31

平成31年度 東北医科薬科大学入学試験問題

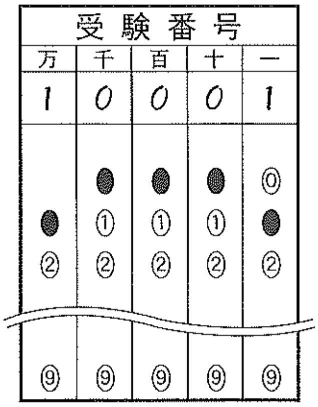
医学部 一般・理科

《注意事項》

1．解答用紙左部に氏名、フリガナ、その下部に受験番号を記入し、例にならって ○ にマークしなさい。

（例）受験番号１０００１の場合

フリガナ	
氏　名	



2．出題科目、ページ及び選択方法は下表のとおりです。

出題科目	ページ	選択方法
物　理	1～15	左の３科目のうちから２科目を選択し、解答しなさい。解答する科目の順番は問いません。解答時間（120分）の配分は自由です。
化　学	16～27	
生　物	28～40	

3．試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁等に気付いた場合は、手を高く挙げて監督者に知らせなさい。

4．２枚の解答用紙のそれぞれの解答科目欄に，解答する科目のいずれか１つをマークしなさい。

5．解答方法は次のとおりです。

（１）次の例にならって解答用紙の解答欄にマークしなさい。

（例）問１　東北医科薬科大学のある都市は次のうちどれか。

① 札幌市　② 青森市　③ 秋田市　④ 山形市　⑤ 盛岡市
⑥ 福島市　⑦ 水戸市　⑧ 新潟市　⑨ 東京都　⑩ 仙台市

⑩ と解答する場合は解答用紙の ⑩ をマークしなさい。

解答番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	0
1	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	●	⓪

この注意事項は、問題冊子の裏表紙にも続きます。問題冊子を裏返して必ず読みなさい。

（2） $\boxed{\ 6\ }$ に数字「8」、 $\boxed{\ 7\ }$ に数字「0」と答えたい時は次のとおりマークしなさい。

6	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	●	⑨	⑩	⓪
7	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	●

$\boxed{\ 8\ }$ ／ $\boxed{\ 9\ }$ のように分数形で解答する場合は、既約分数(それ以上約分できない分数)で答えなさい。 $\boxed{\ 8\ }$ ／ $\boxed{\ 9\ }$ に３／４と答えたい時は次のとおりマークしなさい。

8	①	②	●	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⓪
9	①	②	③	●	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⓪

（3） 解答の作成にはＨ、 Ｆ、 ＨＢの黒鉛筆を使用し、 ◯ の中を塗りつぶしなさい。シャープペンシル等、黒鉛筆以外のものを使用した場合には、解答が読み取れず、採点できない場合があります。

（4） 答えを修正する場合は、プラスチック製の消しゴムであとが残らないように**完全に消しなさい**。鉛筆のあとが残ったり、 ✗ のような消し方などした場合は、修正または解答したことにならないので注意しなさい。

（5） 解答用紙は折り曲げたり、メモやチェック等で汚したりしないよう、特に注意しなさい。

（試験終了後、問題冊子は持ち帰りなさい。）

物　理

問題訂正
物　理

1ページ

【Ⅰ】 問1

(訂正前) 角速度ω

(訂正後) 角速度<u>の大きさ</u>ω

【Ⅰ】

図1に示す質量mの小球の水平面内の運動を考える。小球は伸び縮みしない長さrのひもで原点Oとつながれ，時刻$t=0$において，y軸上の$y=r$の点からx軸の正の方向に速さvで打ち出された。

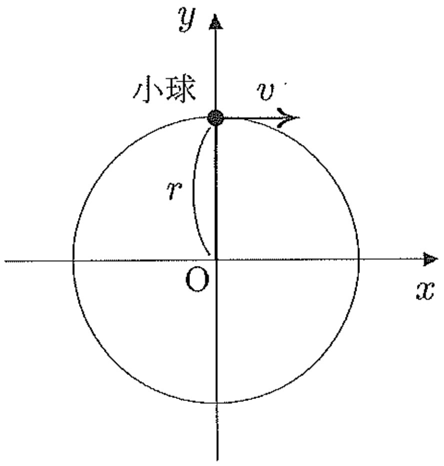


図1

問1　小球に摩擦が働かないとき，時刻tにおける小球のx座標は角速度$\omega=$ $\boxed{\ 1\ }$ を用いて$x=$ $\boxed{\ 2\ }$ と表すことができる。

$\boxed{\ 1\ }$ の解答群

① $\dfrac{r}{v}$　② $\dfrac{2\pi r}{v}$　③ $\dfrac{4\pi^2 r}{v}$　④ $\dfrac{r}{2\pi v}$

⑤ $\dfrac{v}{r}$　⑥ $\dfrac{2\pi v}{r}$　⑦ $\dfrac{4\pi^2 v}{r}$　⑧ $\dfrac{v}{2\pi r}$

$\boxed{\ 2\ }$ の解答群

① $r\cos(\omega t)$　② $r\sin(\omega t)$　③ $r\cos(\pi\omega t)$　④ $r\sin(\pi\omega t)$

⑤ $r\cos\left(\dfrac{\omega t}{\pi}\right)$　⑥ $r\sin\left(\dfrac{\omega t}{\pi}\right)$　⑦ $r\cos\left(\dfrac{\pi t}{\omega}\right)$　⑧ $r\sin\left(\dfrac{\pi t}{\omega}\right)$

