子は磁界に垂直に移動するので，大きさ$\boxed{ハ\ qv_1B}$のローレンツ力をx軸の負の方向からBの方向 へ右ねじの向きに，すなわち{ニ：y軸の正}の向きに受ける。

したがって，電子は面{ホ：J}に集まり，面Jは負に，向かい合う面Dは正に帯電する。

ヘ，ト

電子に働く力はqE_2で，これがローレンツ力qv_1Bとつりあうから，$E_2=\boxed{ヘ\ v_1B}$

面{ホ：J}と向かい合う面の間に生じる電圧は，両面の間隔がwだから，$U=wE_2=\boxed{ト\ wv_1B}$

チ

電子が一定の速さv_1で進むとすると，電子を含む面が単位時間に進む距離がv_1だから，この中に含まれる電子の数は，$dwv_1\times n$である。

したがって，単位時間に流れる電気量，すなわち電流は$I=\boxed{チ\ dwv_1nq}$

リ

ト，チの関係を用いて，$B=\dfrac{U}{wv_1}=\dfrac{U}{w\dfrac{I}{dwnq}}=dq\times\dfrac{nU}{I}=\boxed{リ\ dq}\times\dfrac{nU}{I}$

(2)　ヌ

コンデンサーの電気容量は誘電率と極板面積に比例し，極板間隔に反比例するから，$C=\boxed{ヌ\ \dfrac{\varepsilon S}{L}}$

ル，ヲ

コンデンサーの電気容量の式を適用し，コンデンサー①の容量 $C_1=\dfrac{\varepsilon S}{v_2t}=\dfrac{L}{v_2t}\times\dfrac{\varepsilon S}{L}=\boxed{ル\ \dfrac{L}{v_2t}C}$

②の容量 $C_2=\dfrac{\varepsilon S}{L-v_2t}=\dfrac{L}{L-v_2t}\times\dfrac{\varepsilon S}{L}=\boxed{ヲ\ \dfrac{L}{L-v_2t}C}$

ワ，カ

コンデンサー①について，電荷が$(Q-q_1)$だから，$V_1=\dfrac{Q-q_1}{C_1}=\boxed{ワ\ \dfrac{v_2t}{L}\dfrac{Q-q_1}{C}}$

コンデンサー②について，電荷が$(Q+q_2)$だから，$V_2=\dfrac{Q+q_2}{C_2}=\boxed{カ\ \dfrac{L-v_2t}{L}\dfrac{Q+q_2}{C}}$

ヨ，タ

$\dfrac{v_2t}{L}=r$とおけば，$V_1=r\dfrac{Q-q_1}{C}$，$V_2=(1-r)\dfrac{Q+q_2}{C}$

したがって，$CV_1=r(Q-q_1)$，$CV_2=(1-r)(Q+q_2)$

$CV_1+CV_2=C(V_1+V_2)=CV=Q=r(Q-q_1)+(1-r)(Q+q_2)$

これを整理すると，$Q=Q+q_2-r(q_1+q_2)=Q+q_2-rqN$，$\therefore\ q_2=rqN=\dfrac{v_2t}{L}qN=\boxed{ヨ\ \dfrac{qN}{L}}\times v_2t$

電子群が面Hに到達した後は，直流電源に接続された回路だから，電流は流れない。$\boxed{タ\ 0}$

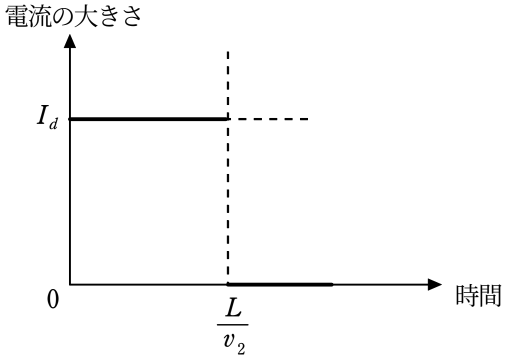
問１

電子群が移動している間に流れる電流は

$0 \leqq t \leqq \dfrac{L}{v_2}$ において，$I_d = \dfrac{qN}{L} \times v_2$

電子群が面 H に到達した後は電流は 流れない。

すなわち，$\dfrac{L}{v_2} < t$ において抵抗を流れる電流は 0



物理問題　Ⅲ

＜解答＞

(1)　あ $\dfrac{c}{f}$　い $\dfrac{c_R}{f}$　う f

(2)　え $\dfrac{c+V}{f}$　お $\dfrac{c-V}{c+V}f$　か $\dfrac{c_R(c+V)}{cf}$　き $\dfrac{c_R+W}{c_R}\dfrac{c}{c+V}f$

(3)　く $U\sin\theta$　け $\dfrac{c-U\sin\theta}{c}$　こ $2L\tan\theta$　さ $\dfrac{U}{c}$　し f

