2018年度　　S①

物　　理

注　意

1. 問題は全部で14ページである。
2. 解答用紙に氏名・受験番号を忘れずに記入すること。(ただし，マーク・シートにはあらかじめ受験番号がプリントされている。)
3. 解答はすべて解答用紙に記入すること。
4. 問題冊子の余白は計算に利用してよい。
5. 解答用紙は必ず提出のこと。この問題冊子は提出する必要はない。

マーク・シート記入上の注意

1. 解答用紙(その1)はマーク・シートになっている。HBの黒鉛筆またはシャープペンシルを用いて記入すること。
2. 解答用紙にあらかじめプリントされた受験番号を確認すること。
3. 解答する記号の ◯ を塗りつぶしなさい。○で囲んだり×をつけたりしてはいけない。

解答記入例(解答が 1 のとき)

1	● ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⓪

4. 一度記入したマークを消す場合は，消しゴムでよく消すこと。×をつけても消したことにならない。
5. 解答用紙をよごしたり，折り曲げたりしないこと。

1 以下の文章を読み，解答を**解答用紙(その２)**の該当する解答欄に記入せよ。

図１—１および図１—２のように船の十分長い水平な甲板の上に質量 m の箱を置く。船および箱は図で左右の方向にのみ動けるとし，右向きを x 軸，速度，加速度および力の正の向きとする。船の外で静止している人から見た箱の位置を x，速度を v，加速度を a とする。箱には空気による抵抗力 $-m\gamma v$ が働く。ここで γ は抵抗力の大きさを表す正の定数である。以下では箱は常に甲板の上にある。また箱が甲板から受ける摩擦力を F_f，箱と甲板の間の静止摩擦係数を μ，動摩擦係数を μ'，重力加速度の大きさを g とする。

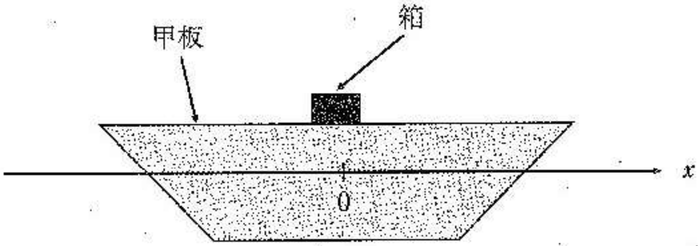


図１—１

問１

(1) 図１—１のように最初，箱は単に甲板の上に載っており何もつながっていない。箱が甲板に対して静止しているときにも動いているときにも成り立つ，船の外の静止している人から見た箱の運動方程式を，x，v，a，m，g，γ，F_f，またはその一部を用いて表しなさい。

(2) 最初，船は静止していたが，時刻 $t=0$ から船の外で静止している人から見て一定の加速度 a_0（$0 < a_0 < g\mu$）で動きだした。その後しばらくは箱は甲板に対して静止していたが，時刻 t_0 で滑り出した。滑り出す直前の F_f を m，g，γ，μ，μ'，またはその一部を用いて表しなさい。

(3) t_0 を a_0，x，v，m，g，γ，μ，μ'，またはその一部を用いて表しなさい。

(4) 船の外の静止している人から見た，滑り出した後の箱の運動方程式を a_0，x，v，a，m，g，γ，μ，μ'，またはその一部を用いて記しなさい。

(5) 滑り出した直後の a を a_1 とする。a_1 を a_0，g，μ，μ'，またはその一部を用いて表しなさい。

(6) 滑り出した後，時間が経過するとともに箱の速度 v は一定の速度 v_1 に近づいていった。v_1 として最も適当なものを以下の(ア)〜(オ)の選択肢から選び，記号を解答欄に記入しなさい。

(ア) $a_1 t_0$　(イ) $\mu a_1 t_0$　(ウ) $\mu' a_1 t_0$　(エ) $\dfrac{g\mu}{\gamma}$　(オ) $\dfrac{g\mu'}{\gamma}$