問2　このとき，小球がひもから受ける力のx成分F_xは $\boxed{\ 3\ }$ であり，$F_x=-kx$と置き換えてx方向の運動方程式を表したとき$\omega=$ $\boxed{\ 4\ }$ の関係式が成り立つ。

$\boxed{\ 3\ }$ の解答群

① $mr\omega^2\cos(\omega t)$　② $mr\omega^2\sin(\omega t)$　③ $-mr\omega^2\cos(\pi\omega t)$　④ $-mr\omega^2\sin(\pi\omega t)$

⑤ $-mr\omega^2\cos(\omega t)$　⑥ $-mr\omega^2\sin(\omega t)$　⑦ $mr\omega^2\cos(\pi\omega t)$　⑧ $mr\omega^2\sin(\pi\omega t)$

$\boxed{\ 4\ }$ の解答群

① $\sqrt{\dfrac{m}{k}}$　② $2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$　③ $\sqrt{\dfrac{k}{m}}$　④ $2\pi\sqrt{\dfrac{k}{m}}$　⑤ $\dfrac{m}{k}$　⑥ $2\pi\dfrac{m}{k}$

次に，図2に示す上端が固定されたばね（ばね定数k）につながれた回転しないおもり台とおもりの鉛直方向の直線運動を考える。質量mのおもりは複数あり，重力加速度はgとする。摩擦や空気抵抗の影響はなく，おもりとおもり台以外の質量は無視できるものとして以下の問いに答えよ。ただし，鉛直方向の座標zは下向きを正とし，ばねに質量mのおもり台を取り付けたときのつり合いの位置をz軸の原点とする。

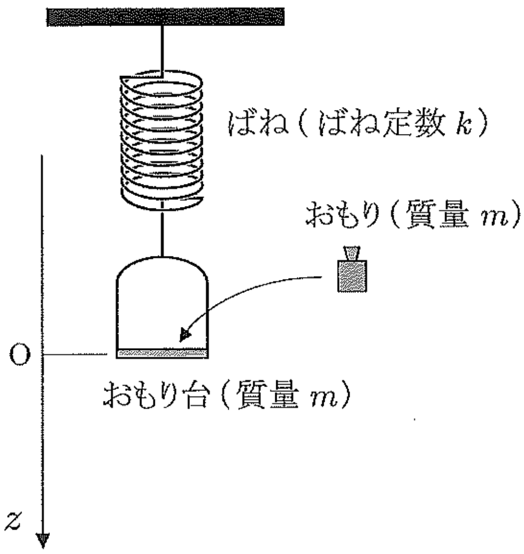


図2

問3 平衡点の位置$z=0$に静止している質量mのおもり台に，質量mの1つめのおもりを静かにのせると，おもり台は滑らかに降下し，おもり台の速さvは時刻t_1で極大値 $\boxed{\ 5\ }$ をとり，その後，単調に減少して時刻t_2で$v=0$になった。t_2-t_1は $\boxed{\ 6\ }$ である。

$\boxed{\ 5\ }$ の解答群

① $g\sqrt{\dfrac{m}{2k}}$　② $g\sqrt{\dfrac{m}{k}}$　③ $g\sqrt{\dfrac{2m}{k}}$　④ $2g\sqrt{\dfrac{m}{k}}$　⑤ $\sqrt{\dfrac{k}{2m}}$　⑥ $g\sqrt{\dfrac{k}{2m}}$　⑦ $g\sqrt{\dfrac{k}{m}}$

⑧ $g\sqrt{\dfrac{2k}{m}}$　⑨ $2g\sqrt{\dfrac{k}{m}}$

$\boxed{\ 6\ }$ の解答群

① $\pi\sqrt{\dfrac{m}{2k}}$　② $\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$　③ $\pi\sqrt{\dfrac{2m}{k}}$　④ $2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$　⑤ $2\pi\sqrt{\dfrac{2m}{k}}$

⑥ $\pi\sqrt{\dfrac{k}{2m}}$　⑦ $\pi\sqrt{\dfrac{k}{m}}$　⑧ $\pi\sqrt{\dfrac{2k}{m}}$　⑨ $2\pi\sqrt{\dfrac{k}{m}}$

問4 その後，おもり台の速さ v は再び増加し，極大値をとった後に単調に減少して時刻 t_3 で再度 $v=0$ になった。この瞬間に，おもり台に2つめのおもり (質量 m) を静かにのせた。おもり台は速やかに降下し，時刻 t_4 で v は極大値 $\boxed{7}$ をとり，その後，単調に減少して時刻 t_5 で再び $v=0$ になった。時刻 t_5 のときのおもり台の位置 z は $\boxed{8}$ である。ここで，v_1 は時刻 t_1 のときのおもり台の速さとする。

$\boxed{7}$ の解答群

① $\sqrt{2}v_1$　② $\dfrac{3}{2}v_1$　③ $\sqrt{\dfrac{3}{2}}v_1$　④ $2v_1$　⑤ $\dfrac{1}{2}v_1$　⑥ $\dfrac{1}{\sqrt{2}}v_1$　⑦ $\sqrt{\dfrac{2}{3}}v_1$　⑧ $2\sqrt{\dfrac{2}{3}}v_1$

$\boxed{8}$ の解答群

① $\dfrac{mg}{k}$　② $\dfrac{3mg}{2k}$　③ $\dfrac{2mg}{k}$　④ $\dfrac{5mg}{2k}$　⑤ $\dfrac{4mg}{k}$　⑥ $\dfrac{9mg}{2k}$　⑦ $\dfrac{5mg}{k}$

⑧ $\dfrac{6mg}{k}$　⑨ $\dfrac{2\sqrt{2}mg}{k}$

問5 時刻 t_5 において3つめのおもり (質量 m) を静かにのせると，おもり台は単調に移動し，その速さ v は極大値をとった後，単調に減少して時刻 t_6 で再び0になった。時刻 t_6 のときのおもり台の位置 z は $\boxed{9}$ である。