(4)　す $\dfrac{\sqrt{c^2-U^2}}{2f}$　せ ②

＜解説＞

(1)　あ

車が発する振動数f，音速c の音波の波長λ は，$c=f\lambda$ の関係から，$\lambda = \boxed{あ\ \dfrac{c}{f}}$

い

部屋Rの中では，音速はc_R だから，波長は $\lambda_R = \boxed{い\ \dfrac{c_R}{f}}$

う

車からの音波が振動数f で壁M を振動させるのだから，部屋の中の観測者Q が聞く音波の振動数は,変化なく$\boxed{う\ f}$である。

(2)　え

音源（車）がx 軸の正の方向に速さV で移動しているので，音源よりもx 軸の負の方向にいる観測者には，音波の山の間隔は $\dfrac{V}{f}$ だけ伸びているように観測される。音波の山の時間間隔$\dfrac{1}{f}$ の間に音源がVだけ遠くへ移動するからである。すなわち，波長は $\lambda+\dfrac{V}{f} = \boxed{え\ \dfrac{c+V}{f}}$

お

$\boxed{え}$によって，壁M に到達した波はM を振動数 $f_M = \dfrac{c}{\dfrac{c+V}{f}} = \dfrac{c}{c+V}f$ で振動させる。

この音波を速さVで壁Mから遠ざかっている車で聞くと，振動数 $\dfrac{c-V}{c}f_M=\boxed{お\ \dfrac{c-V}{c+V}f}$ の音波として聞こえる。

静止した車では1秒間にf_M個の波を聞く。しかし，車は距離V遠ざかるので，距離Vの中にある波の数 $\dfrac{V}{c}f_M$ がまだ車に届かない。すなわち，聞こえる波の数は１秒間に $f_M-\dfrac{V}{c}f_M=\dfrac{c-V}{c}f_M$

か，き

壁Mから出る音波の振動数はf_M，音速はc_Rだから，波長は $\lambda_R=\dfrac{c_R}{f_M}=\boxed{か\ \dfrac{c_R(c+V)}{cf}}$

$\boxed{お}$と同様の考え方により，壁Mに向かって速さWで駆け寄る観測者Qが聞く振動数は

$f_Q=\dfrac{c_R+W}{c_R}f_M=\boxed{き\ \dfrac{c_R+W}{c_R}\dfrac{c}{c+V}f}$

(3)　く

車Sが移動する速さの音波の進行方向成分は，$\boxed{く\ U\sin\theta}$

け

音源が音波の進む方向に$U\sin\theta$の速さで移動しているのだから，$\boxed{え}$を参考にすると，音波の波長は $\lambda_U=\dfrac{c-U\sin\theta}{f}$，したがって空気中に伝わる音波 $\lambda=\dfrac{c}{f}$ と比べると，$\dfrac{\lambda_U}{\lambda}=\dfrac{c-U\sin\theta}{c}$，

したがって $\boxed{け\ \dfrac{c-U\sin\theta}{c}}$ 倍となる。

こ

音波が壁Mに反射して再び走路T上に戻ったとき，走路T方向に音波が進んだ距離は$2L\tan\theta$
したがって，車Sが移動した距離 $L'=\boxed{こ\ 2L\tan\theta}$ のとき，反射してきた音波と車とが走路T上で出会う。

さ

音波が壁Mで反射して走路Tに戻るまでに進む距離は $\dfrac{2L}{\cos\theta}$

音波と車が出会うまでの時間が同じだから，$\dfrac{L'}{U}=\dfrac{2L}{c\cos\theta}$，$\therefore\ \sin\theta=\boxed{さ\ \dfrac{U}{c}}$

し

図１に示すように，音源（車）が音波の進行方向に移動する速さと音波を聞く運転手D（車）が音源から遠ざかる速さとが同じだから，運転手Dの聞く音波の振動数は変化することなく，$\boxed{し\ f}$ である。言い換えれば，音源と観測者の距離は変化しないからである。

(4)　す

車→壁M→車と反射してきた音波が進んだ距離は $\dfrac{2L}{\cos\theta}$

壁Mで音波は固定端反射するということから，反射音波の位相がπずれることになる。

したがって，この距離が（波長の整数倍）のとき，運転手が直接聞く車の音波の位相に対してπずれていることになり，弱めあう。

すなわち，$\dfrac{2L}{\cos\theta}=(n+1)\lambda$，$\therefore\ L=\dfrac{\cos\theta}{2}(n+1)\lambda=\dfrac{c\cos\theta}{2f}(n+1)$

$\cos\theta=\sqrt{1-\sin^2\theta}=\dfrac{\sqrt{c^2-U^2}}{c}$, したがって $\dfrac{c\cos\theta}{2f}=\dfrac{\sqrt{c^2-U^2}}{2f}$

