平成30年度　〔試験時間　80分〕

F　3　物　理

この冊子は，物理の問題で1ページより24ページまであります。

〔注　意〕

(1) 試験開始の指示があるまで，この冊子を開いてはいけません。

(2) 監督者から受験番号等記入の指示があったら，解答用マークシートに受験番号と氏名を記入し，さらに受験番号をマークしてください。

(3) 解答は，所定の解答用マークシートにマークしたものだけが採点されます。

(4) 解答用マークシートについて

① 解答用マークシートは，絶対に折り曲げてはいけません。

② マークには黒鉛筆(ＨＢまたはＢ)を使用してください。
指定の黒鉛筆以外でマークした場合，採点できないことがあります。

③ 誤ってマークした場合は，消しゴムで丁寧に消し，消しくずを完全に取り除いたうえ，新たにマークしてください。

④ 解答欄のマークは，横1行について1箇所に限ります。
2箇所以上マークすると採点されません。
あいまいなマークは無効となるので，はっきりマークしてください。

⑤ 解答用マークシートに記載されている解答上の注意事項を，必ず読んでから解答してください。

(5) 試験開始の指示があったら，初めに問題冊子のページ数を確認してください。
ページの落丁・乱丁，印刷不鮮明等に気づいた場合は，手を挙げて監督者に知らせてください。

(6) 問題冊子は，試験終了後，持ち帰ってください。

$\boxed{1}$ 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。(同じ番号を何回用いてもよい。) (25 点)

テーブルクロス引き，および，だるま落としの物理について考える。**図 1－1** のようになめらかな水平面上にある，長さ L〔m〕，質量 M〔kg〕の台の上の中央 $\dfrac{L}{2}$〔m〕の位置に，大きさを無視できる質量 m〔kg〕の小物体が置かれている。小物体と台の間には静止摩擦係数 μ_s と動摩擦係数 μ_d で摩擦力がはたらく。台と水平面の間に摩擦はない。重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とする。物体の運動は水平面に平行な運動に限定されるとし，**図 1－1** で右向きを正の向きとする。

右のページは白紙です。

(1) 台をテーブルの上に載っているテーブルクロス，小物体をその上の食器と見立てるとテーブルクロス引きになる。テーブルクロス引きの成功を，台を継続して引っ張り，小物体が最初に台が静止していた範囲の水平面に落ちることと定義する。

台に水平方向に一定の右向きの力 f〔N〕を加えて，テーブルクロス引きが成功する条件を求めよう。f の大きさが小さく，小物体と台の間の摩擦力の大きさが $\boxed{\text{(ア)}}$〔N〕を超えないとき，小物体と台は一緒に動く。f の大きさがある臨界値 $f_0 = \boxed{\text{(イ)}}$〔N〕を超えると，摩擦力の大きさが $\boxed{\text{(ア)}}$〔N〕を超えて，小物体が台に対して動き始める。以降，これを動摩擦条件と呼ぶ。動摩擦条件を満たす力 f を加えているとき，水平面に対する小物体の加速度を a〔m/s^2〕，水平面に対する台の加速度を A〔m/s^2〕とすると，$a = \boxed{\text{(ウ)}}$，$A = \boxed{\text{(エ)}}$ である。

時間 $t_0 = \sqrt{\dfrac{\boxed{\text{(オ)}}}{f - \boxed{\text{(カ)}}}}$〔s〕の間，動摩擦条件を満たす一定の力 f を継続して加えると，小物体が台の端に到達することがわかる。したがって，力を加える時間 t が t_0 を超えると，小物体は台から落ちる。このとき，小物体が落ちる場所が，台が最初に静止していた範囲である(テーブルクロス引きが成功する)ためには，$f > \boxed{\text{(キ)}}$ でなくてはならない。