$\boxed{9}$ の解答群

① 0　② $\dfrac{mg}{2k}$　③ $\dfrac{mg}{k}$　④ $\dfrac{3mg}{2k}$　⑤ $\dfrac{2mg}{k}$　⑥ $\dfrac{5mg}{2k}$　⑦ $\dfrac{3mg}{k}$

⑧ $\dfrac{7mg}{k}$　⑨ $\dfrac{8mg}{k}$

問6 時刻 t_6 においてさらに4つめのおもり (質量 m) を静かにのせると，おもり台は再び降下し，時刻 t_7 において最下点に到達してその速さ v が0になった。このときのおもり台の位置 z は $\boxed{10}$ である。

$\boxed{10}$ の解答群

① $\dfrac{3mg}{2k}$　② $\dfrac{2mg}{k}$　③ $\dfrac{5mg}{2k}$　④ $\dfrac{3mg}{k}$　⑤ $\dfrac{4mg}{k}$　⑥ $\dfrac{5mg}{k}$　⑦ $\dfrac{6mg}{k}$

⑧ $\dfrac{7mg}{k}$　⑨ $\dfrac{8mg}{k}$

問７ 時刻 t_7 において，４つめのおもりだけをそっと取り除くと，おもり台と３つのおもりはともに単調に上昇し，時刻 t_8 で再び $v=0$ になった。時刻 t_8 のときのおもり台の位置 z は $\boxed{\quad 11 \quad}$ である。

$\boxed{\quad 11 \quad}$ の解答群

① $-\dfrac{mg}{k}$ ② $-\dfrac{mg}{2k}$ ③ 0 ④ $\dfrac{mg}{2k}$ ⑤ $\dfrac{mg}{k}$ ⑥ $\dfrac{3mg}{2k}$ ⑦ $\dfrac{2mg}{k}$

⑧ $\dfrac{3mg}{k}$ ⑨ $\dfrac{4mg}{k}$

問８ 一つめのおもりをおもり台にのせてから時刻 t_8 までの操作を，図３に示すばね定数 k の同じばねを２本直列につなげた装置で再度行った。この一連の過程に要する時間は，ばねが１本のときと比べて $\boxed{\quad 12 \quad}$ 倍になり，おもり台の速さ v の最大値は，ばねが１本のときと比べて $\boxed{\quad 13 \quad}$ 倍になる。

$\boxed{\quad 12 \quad}$，$\boxed{\quad 13 \quad}$ の解答群

① 1 ② $\sqrt{2}$ ③ 2 ④ 4 ⑤ 8 ⑥ $\dfrac{1}{2}$

⑦ $\dfrac{1}{\sqrt{2}}$ ⑧ $\dfrac{1}{4}$ ⑨ $\dfrac{1}{8}$

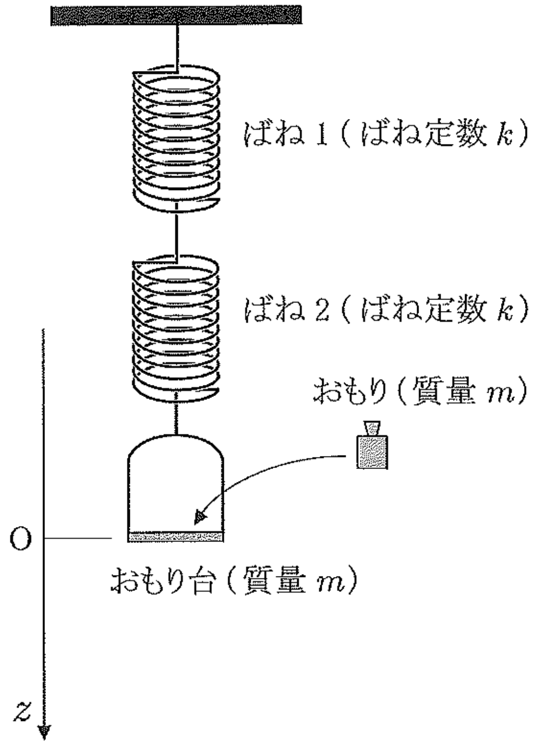


図３

【Ⅱ】

図１のように，起電力が E_1 と E_2 の内部抵抗のない２つの電池，抵抗値 r_1 の抵抗と抵抗値 r_2 の抵抗および非直線抵抗，電気容量 C のコンデンサー，そして２個のスイッチ S_1，S_2 からなる回路がある。非直線抵抗の電圧 V と電流 I の関係は図２に示すように $V = \alpha I^2$ $(\alpha > 0)$ で与えられる。以下では，$E_1 > E_2$ かつ $r_1^2 > 4\alpha(E_1 - E_2)$ が成り立つとする。始めスイッチ S_1 と S_2 は開いており，コンデンサーの電荷（電気量）はゼロであった。抵抗値 r_1 の抵抗を流れる電流 I_1，スイッチ S_2 を流れる電流 I_2 は図１に示す矢印の向きを正とする。以下の問いに答えなさい。