(7) v の時間変化のグラフを v_1 への近づき方もわかるように**解答用紙(その2)**の図1—3に描きなさい。ただし $t_0 > \dfrac{g\mu'}{\gamma a_0}$ とする。

問2

次に，図1—2のように箱にばねをつなぎ，その他端を甲板に固定した。ばねのばね定数を k とし，自然長からの x 方向の変位を d とする。

(8) 箱が甲板に対して静止しているときにも動いているときにも成り立つ，船の外の静止している人から見たこの箱の運動方程式を，x，v，a，m，g，γ，F_f，k，d，またはその一部を用いて表しなさい。

(9) 最初，船は静止していて，箱も甲板に対して静止していた。このとき $d = d_0(d_0 > 0)$ であった。船は時刻 $t = 0$ から船の外で静止している人から見て一定の加速度 $a_0(a_0 > 0)$ で動きだした。その後，時刻 t_0 で箱は甲板上を滑り出した。t_0 を a_0，v，m，g，γ，μ，μ'，k，d_0，またはその一部を用いて表しなさい。

(10) 滑り出した直後の $a = a_1$ を a_0，g，μ，μ'，またはその一部を用いて記しなさい。

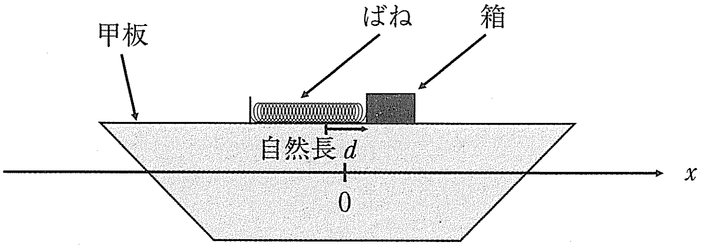


図1—2

(11) 滑り出した後，船の速度が v_0 に達したときに船は加速を止め v_0 で等速度運動を始めた。一方，箱は滑り出した後，甲板に対して有限の速さで滑り続けた。このときの運動方程式を v，a，m，g，γ，μ，μ'，k，d，v_0，またはその一部を用いて表しなさい。

(12) その後，時間の経過とともに d は一定の伸び d_1 に近づいていった。d_1 として最も適当なものを以下の(ア)〜(ク)の選択肢から選び，記号を解答欄に記入しなさい。

(ア) $\dfrac{m(g\mu+\gamma v_0)}{k}$　(イ) $\dfrac{m(g\mu-\gamma v_0)}{k}$　(ウ) $\dfrac{-m(g\mu+\gamma v_0)}{k}$

(エ) $\dfrac{-m(g\mu-\gamma v_0)}{k}$　(オ) $\dfrac{m(g\mu'+\gamma v_0)}{k}$　(カ) $\dfrac{m(g\mu'-\gamma v_0)}{k}$

(キ) $\dfrac{-m(g\mu'+\gamma v_0)}{k}$　(ク) $\dfrac{-m(g\mu'-\gamma v_0)}{k}$

2 以下の文章の空欄(1)〜(13)にあてはまるもっとも適切な式をそれぞれの解答群から選び，**解答用紙(その１)**に記された記号をマークせよ。また，問１および問２については，**解答用紙(その３)**の所定の欄に解答せよ。ただし，以下に示す電気回路はすべて真空中に置かれているものとし，真空の誘電率を ε_0 とする。

(A) 図２—１に示すように，極板の面積が S，間隔が d の平行板コンデンサーと電源およびスイッチをつないだ電気回路を考える。平行板コンデンサーの極板間には，面積が S，厚さが $\ell\,(<d)$，電気抵抗率が ρ の金属板が挿入されており，スイッチを閉じる前，コンデンサーの極板や金属板に電荷はなかった。