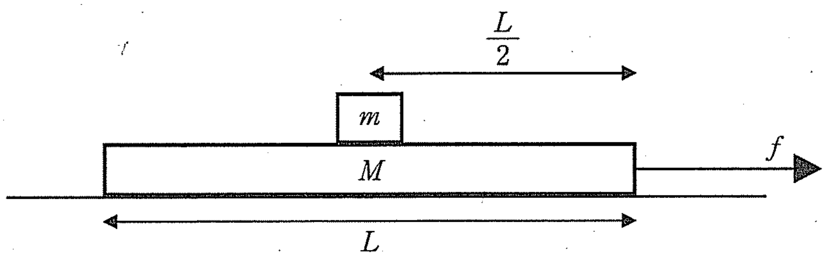


図 1－1

右のページは白紙です。

(2)　台と小物体をそれぞれだるまの胴体と頭部と見立てるとだるま落としになる。だるま落としの成功を，台に水平な力を短い時間だけ加えて，小物体を台から落下させることと定義する。

水平方向右向きの動摩擦条件を満たす一定の力 f を t_0 より短い時間 t'〔s〕だけ加えて，小物体が台から落ちる(だるま落としが成功する)条件を求めよう。時間 t' の間に小物体と台はそれぞれ加速度 a，A で運動するが，力を止めたあとも摩擦力がはたらくため，小物体は加速度 a，台は加速度 $B(<0)$〔m/s^2〕で運動する。$B=$ $\boxed{\text{(ク)}}$ である。力を止めてから，小物体と台の速度が等しくなり摩擦がなくなるまでの時間を T〔s〕とすると(図1－2)，T は加速度 a，A，B を使って $T=$ $\boxed{\text{(ケ)}}$ $\times t'$ と表せる。このときまでに小物体が台の端に到達する(台から落ちる)条件から，力を加えている時間 t' は $t_0\sqrt{\dfrac{\boxed{\text{(コ)}}}{\boxed{\text{(サ)}}}}$ $(<t_0)$ よりも大きくなくてはならない。

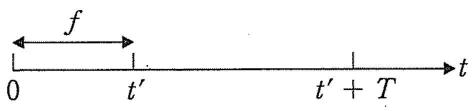


図1－2

右のページは白紙です。

(ア), (イ), (カ), (キ), (コ)の解答群

00 $\frac{1}{2}\mu_s Mg$	01 $\frac{1}{2}\mu_s mg$	02 $\frac{1}{2}\mu_s (M+m)g$
03 $\frac{1}{2}\mu_s \lvert M-m \rvert g$	04 $\mu_s Mg$	05 $\mu_s mg$
06 $\mu_s (M+m)g$	07 $\mu_s \lvert M-m \rvert g$	08 $\mu_s (2M+m)g$
09 $\mu_s (M+2m)g$	10 $\mu_s (2M+2m)g$	11 $\frac{1}{2}\mu_d Mg$
12 $\frac{1}{2}\mu_d mg$	13 $\frac{1}{2}\mu_d (M+m)g$	14 $\frac{1}{2}\mu_d \lvert M-m \rvert g$
15 $\mu_d Mg$	16 $\mu_d mg$	17 $\mu_d (M+m)g$
18 $\mu_d \lvert M-m \rvert g$	19 $\mu_d (2M+m)g$	20 $\mu_d (M+2m)g$
21 $\mu_d (2M+2m)g$		

(ウ), (ク)の解答群

00 $\mu_s g$	01 $\mu_d g$	02 $(\mu_s+\mu_d)g$
03 $(\mu_s-\mu_d)g$	04 $\mu_s \frac{m}{M} g$	05 $\mu_d \frac{m}{M} g$
06 $(\mu_s+\mu_d)\frac{m}{M} g$	07 $(\mu_s-\mu_d)\frac{m}{M} g$	08 $-\mu_s g$
09 $-\mu_d g$	10 $-(\mu_s+\mu_d)g$	11 $-(\mu_s-\mu_d)g$
12 $-\mu_s \frac{m}{M} g$	13 $-\mu_d \frac{m}{M} g$	14 $-(\mu_s+\mu_d)\frac{m}{M} g$
15 $-(\mu_s-\mu_d)\frac{m}{M} g$		