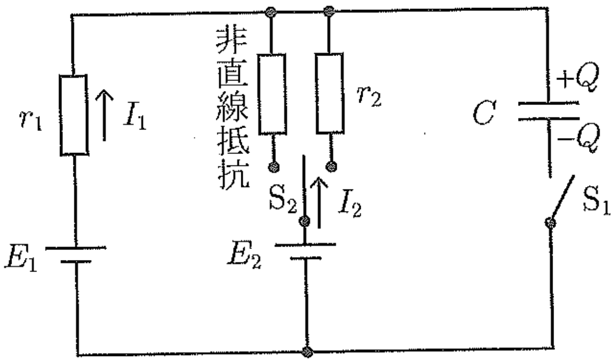


図１

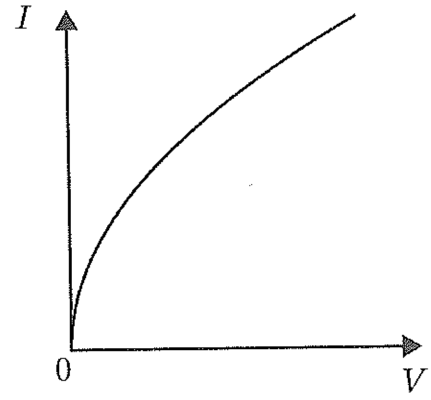


図２

問１ スイッチ S_1 を閉じた閉回路について，コンデンサーの両極の電荷の大きさを Q としたとき，E_1 および $I_1 = \Delta Q/\Delta t$（Q の変化率）の満たす式は $\boxed{14}$ である。また，スイッチ S_1 を閉じた直後の電流 I_1 は $\boxed{15}$ である。

$\boxed{14}$ の解答群

① $E_1 + r_1 I_1 = -\dfrac{Q}{C}$　② $E_1 + r_1 I_1 = \dfrac{Q}{C}$　③ $E_1 - r_1 I_1 = -\dfrac{Q}{C}$

④ $E_1 - r_1 I_1 = \dfrac{Q}{C}$

$\boxed{15}$ の解答群

① $\dfrac{E_1}{r_1}$　② 0　③ $-\dfrac{E_1}{r_1}$　④ $\dfrac{E_1}{2r_1}$　⑤ $-\dfrac{E_1}{2r_1}$　⑥ $\dfrac{2E_1}{r_1}$　⑦ $-\dfrac{2E_1}{r_1}$

問 2 問い 1 において，十分に時間が経過したとき，電流 I_1 は $\boxed{16}$ である。また，コンデンサーに充電された電荷の大きさ Q は $\boxed{17}$ である。

$\boxed{16}$ ， $\boxed{17}$ の解答群

① CE_1　② $\dfrac{E_1}{r_1}$　③ $-\dfrac{E_1}{r_1}$　④ $\dfrac{E_1}{2r_1}$　⑤ $-\dfrac{E_1}{2r_1}$

⑥ 0　⑦ $\dfrac{1}{2}CE_1$

問 3 問い 2 において，スイッチ S_1 を開いてスイッチ S_2 を非直線抵抗の位置につないだ。直後に，スイッチ S_2 に流れる電流 I_2 は $\boxed{18}$ である。

$\boxed{18}$ の解答群

① $r_1-\sqrt{r_1^2-4\alpha(E_1-E_2)}$　② $\dfrac{-r_1-\sqrt{r_1^2-4\alpha(E_1-E_2)}}{2\alpha}$

③ $\dfrac{r_1+\sqrt{r_1^2-4\alpha(E_1-E_2)}}{2\alpha}$　④ $r_1+\sqrt{r_1^2-4\alpha(E_1-E_2)}$

⑤ $-r_1+\sqrt{r_1^2-4\alpha(E_1-E_2)}$　⑥ $-r_1-\sqrt{r_1^2-4\alpha(E_1-E_2)}$

⑦ $\dfrac{r_1-\sqrt{r_1^2-4\alpha(E_1-E_2)}}{2\alpha}$　⑧ $\dfrac{-r_1+\sqrt{r_1^2-4\alpha(E_1-E_2)}}{2\alpha}$

問4 ここでスイッチS_2を抵抗値r_2の抵抗の位置につないだ。さらにスイッチS_1を閉じるとコンデンサーに蓄えられていた電荷の大きさQは変化した。スイッチS_1を閉じた時刻を$t=0$とする。ここで回路全体について$\dfrac{\Delta Q}{\Delta t} = \boxed{19}$および$\boxed{20}$が成り立つ。

$\boxed{19}$の解答群

① $-I_1+I_2$　② I_1-I_2　③ I_1+I_2　④ $-I_1-I_2$
⑤ I_1+2I_2　⑥ $2I_1+I_2$　⑦ $-I_1-2I_2$　⑧ $-2I_1-I_2$

$\boxed{20}$の解答群

① $E_1=-r_1I_1+\dfrac{Q}{C},\quad E_2=-r_2I_2+\dfrac{Q}{C}$

② $E_1=r_1I_1+\dfrac{Q}{C},\quad E_2=r_2I_2+\dfrac{Q}{C}$

③ $E_1=r_1I_1+\dfrac{Q}{C},\quad E_2=-r_2I_2+\dfrac{Q}{C}$

④ $E_1=r_2I_2-\dfrac{Q}{C},\quad E_2=-r_2I_2+\dfrac{Q}{C}$

⑤ $E_1=-r_1I_1+\dfrac{Q}{C},\quad E_2=r_2I_2+\dfrac{Q}{C}$

⑥ $E_1=r_1I_1-\dfrac{Q}{C},\quad E_2=r_1I_1+\dfrac{Q}{C}$

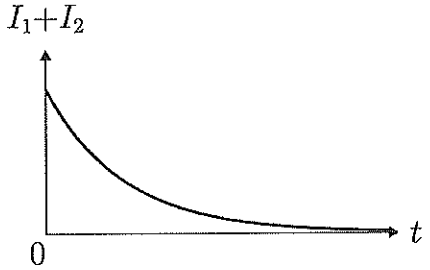
⑦ $E_1=r_1I_1-\dfrac{Q}{C},\quad E_2=r_2I_2-\dfrac{Q}{C}$