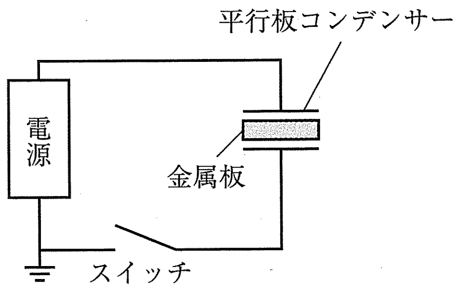


図２—１

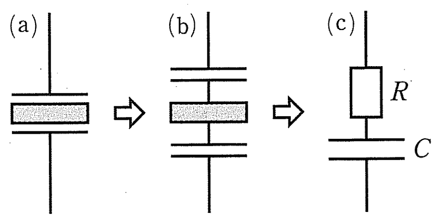


図２—２

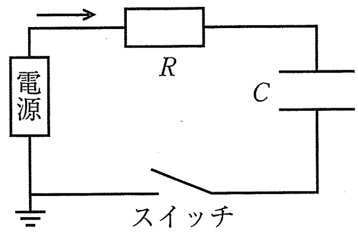


図２—３

図２—２に示すように，有限の電気抵抗を持つ金属板が挿入された平行板コンデンサーは，２つの平行板コンデンサーの間に抵抗器が挿入された場合と同じと見なせるので，２つのコンデンサーを直列接続したときの合成容量に等しい１つのコンデンサーと抵抗器を図２—２(c)のように接続した場合と等価である。したがって，図２—１の電気回路は，電気容量が $C =$ $\boxed{(1)}$ のコンデン

サーと電気抵抗が$R=$ $\boxed{\quad(2)\quad}$ の抵抗を図2—3のように接続した電気回路と同じ働きをする。この場合，電源から一定電圧$V_0(>0)$を加えてスイッチを閉じ，十分に時間が経過すると，コンデンサーに $\boxed{\quad(3)\quad}$ の電荷が充電され， $\boxed{\quad(4)\quad}$ の静電エネルギーが蓄えられる。

図2—3に示す等価回路を用いてコンデンサーの充電が完了するまでの様子を詳しく考えてみよう。スイッチを閉じる時刻を$t=0$とすると，$t=0$の直後，コンデンサーに電荷はないので，大きさ$I_0=$ $\boxed{\quad(5)\quad}$ の電流が抵抗器を流れる。その後，コンデンサーに蓄えられる電荷の増加と共に極板間の電位差も増加するので，抵抗器を流れる電流の大きさは図2—4(a)のような時間変化を示す。この変化を次のように考えてみよう。まず，$t=\Delta t$で再びスイッチを一瞬だけ開いたとしよう。電流の変化が無視できるほどΔtが非常に短いと仮定すると，スイッチを閉じていた$t=0$と$t=\Delta t$の間に抵抗器を通過した電荷は $\boxed{\quad(6)\quad}$ となる。その後も微小時間Δtだけスイッチを閉じて一瞬だけスイッチを開く操作を十分な回数繰り返すと，スイッチを閉じている間に抵抗器を通過する電荷の総量は，図2—4(b)に示す長方形の面積の総和と一致する。この電荷が全てコンデンサーに蓄えられるので，Δtをゼロに近づけると，コンデンサーに充電される電荷量 $\boxed{\quad(3)\quad}$ が，図2—4(a)の曲線と横軸と縦軸に囲まれた部分の面積に等しくなる。したがって，この面積に等しい面積を持つ長方形を図2—4(c)のように考えると，大きさI_0の電流を流すのに必要な時間は$t_c=$ $\boxed{\quad(7)\quad}$ であり，充電が完了するまでの時間の目安となる。さらに，蓄えられる電荷は全て電源から供給されるので，電源がする仕事は $\boxed{\quad(8)\quad}$ であり，抵抗器で消費されるジュール熱は $\boxed{\quad(9)\quad}$ となる。