(エ)の解答群

00 $\frac{f-\mu_d Mg}{m}$	01 $\frac{f-\mu_s Mg}{m}$	02 $\frac{f-\mu_d mg}{M}$
03 $\frac{f-\mu_s mg}{M}$	04 $\frac{f-\mu_d (M+m)g}{m}$	05 $\frac{f-\mu_s (M+m)g}{m}$
06 $\frac{f-\mu_d (M+m)g}{M}$	07 $\frac{f-\mu_s (M+m)g}{M}$	08 $\frac{f-\mu_d Mg}{M+m}$
09 $\frac{f-\mu_s Mg}{M+m}$	10 $\frac{f-\mu_d mg}{M+m}$	11 $\frac{f-\mu_s mg}{M+m}$

左のページは白紙です。

(オ)の解答群

00 M	01 m	02 $M+m$	03 $\lvert M-m\rvert$
04 ML	05 mL	06 $(M+m)L$	07 $\lvert M-m\rvert L$
08 ML^2	09 mL^2	10 $(M+m)L^2$	11 $\lvert M-m\rvert L^2$

(ケ)の解答群

0 $\dfrac{A-B}{a-B}$	1 $\dfrac{a-B}{A-B}$	2 $\dfrac{A-a}{A-B}$
3 $\dfrac{A-B}{A-a}$	4 $\dfrac{A-a}{a-B}$	5 $\dfrac{a-B}{A-a}$

(サ)の解答群

0 f	1 $f-\mu_{\mathrm{d}}Mg$	2 $f+\mu_{\mathrm{d}}Mg$
3 $f-\mu_{\mathrm{d}}mg$	4 $f+\mu_{\mathrm{d}}mg$	5 $f-\mu_{\mathrm{d}}(M+m)g$
6 $f+\mu_{\mathrm{d}}(M+m)g$	7 $f-\mu_{\mathrm{d}}\lvert M-m\rvert g$	8 $f+\mu_{\mathrm{d}}\lvert M-m\rvert g$

左のページは白紙です。次の2ページは計算欄として使用してください。

2 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。(同じ番号を何回用いてもよい。答が数値となる場合は解答群の最も近い数値を選び，分数は約分してできるだけ小さい整数を使って答えること。)　(25点)

1モルの単原子分子理想気体を状態1から4までの4つの状態間で1→2→3→4→1→…と繰り返し変化させた。状態は常にゆっくり変化させるとする。このサイクルを熱機関とみなしたとき，高温熱源から吸収した熱量を仕事に変換する熱効率について考察しよう。状態 $n(=1,2,3,4)$ の温度，圧力，体積をそれぞれ T_n〔K〕，p_n〔Pa〕，V_n〔m^3〕とし，断熱過程では比熱比を γ として pV^γ が一定という条件が成り立つ。ここで γ は定圧モル比熱の定積モル比熱に対する比で，$\gamma=\dfrac{5}{3}$ である。気体定数を R〔J/(mol·K)〕とする。

(1)　**図2−1**は定圧，定積過程よりなるサイクルの圧力−体積($p-V$)図である。1→2の過程で，気体が外部にする仕事は $\boxed{(ア)}$〔J〕で，気体が受け取る熱量は $\boxed{(イ)}$〔J〕である。$V_1=V$，$V_2=2V$，$p_3=p$，$p_2=2p$ のとき，$T_1=2T$ とすると $T_2=\boxed{(ウ)}\,T$，$T_3=\boxed{(エ)}\,T$，$T_4=\boxed{(オ)}\,T$，熱効率は $e_1=\dfrac{\boxed{(カ)}}{\boxed{(キ)}}$ である。