⑧ $E_1=-r_1I_1-\dfrac{Q}{C},\quad E_2=-r_2I_2-\dfrac{Q}{C}$

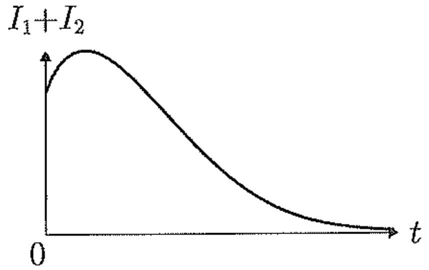
問 5 電流 $I_1 + I_2$ の時間変化を表すグラフとして正しいのは $\boxed{\quad 21 \quad}$ である。

$\boxed{\quad 21 \quad}$ の解答群

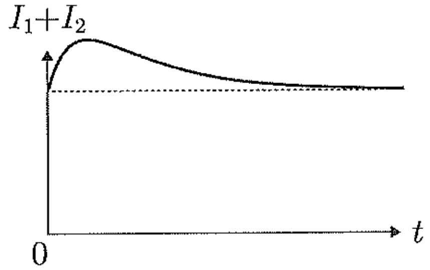
①



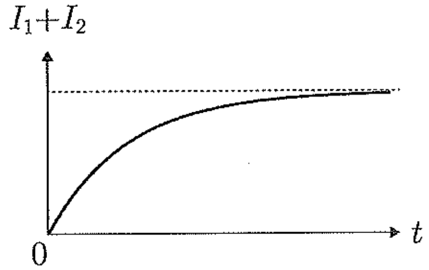
②



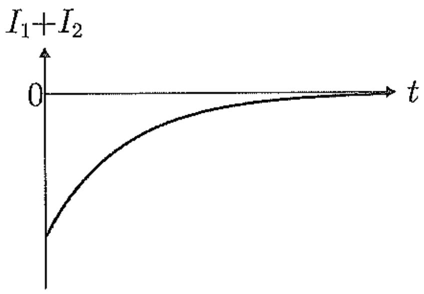
③



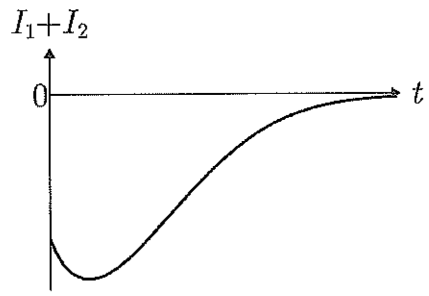
④



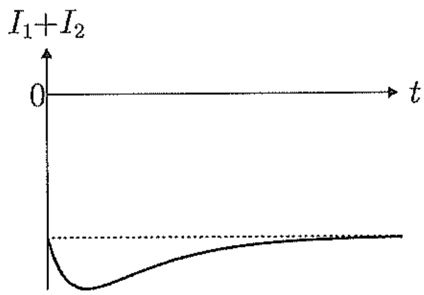
⑤



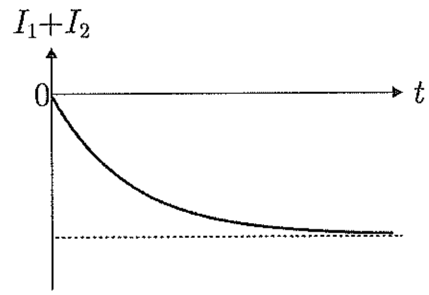
⑥



⑦

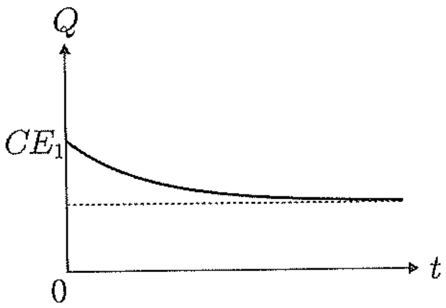


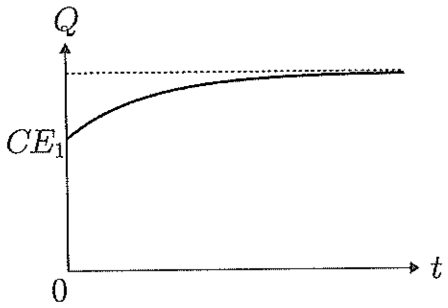
⑧

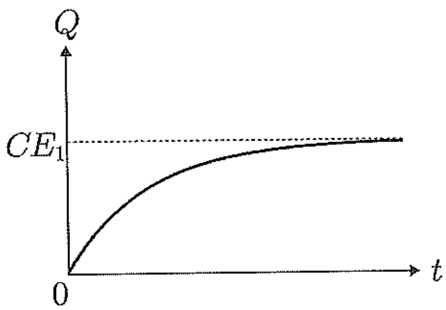


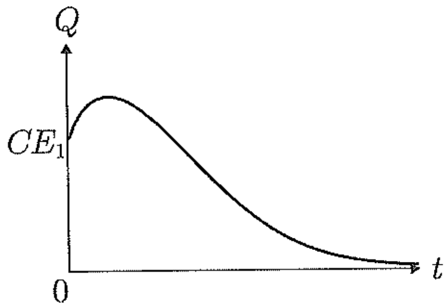
問 6 コンデンサーに充電された電荷の大きさ Q の時間変化を表すグラフとして正しいのは $\boxed{22}$ である。