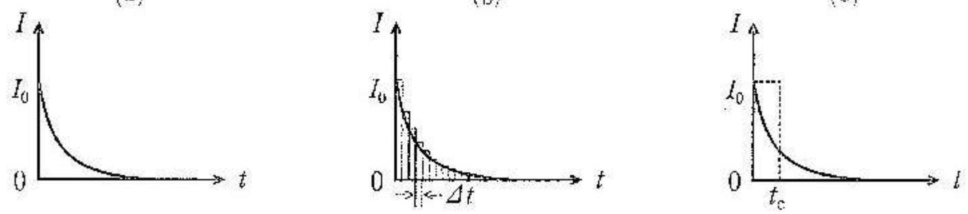


図2—4

(1)の解答群

① $\dfrac{\varepsilon_0 S}{d}$　② $\dfrac{\varepsilon_0 S}{\ell}$　③ $\dfrac{\varepsilon_0 d}{S}$

④ $\dfrac{\varepsilon_0 \ell}{S}$　⑤ $\dfrac{\varepsilon_0 (d - \ell)}{S}$　⑥ $\dfrac{\varepsilon_0 (d + \ell)}{S}$

⑦ $\dfrac{S}{\varepsilon_0 (d - \ell)}$　⑧ $\dfrac{S}{\varepsilon_0 (d + \ell)}$　⑨ $\dfrac{\varepsilon_0 S}{d - \ell}$

⓪ $\dfrac{\varepsilon_0 S}{d + \ell}$

(2)の解答群

① $\dfrac{\rho S}{\ell}$　② $\dfrac{S}{\rho \ell}$　③ $\rho S \ell$　④ $\dfrac{\rho \ell}{S}$　⑤ $\dfrac{\ell}{\rho S}$

⑥ $\dfrac{1}{\rho S \ell}$　⑦ $\dfrac{\rho}{S \ell}$　⑧ ρS　⑨ $\rho \ell$　⓪ ρ

(3), (5), (7)の解答群

① RV_0　② $\dfrac{V_0}{R}$　③ $\dfrac{R}{V_0}$　④ $\dfrac{C}{V_0}$　⑤ $\dfrac{V_0}{C}$

⑥ CV_0　⑦ $\dfrac{V_0}{CR}$　⑧ CR　⑨ $\dfrac{1}{CR}$　⓪ $\dfrac{R}{C}$

(4), (8), (9)の解答群

① $C^2 V_0$　② CV_0^2　③ $2\,CV_0^2$　④ $\dfrac{V_0^2}{2\,C}$　⑤ $\dfrac{V_0^2}{C}$

⑥ $\dfrac{3\,V_0^2}{2\,C}$　⑦ $\dfrac{C^2 V_0}{2}$　⑧ $\dfrac{CV_0^2}{2}$　⑨ $\dfrac{CV_0^2}{3}$　⓪ $\dfrac{CV_0^2}{4}$

(6)の解答群

① $CI_0 \Delta t$　② $\dfrac{CI_0}{\Delta t}$　③ $\dfrac{I_0}{\Delta t}$　④ $\dfrac{C}{\Delta t}$　⑤ $V_0 \Delta t$

⑥ $CV_0 \Delta t$　⑦ CV_0　⑧ $\dfrac{CV_0}{\Delta t}$　⑨ $C \Delta t$　⓪ $I_0 \Delta t$

問1　図2—1において，厚さ $\ell = \dfrac{d}{3}$ の金属板が図2—5で示される位置に挿入された場合を考える。回路を流れる電流の大きさ I が $\dfrac{I_0}{2}$ となった時のコンデンサー内の電位と電場の大きさを，図2—5に示す位置 x の関数として，各々**解答用紙(その3)**の図2—8および図2—9に示せ。