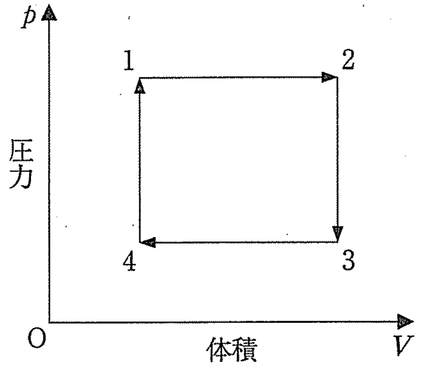


図2−1

右のページは白紙です。

(2) 図 2−2 は断熱，定積過程よりなるサイクルである。1 → 2，3 → 4 は断熱過程である。1 → 2 の過程で，気体が外部にする仕事は $\boxed{\text{(ク)}}$ 〔J〕で，気体が受け取る熱量は $\boxed{\text{(ケ)}}$ 〔J〕である。このサイクルの熱効率 e は T_1，T_2，T_3，T_4 を使って $e = \boxed{\text{(コ)}}$ と表せる。ここで，pV^{γ} が一定，理想気体の状態方程式，$V_1 = V_4$，$V_2 = V_3$ であることを使うと，T_1，T_2，T_3，T_4 の間に $\boxed{\text{(サ)}}$ の関係があることがわかる。したがって，V_1 と V_2 によって $e = 1 - \left(\dfrac{V_2}{V_1}\right)^X$ の形式で表すことができ，X は $\boxed{\text{(シ)}}$ となる。$V_1 = V$，$V_2 = 8V$ のときの e を e_2 とすると，$e_2 = \dfrac{\boxed{\text{(ス)}}}{\boxed{\text{(セ)}}}$ である。

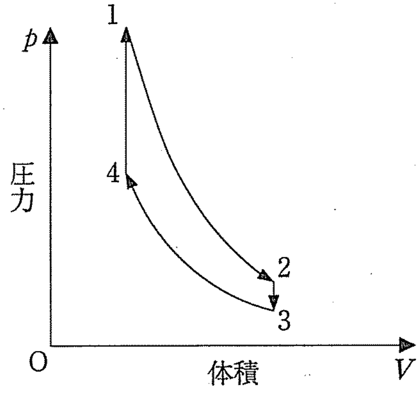


図 2−2

右のページは白紙です。

(3) **図 2－3** は断熱，定圧過程よりなるサイクルである。$1 \to 2$，$3 \to 4$ は断熱過程である。このサイクルの熱効率 e は，T_1，T_2，T_3，T_4 を使って $e =$ $\boxed{\text{(ソ)}}$ と表せる。ここで，pV^{γ} が一定，理想気体の状態方程式，$p_1 = p_4$，$p_2 = p_3$ であることを使うと，T_1，T_2，T_3，T_4 の間に $\boxed{\text{(タ)}}$ の関係があることがわかる。したがって，p_1 と p_2 によって $e = 1 - \left(\dfrac{p_2}{p_1}\right)^{Y}$ の形式で表すことができ，Y は $\boxed{\text{(チ)}}$ となる。

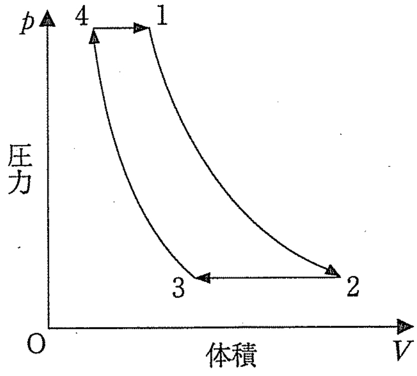


図 2－3

右のページは白紙です。

(ア)，(イ)，(ク)，(ケ)の解答群

0	0	1	$R(T_2-T_1)$	2	$\frac{1}{2}R(T_2-T_1)$
3	$\frac{3}{2}R(T_2-T_1)$	4	$\frac{5}{2}R(T_2-T_1)$	5	$R(T_1-T_2)$
6	$\frac{1}{2}R(T_1-T_2)$	7	$\frac{3}{2}R(T_1-T_2)$	8	$\frac{5}{2}R(T_1-T_2)$

(ウ)，(エ)，(オ)，(カ)，(キ)，(ス)，(セ)の解答群

00	0	01	1	02	2	03	3
04	4	05	5	06	6	07	7
08	8	09	9	10	10	11	11
12	12	13	13	14	14	15	15