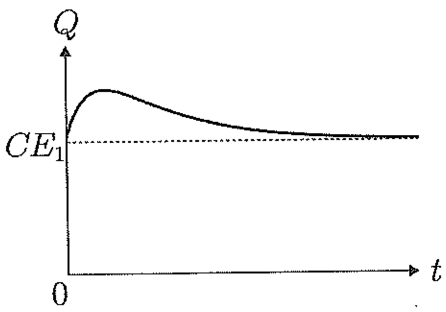
$\boxed{22}$ の解答群

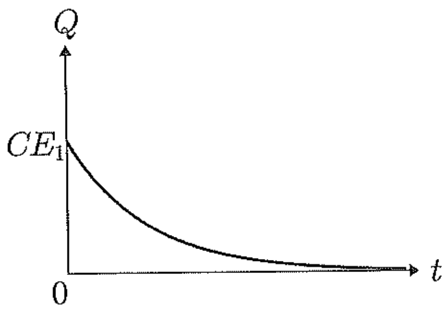
①


②


③


④


⑤


⑥


問7 スイッチ S_1 を閉じてから十分に時間が経過したときのコンデンサーに蓄えられている電荷の大きさ Q は $\boxed{23}$ である。

$\boxed{23}$ の解答群

① CE_1　② $C\dfrac{r_1E_1+r_2E_2}{r_1+r_2}$　③ $\dfrac{r_1E_2+r_2E_1}{C(r_1+r_2)}$　④ $\dfrac{r_1E_1+r_2E_2}{C(r_1+r_2)}$

⑤ CE_2　⑥ $C\dfrac{r_1E_2+r_2E_1}{r_1+r_2}$

問8 問い7で得られた Q の式についての以下の説明文で正しいものは $\boxed{24}$ である。

$\boxed{24}$ の解答群

① r_1 , r_2 の大小に関係なく，十分に時間が経過しているため $Q \fallingdotseq CE_2$ が成り立つ。

② $r_1 \gg r_2$ の場合，抵抗 r_1 の部分は断線しているとみなせるので $Q \fallingdotseq CE_1$ が成り立つ。$r_2 \gg r_1$ の場合，抵抗 r_2 の部分は断線しているとみなせるので $Q \fallingdotseq CE_2$ が成り立つ。

③ $r_1 \gg r_2$ の場合，抵抗 r_2 の部分は導線とみなせるので $Q \fallingdotseq CE_2$ が成り立つ。$r_2 \gg r_1$ の場合，抵抗 r_1 の部分は導線とみなせるので $Q \fallingdotseq CE_1$ が成り立つ。

④ r_1 , r_2 の大小に関係なく，充電されたときの電圧がコンデンサーにかかっているため $Q \fallingdotseq CE_1$ が成り立つ。

【 Ⅲ 】

「空間の1点Pから出て他点Qに達する光は，所要時間が最小となる経路をたどる」というフェルマーの原理から光の反射・屈折の法則を導くことができる。このことについて以下の問いに答えよ。必要であれば，$|x| \ll 1$ のとき，$(1+x)^{\alpha} \fallingdotseq 1+\alpha x$ と近似できることを用いてよい。真空中の光の速さは c とする。

はじめに，図1のように，xy 平面内で，屈折率 n_1 の媒質内の点Pから出た光が平面鏡MM' 上の点Aで反射し，点Qに到達した場合について反射の法則を導く。ただし，PA$=l_1$，AQ$=l_2$ とおき，PAおよびAQが y 軸となす角度をそれぞれ θ_1，θ_2 とする。

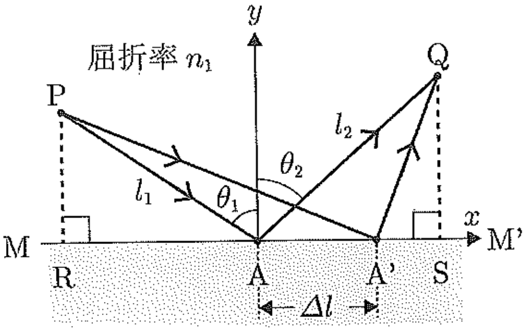


図1

問1　点Pから出た光が経路PAQを通り点Qに到達するまでの所要時間 t_{PAQ} は $\boxed{25}$ で与えられる。

$\boxed{25}$ の解答群

① $\dfrac{1}{n_1 c}(l_1+l_2)$　② $\dfrac{n_1}{c}(l_1+l_2)$　③ $\dfrac{1}{n_1 c}(l_1-l_2)$　④ $\dfrac{n_1}{c}(l_1-l_2)$

⑤ $\dfrac{1}{n_1 c}(l_2-l_1)$　⑥ $\dfrac{n_1}{c}(l_2-l_1)$

問2　x 軸上において，点Aからわずかに Δl だけずれた点A' を考える。2つの直角三角形，PARとPA'Rに着目するとPA'$=\left(\boxed{26}\right)^{\frac{1}{2}}$ と求められる。

$\boxed{26}$ の解答群

① $l_1^2+2l_1\Delta l\sin\theta_1-\Delta l^2$　② $l_1^2-2l_1\Delta l\sin\theta_1-\Delta l^2$

③ $l_1^2+2l_1\Delta l\cos\theta_1-\Delta l^2$　④ $l_1^2-2l_1\Delta l\cos\theta_1-\Delta l^2$

⑤ $l_1^2+2l_1\Delta l\sin\theta_1+\Delta l^2$　⑥ $l_1^2-2l_1\Delta l\sin\theta_1+\Delta l^2$

⑦ $l_1^2+2l_1\Delta l\cos\theta_1+\Delta l^2$　⑧ $l_1^2-2l_1\Delta l\cos\theta_1+\Delta l^2$