以上によって, $\boxed{す\ \dfrac{\sqrt{c^2-U^2}}{2f}}$, せ ② $n+1$

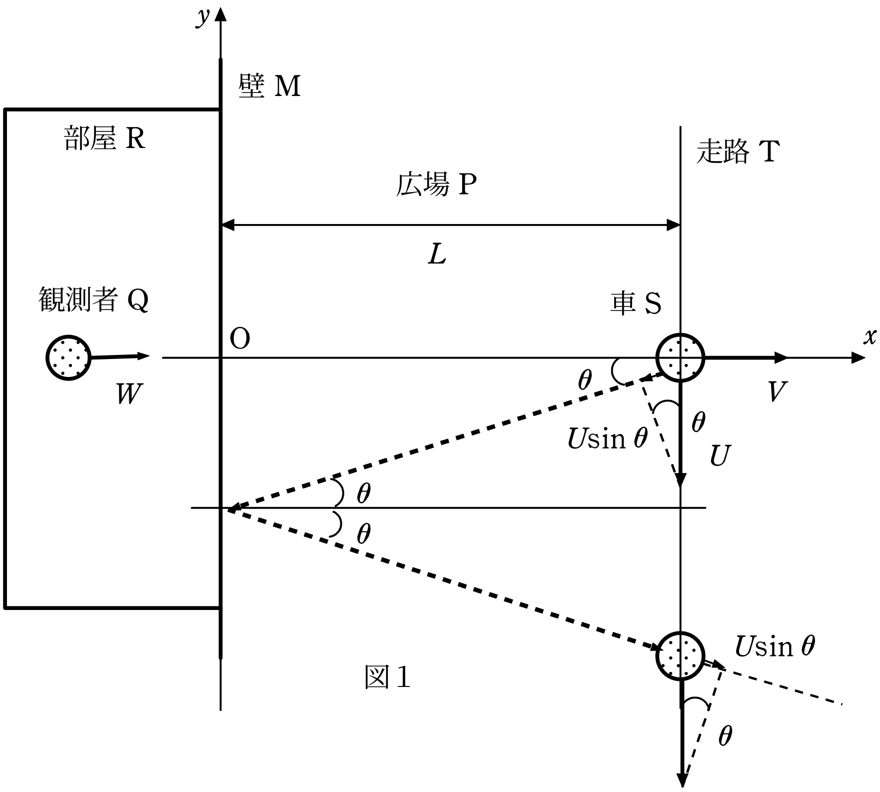


図 1

＜総評＞

例年通り，文章を読み進みながら，要所の $\boxed{}$ に適切な式または値を求める。また，文章説明やグラフ記載を求める問いが付加される。下記のように，力学，電磁気とも，昨年に比べ明らかに易化している。波動（音波）の問題は，ドップラー効果を扱う面白い問題設定であり，やや難しい思考が要求される。効果の公式の暗記だけでなく，ドップラー効果の本質を理解していることが必要である。

問題Ⅰ

円弧状二重レールによって，円運動をする球の運動に関する問題。全体として，難しい思考の過程を要求する問題ではないので，標準的な難易度といえる。

(1)では点B におけるレールの接線は水平だから，B 点から球は水平投射される。したがって水平方向の速さをもつが，垂直方向には速さ0であることに注意する。難易度はB。

(2)では衝突後，球 ② の方が ①より大きな速度をもつことに注意する。そうすれば，球 ②と① は再衝突することはない。難易度はB。

(3)では，円運動の方程式を考える。球に働く力は，重力の加速度とレールからの抗力である。これらの合力が円運動の向心力となる。抗力が0ということは，向心力と中心に向かう重力の成分が等しいということである。難易度はB。

問題Ⅱ

電磁気の問題。基本的なことを理解していれば，解くことができる。京大の問題としては，易しい。

⑴は磁界中に置かれた導体に電流を流したときに働くローレンツ力を利用して磁束密度を測定する原理（ホール効果）に関する。電子は負の電荷をもつのだから，電流の方向と電子の進む方向は逆になることを，改めて確認しておこう。ローレンツ力の方向はフレミングの左手の法則によって確認する。難易度Ｂ

⑵は金属極板間に半導体が挿入されたコンデンサーに関する問題。シート状の電子群を注入して，容量が時間変化するコンデンサーの直列接続を考える問題である。シート状の電子群は薄い導体とみなすことができ，シート状の電子群が進むということは，極板間を導体板が移動することになる。すると，容量が変化するコンデンサーを直列接続したことになる。

半導体，シート状の電子群などという，難しそうな言葉に惑わされないように。文章を追いながら，考えていけば，難しい思考を要するものではないことに気づくであろう。難易度Ｂ。

問題Ⅲ

音波の問題。ドップラー効果の的確な理解を問う問題である。音源と観測者が同じ車で移動すること，音波の進行方向への音源と観測者の速さを考えること，など一工夫された問題である。

⑴は音波の波長，振動数，速さの関係を問う基本問題だから正答しなければならない。
難易度Ｃ。

⑵は音源や観測者が移動しているときに聞く音波に関する問題で，ドップラー効果の理解を問う。公式を丸暗記していれば，解ける問題ではある。しかし公式の導出を含めて，ドップラー効果を説明することができるようにしたい。難易度Ｂ。

⑶では音源の移動方向と音波の進行方向が異なる場合のドップラー効果の問題である。対象とする音波の方向を求め，音源の移動の速さの音波方向成分によって，ドップラー効果を考える。工夫された面白い問題であり，的確な物理思考力が必要である。難易度Ａ。

⑷は音波の干渉の問題であり，固定端の反射という条件によって，２つの音波の行路長の差が（波長の整数倍）の場合に弱めあうということを記述している。難易度Ｂ＋。

171221