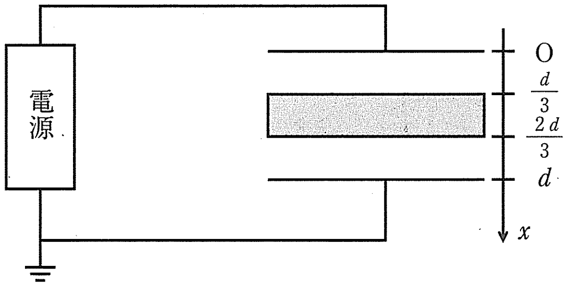


図2—5

(B) 次に，図2—6に示すような金属板を含まない電気容量 C_0 の平行板コンデンサーに電源から交流電圧 $V_0 \sin \omega t$ を加えた場合を考える。初め，コンデンサーに電荷はなく，スイッチを閉じる時刻を $t=0$ とすると，交流電圧によってコンデンサーは充電と放電を周期的に繰り返すので，電源とコンデンサーの間に周期的な電流が流れる。図2—6の場合，コンデンサーの電圧は電源電圧に一致するので，コンデンサーに蓄えられる電荷の時間変化は，$Q(t)=\boxed{(10)}\times \sin \omega t$ であり，時刻 t と $t+\varDelta t$ の間に生じる電荷の変化は，$\varDelta Q=\boxed{(10)}\times\{\sin \omega(t+\varDelta t)-\sin \omega t\}$ となる。この表式は三角関数の公式と $\varDelta t$ が非常に小さい時の近似式を使って，

$\varDelta Q=\boxed{(10)}\times \cos \omega t \times \omega \varDelta t$ と整理することができる。単位時間に導線を通過する電荷量が電流の大きさを決め，電荷の移動方向が電流の符号を決めるので，電源とコンデンサーの間を流れる電流は，$I(t)=\boxed{(11)}$ となる。これより，コンデンサーに蓄積される電荷量が最大になる瞬間の電流の大きさは $\boxed{(12)}$ であり，電荷量がゼロになる瞬間の電流の大きさは $\boxed{(13)}$ となる。