問3　PA' は，$\left|\dfrac{\Delta l}{l_1}\right| \ll 1$ であることを用い，また Δl^2 を含む項は小さいとして無視すると $\boxed{27}$ と近似できる。

$\boxed{27}$ の解答群

① $l_1+\Delta l\cos\theta_1$　② $l_1-\Delta l\cos\theta_1$　③ $l_1+\Delta l\sin\theta_1$　④ $l_1-\Delta l\sin\theta_1$

問4　点Pから出た光が経路PA'Qを通り点Qに到達するまでの所要時間$t_{\mathrm{PA'Q}}$は，A'Qを問い2，問い3と同様に求めると $\boxed{\ 28\ }$ と近似できる。

$\boxed{\ 28\ }$ の解答群

① $\dfrac{n_1}{c}(l_1+\Delta l\cos\theta_1+l_2-\Delta l\cos\theta_2)$　② $\dfrac{1}{n_1c}(l_1+\Delta l\cos\theta_1+l_2-\Delta l\cos\theta_2)$

③ $\dfrac{n_1}{c}(l_1-\Delta l\cos\theta_1+l_2+\Delta l\cos\theta_2)$　④ $\dfrac{1}{n_1c}(l_1-\Delta l\cos\theta_1+l_2+\Delta l\cos\theta_2)$

⑤ $\dfrac{n_1}{c}(l_1+\Delta l\sin\theta_1+l_2-\Delta l\sin\theta_2)$　⑥ $\dfrac{1}{n_1c}(l_1+\Delta l\sin\theta_1+l_2-\Delta l\sin\theta_2)$

⑦ $\dfrac{n_1}{c}(l_1-\Delta l\sin\theta_1+l_2+\Delta l\sin\theta_2)$　⑧ $\dfrac{1}{n_1c}(l_1-\Delta l\sin\theta_1+l_2+\Delta l\sin\theta_2)$

問5　$t_{\mathrm{PA'Q}}$とt_{PAQ}の差，$t_{\mathrm{PA'Q}}-t_{\mathrm{PAQ}}$を$\Delta t$とおく。PAQが所要時間最小の経路である場合，$\Delta l$の変化に対して，$\Delta t\fallingdotseq 0$となる。この条件を満たすのは $\boxed{\ 29\ }$ のときである。

$\boxed{\ 29\ }$ の解答群

① $\theta_1=\theta_2$　② $\theta_1=\theta_2+\dfrac{\pi}{2}$　③ $\theta_1=\theta_2-\dfrac{\pi}{2}$

④ $\theta_1=\theta_2+\pi$　⑤ $\theta_1=\theta_2-\pi$

次に，図2のように，xy 平面内で，屈折率 n_1 の媒質中の点 P から出た光が点 A において屈折率 n_2 の媒質中に入射し，点 Q に到達した場合について屈折の法則を導く。ただし $n_1 < n_2$ とし，PA= l_1，AQ= l_2 とおく。また PA および AQ が y 軸となす角度をそれぞれ θ_1，θ_2 とする。

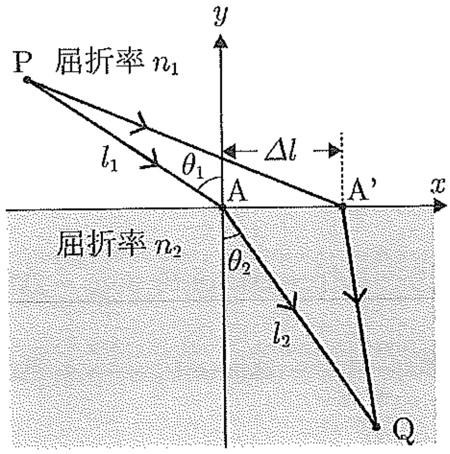


図2

問6　x 軸上において，点 A からわずかに Δl だけずれた点を A' とする。点 P から出た光が経路 PA'Q を通り点 Q に到達するまでの所要時間 $t_{\mathrm{PA'Q}}$ は，問い4と同様に考えると $\boxed{30}$ と近似できる。

$\boxed{30}$ の解答群

① $\dfrac{n_1}{c}(l_1+\Delta l\sin\theta_1)+\dfrac{n_2}{c}(l_2-\Delta l\sin\theta_2)$　② $\dfrac{1}{n_1c}(l_1+\Delta l\sin\theta_1)+\dfrac{1}{n_2c}(l_2-\Delta l\sin\theta_2)$

③ $\dfrac{n_1}{c}(l_1-\Delta l\sin\theta_1)+\dfrac{n_2}{c}(l_2+\Delta l\sin\theta_2)$　④ $\dfrac{1}{n_1c}(l_1-\Delta l\sin\theta_1)+\dfrac{1}{n_2c}(l_2+\Delta l\sin\theta_2)$

⑤ $\dfrac{n_1}{c}(l_1+\Delta l\cos\theta_1)+\dfrac{n_2}{c}(l_2-\Delta l\cos\theta_2)$　⑥ $\dfrac{1}{n_1c}(l_1+\Delta l\cos\theta_1)+\dfrac{1}{n_2c}(l_2-\Delta l\cos\theta_2)$

⑦ $\dfrac{n_1}{c}(l_1-\Delta l\cos\theta_1)+\dfrac{n_2}{c}(l_2+\Delta l\cos\theta_2)$　⑧ $\dfrac{1}{n_1c}(l_1-\Delta l\cos\theta_1)+\dfrac{1}{n_2c}(l_2+\Delta l\cos\theta_2)$

問7　点 P から出た光が経路 PAQ を通り点 Q に到達するまでの所要時間を t_{PAQ} とおく。PAQ が所要時間最小の経路である場合，Δl の変化に対して，$t_{\mathrm{PA'Q}}-t_{\mathrm{PAQ}}\fallingdotseq 0$ となる。これを満たすのは $\boxed{31}$ のときである。