左のページは白紙です。

(コ), (ソ)の解答群

00 $\dfrac{T_1 - T_2 + T_3 - T_4}{T_1 - T_2}$

01 $\dfrac{T_1 - T_2 + T_4 - T_3}{T_1 - T_2}$

02 $\dfrac{T_1 - T_3 + T_2 - T_4}{T_1 - T_3}$

03 $\dfrac{T_1 - T_3 + T_4 - T_2}{T_1 - T_3}$

04 $\dfrac{T_1 - T_4 + T_2 - T_3}{T_1 - T_4}$

05 $\dfrac{T_1 - T_4 + T_3 - T_2}{T_1 - T_4}$

06 $\dfrac{T_2 - T_3 + T_1 - T_4}{T_2 - T_3}$

07 $\dfrac{T_2 - T_3 + T_4 - T_1}{T_2 - T_3}$

08 $\dfrac{T_2 - T_4 + T_1 - T_3}{T_2 - T_4}$

09 $\dfrac{T_2 - T_4 + T_3 - T_1}{T_2 - T_4}$

10 $\dfrac{T_3 - T_4 + T_1 - T_2}{T_3 - T_4}$

11 $\dfrac{T_3 - T_4 + T_2 - T_1}{T_3 - T_4}$

(サ), (タ)の解答群

0 $T_1T_2 = T_3T_4$　　1 $T_1T_3 = T_2T_4$　　2 $T_1T_4 = T_2T_3$

(シ), (チ)の解答群

00 γ　　01 $\gamma + 1$　　02 $\gamma - 1$

03 $-\gamma$　　04 $-(\gamma + 1)$　　05 $-(\gamma - 1)$

06 $\dfrac{1}{\gamma}$　　07 $\dfrac{1}{\gamma + 1}$　　08 $\dfrac{1}{\gamma - 1}$

09 $-\dfrac{1}{\gamma}$　　10 $-\dfrac{1}{\gamma + 1}$　　11 $-\dfrac{1}{\gamma - 1}$

12 $\dfrac{\gamma + 1}{\gamma}$　　13 $\dfrac{\gamma}{\gamma + 1}$　　14 $\dfrac{\gamma - 1}{\gamma}$

15 $\dfrac{\gamma}{\gamma - 1}$　　16 $-\dfrac{\gamma + 1}{\gamma}$　　17 $-\dfrac{\gamma}{\gamma + 1}$

18 $-\dfrac{\gamma - 1}{\gamma}$　　19 $-\dfrac{\gamma}{\gamma - 1}$

左のページは白紙です。次の2ページは計算欄として使用してください。

3 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。(同じ番号を何回用いてもよい。)　　(25 点)

以下ではクーロンの法則の比例定数を k〔$\mathrm{N \cdot m^2/C^2}$〕とする。必要であれば，x が 1 に比べて微小なときに成り立つ近似式 $(1+x)^n \fallingdotseq 1+nx$ を用いてよい。

(1) 電場の強さは電気力線の密度と密接に関係しており，強さ E〔N/C〕の電場に垂直な単位面積当たりの電気力線の本数は E 本である。正電荷 Q〔C〕を持つ点電荷が距離 r〔m〕離れた点に作る電場の強さは $\boxed{(ア)}$ 〔N/m〕である。点電荷を中心とした半径 r〔m〕の球を考えると，球の表面を垂直に貫く単位面積あたりの電気力線の本数が電場の強さと等しいことから，Q〔C〕の正電荷から発生する電気力線の本数は $\boxed{(イ)}$ である。この考え方を拡張すると，電荷が分布する場合にも電場の強さを計算できる。電荷を合計して電気力線の本数を求め，電荷を囲み電場に垂直な面の表面積を用いると，単位面積当たりの電気力線の本数，すなわち電場の強さが得られる。