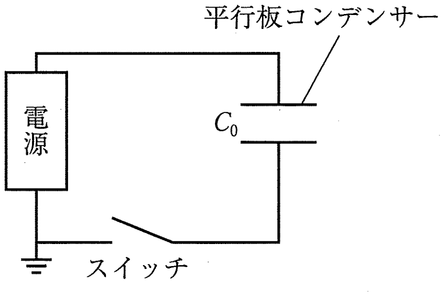


図2—6

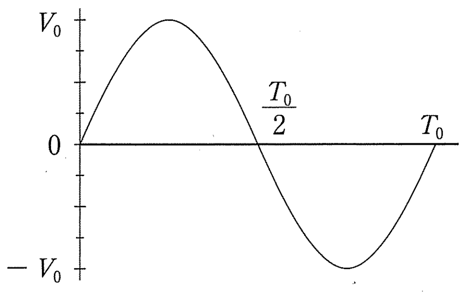


図2—7

(10)，(11)，(12)，(13)の解答群

① C_0V_0　　② $C_0V_0\sin\omega t$　　③ $C_0V_0\cos\omega t$

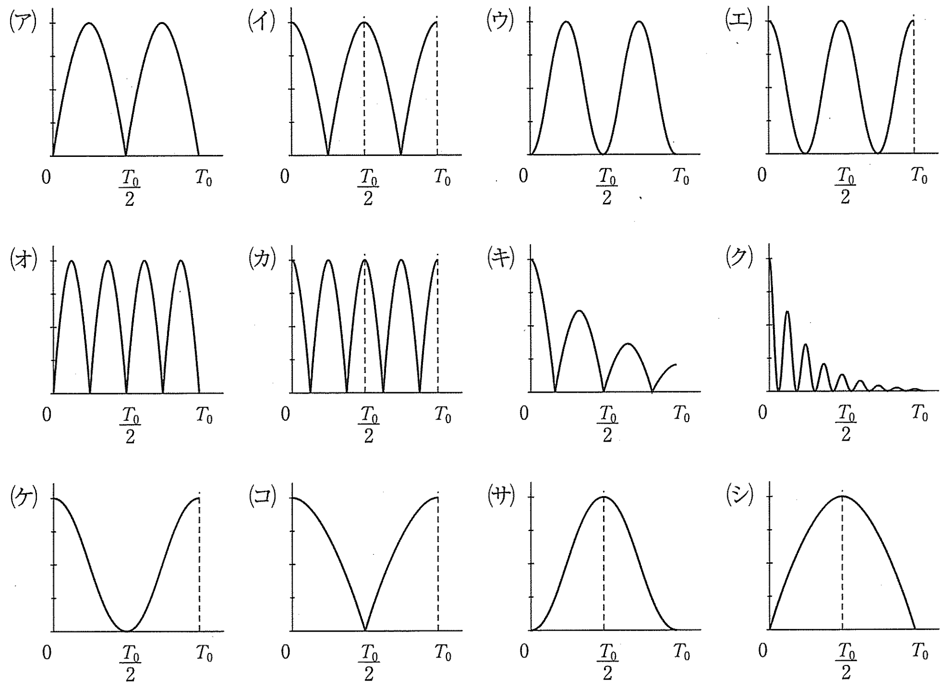
④ $\dfrac{V_0}{C_0}$　　⑤ $\dfrac{V_0\sin\omega t}{C_0}$　　⑥ $\dfrac{V_0\cos\omega t}{C_0}$

⑦ ωC_0V_0　　⑧ $\omega C_0V_0\sin\omega t$　　⑨ $\omega C_0V_0\cos\omega t$

⓪ 0

問2　ここで考えたコンデンサーに蓄積される電荷と電流の関係は，(A)で考えた，金属板が挿入された平行板コンデンサーの場合でも同様に成り立つ。そこで，図2―3に示す静電容量 C のコンデンサーの極板間の電位差が，図2―7のような時間変化を示す場合，電気抵抗 R の抵抗器を流れる電流の大きさと消費電力の時間変化を示すグラフとしてもっとも適切なものを各々解答群から選び，**解答用紙(その3)**の解答欄に記号で答えよ。

問2の解答群



3 大きな水槽における波の運動を考える。図3—1は水を満たした水槽の上から水面波が伝わる様子を見たものである。点Oに波源があり，ここから円形の波が一定の周期で発生しており，その波長は λ で速さは一定である。波は正弦波と見なせ，水面の高さは波がないときの高さを0として $\pm h$ の間で変化し，波の減衰は無視できるとする。n を正の整数とする。空欄(ア)〜(ケ)について**解答用紙(その3)**に適切な式または語句を記せ。空欄(14)についてはあてはまる最も適切なものを解答群より選び，**解答用紙(その1)**の該当する記号をマークせよ。

ある波が波源から出て距離 r の位置にある点Pに到達するまでの時間を調べたところ t_1 であった。この波の振動数 f は，λ，r，t_1 を用いて $\boxed{\quad (ア) \quad}$ と表せる。また，点Pにおいて波の位相が波源での位相と同じであった。このときの λ と r の関係は，$n\lambda = \boxed{\quad (イ) \quad}$ と書ける。

次に，水槽を上から見た図3—2のように点O，点Pを結ぶ直線に平行で水面に垂直で十分に長い平坦な壁を置いた。壁面に到達した波は自由端反射する。点O，点Pと壁の距離を ℓ とするとき，波源から壁面のA点で反射されて点Pに着くまでの波の経路の長さは $\boxed{\quad (ウ) \quad}$ で，点Pにおいて波源と位相が同じになるときの条件は，$n\lambda = \boxed{\quad (エ) \quad}$ と書ける。さらに，点Pにおいて直接波源から伝わってきた波と壁で反射されて到達した波が強め合う条件は，$n\lambda = \boxed{\quad (オ) \quad}$ が成り立つときである。