$\boxed{31}$ の解答群

① $\dfrac{\cos\theta_1}{n_1}=-\dfrac{\cos\theta_2}{n_2}$　② $n_1\cos\theta_1=-n_2\cos\theta_2$　③ $\dfrac{\cos\theta_1}{n_1}=\dfrac{\cos\theta_2}{n_2}$

④ $n_1\cos\theta_1=n_2\cos\theta_2$　⑤ $\dfrac{\sin\theta_1}{n_1}=-\dfrac{\sin\theta_2}{n_2}$　⑥ $n_1\sin\theta_1=-n_2\sin\theta_2$

⑦ $\dfrac{\sin\theta_1}{n_1}=\dfrac{\sin\theta_2}{n_2}$　⑧ $n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2$

最後に，光が球面で屈折する場合の公式を導く。図3のように，光軸AOBに近い部分では，中心が点Cである半径Rの球面を境界とし，屈折率n_1の媒質中の点Aにある点光源から出た光が屈折率n_2の媒質中の点Bにおいて像を結ぶとする。ここで点Pは，光軸に十分に近い境界面上の点であり，AP$= a$，PB$= b$，点Pから光軸に下ろした垂線の足をHとして，PH$= h$とおく。また，$n_1 < n_2$とする。

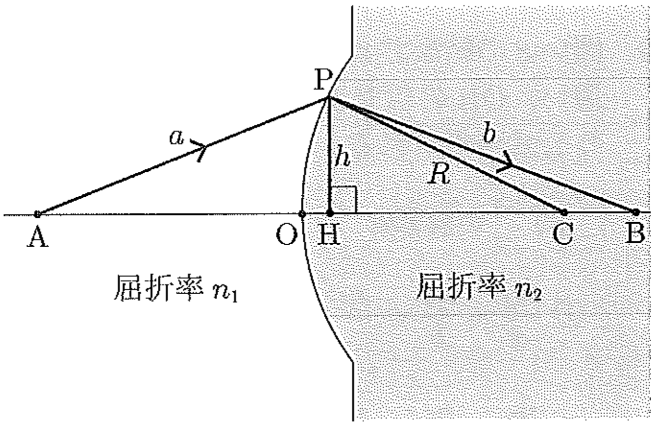


図3

このとき，点Aから点Bまでの所要時間が最小になる光の経路の一つは，AOBである。ここで，点Pを通る光の経路，APBも同じ所要時間になるためには，

$$n_1\mathrm{AP} + n_2\mathrm{PB} = n_1\mathrm{AO} + n_2\mathrm{OB} \tag{1}$$

が成り立つ必要がある。

問8　図3において，OC $= R$であること，および点Pが光軸に十分に近く，$h \ll a$，$h \ll b$，$h \ll R$であることを用いると，AP$-$AH $\fallingdotseq$ $\boxed{32}$，PB $-$ HB $\fallingdotseq$ $\boxed{33}$，OH $=$ OC $-$ HC $\fallingdotseq$ $\boxed{34}$ とそれぞれ近似できる。

$\boxed{32}$ ～ $\boxed{34}$ の解答群

① $\dfrac{h}{2}$　② $\dfrac{a}{2}$　③ $\dfrac{h^2}{a}$　④ $\dfrac{h^2}{2a}$　⑤ $\dfrac{b}{2}$

⑥ $\dfrac{h^2}{b}$　⑦ $\dfrac{h^2}{2b}$　⑧ $\dfrac{R}{2}$　⑨ $\dfrac{h^2}{R}$　⑩ $\dfrac{h^2}{2R}$

問 9　問い 8 の結果および，AO = AH − OH，OB = HB + OH という関係を (1) 式に用い，OH の項でまとめることにより，球面で屈折する光に対して $\boxed{35}$ という公式が得られる。

$\boxed{35}$ の解答群

① $\dfrac{n_2}{a} - \dfrac{n_1}{b} = \dfrac{n_1 - n_2}{R}$　② $\dfrac{n_1}{a} - \dfrac{n_2}{b} = \dfrac{n_1 - n_2}{R}$　③ $\dfrac{n_1}{a} + \dfrac{n_2}{b} = \dfrac{n_1 - n_2}{R}$

④ $\dfrac{n_2}{a} - \dfrac{n_1}{b} = \dfrac{n_1 + n_2}{R}$　⑤ $\dfrac{n_1}{a} - \dfrac{n_2}{b} = \dfrac{n_1 + n_2}{R}$　⑥ $\dfrac{n_1}{a} + \dfrac{n_2}{b} = \dfrac{n_1 + n_2}{R}$

⑦ $\dfrac{n_2}{a} - \dfrac{n_1}{b} = \dfrac{n_2 - n_1}{R}$　⑧ $\dfrac{n_1}{a} - \dfrac{n_2}{b} = \dfrac{n_2 - n_1}{R}$　⑨ $\dfrac{n_1}{a} + \dfrac{n_2}{b} = \dfrac{n_2 - n_1}{R}$

問 10　ヒトの眼球において，十分に遠いところにある点光源からの光が網膜上で像を結んでいる場合を考えると，図 3 において，$R = 5.5$〔mm〕，$n_1 = 1.0$，$n_2 = 4/3$ と近似することができる。このとき，光軸上での，眼球表面から網膜までの距離は $\boxed{36}\,.\,\boxed{37} \times 10^1$〔mm〕 と求められる（$\boxed{36}$，$\boxed{37}$ には数字 (0 ～ 9) で答えよ）。