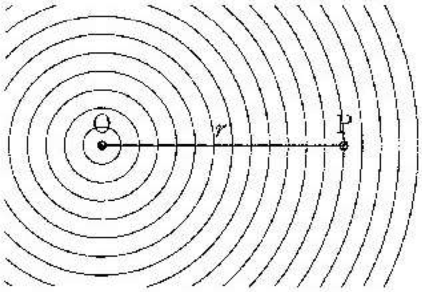


図3—1

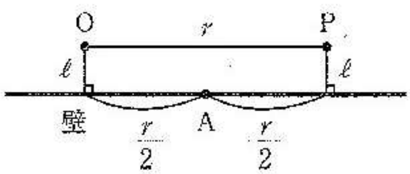


図3—2

壁を点O，点Pを結ぶ直線に対して平行に保ちながら少しずつ遠ざけてから止めて，十分に時間が経過した後点Pにおける波の振幅を調べることを繰り返したところ，図3—3に示したような結果が得られた。まず，$\ell=\ell_1$のときに振幅が極大になり，さらにわずかずつ遠ざけながら調べると，$\ell=\ell_2$のときに再び波の振幅が極大になった。壁が距離ℓ_1にあったときと，ℓ_2にあったときの，波源から壁で反射され点Pに到達する波の経路の長さの差は [(カ)] で，波源から点Pに到達するまでの時間の差は [(キ)] と表せる。

次に，壁を図3—4のように点Pを通り水面とOPに垂直になるように固定した場合を考える。十分に時間が経過した後，水面の様子を見たところ，OPの間に水面の高さが変わらない点が現れ，それらの点の間では振動数fで水面が上下していた。これはOP間に [(ク)] が生じていることを意味する。OPの間の水面の高さが変わらない点の数をa個とすると，aはnを用いて [(ケ)] と表せる。また，OPの中点での水面の高さは [(14)] 。

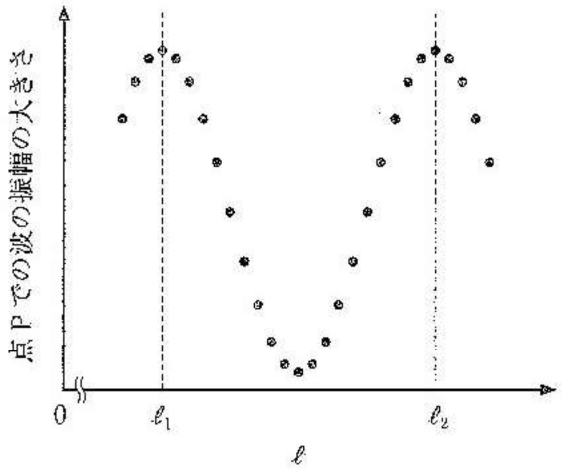


図3—3

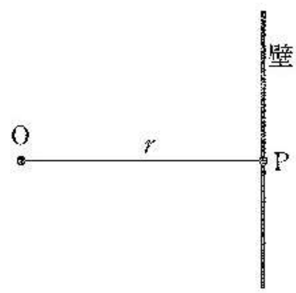


図3—4

(14)の解答群

① 一定で変化しない

② 時間とともに $-0.5h$ から $+0.5h$ の範囲で変化する

③ 時間とともに0から $+h$ の範囲で変化する

④ 時間とともに0から $-h$ の範囲で変化する

⑤ 時間とともに $-h$ から $+h$ の範囲で変化する

⑥ 時間とともに $-2h$ から $+h$ の範囲で変化する

⑦ 時間とともに $-h$ から $+2h$ の範囲で変化する

⑧ 時間とともに $-2h$ から $+2h$ の範囲で変化する

⑨ 時間とともに $-2h$ から $+4h$ の範囲で変化する

⓪ 時間とともに $-4h$ から $+4h$ の範囲で変化する