図 3−1 (a)のような無限に長い半径 a〔m〕の円柱形の導体を考える。表面には単位面積当たり σ〔$\mathrm{C/m^2}$〕の正電荷が一様に分布しており，この正電荷が中心軸から r〔m〕($r>a$)離れた点につくる電場の強さ E_r〔N/C〕を計算したい。それには**図 3−1 (b)**に示すように半径 r〔m〕の仮想的な円筒面で円柱を覆うと考える(円筒の中心軸は円柱と一致している)。円柱は無限に長いため端を考慮する必要はない。円柱の長さ L〔m〕の部分に着目すると，円柱表面に存在する正電荷の合計は $\boxed{(ウ)}$ 〔C〕である。仮想円筒の側面を垂直に貫く電気力線の本数から，$E_r = \boxed{(エ)}$ 〔N/C〕となる。一方，円柱の内部 $0<r<a$ での電場の強さは $\boxed{(オ)}$ 〔N/C〕である。

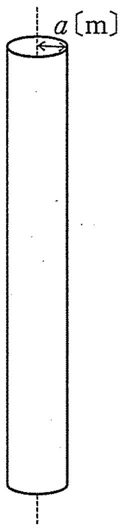


図 3－1 (a)

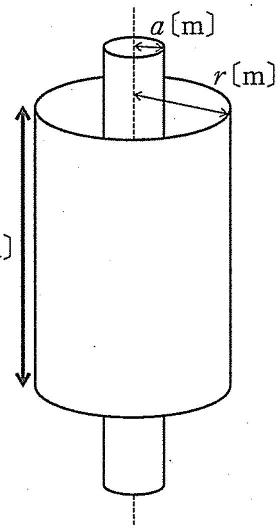


図 3－1 (b)

(ア)の解答群

0 $\dfrac{\pi kQ}{r^2}$　1 $\dfrac{kQ}{r^2}$　2 $\dfrac{kQ}{r}$　3 $\dfrac{Q}{4\pi kr^2}$　4 $\dfrac{Q}{4\pi kr}$

5 $\dfrac{Q^2}{4\pi kr^2}$

(イ)の解答群

0 kQ　1 $4kQ$　2 $4\pi Q$　3 $4\pi kQ$　4 $4\pi kQ^2$

5 πkQ^2

(ウ)の解答群

0 $\pi L^2\sigma$　1 $2\pi L^2\sigma$　2 $\pi a^2\sigma$　3 $\pi aL\sigma$　4 $2\pi a^2\sigma$

5 $2\pi aL\sigma$

(エ)，(オ)の解答群

0 0　1 $\pi k\sigma\dfrac{1}{a}$　2 $4\pi k\sigma\dfrac{a}{r}$　3 $\pi k\sigma\dfrac{L}{r}$　4 $4\pi k\sigma\dfrac{L}{r}$

5 $2\pi k\sigma\dfrac{a}{r^2}$　6 $4\pi k\sigma\dfrac{a}{r^2}$　7 $-\pi k\sigma\dfrac{a}{r}$　8 $-4\pi k\sigma\dfrac{a}{L}$

左のページは白紙です。

(2)　次に(1)と同じ正の電荷が分布している円柱を，**図3－2**のように中心軸は円柱と同じで，内径がb〔m〕，外径がc〔m〕の無限に長い円筒型の導体で覆う(図では，中を見やすくするため，円筒を切断している)。(1)と同様に端の影響は考えなくてよい。最初，円筒型の導体は帯電していないとする。円柱を覆うと，円筒型導体の内側の側面($r = b$)には単位面積当たりσ_b〔C/m^2〕，外側の側面($r = c$)には単位面積当たりσ_c〔C/m^2〕の電荷が分布した。その結果，中心軸からの距離r〔m〕と電場の強さE〔N/C〕の関係は $\boxed{(カ)}$ 図のようになる。このとき，σ_b, σ_cと，σの関係は$\sigma : \sigma_b : \sigma_c =$ $\boxed{(キ)}$ である。

円筒導体を取り去り，同じ形状の不導体(絶縁体)を用意する。不導体は帯電していないとする。円筒導体の場合と同じ位置に不導体を置いて，帯電している円柱を覆った。このとき中心軸から距離r〔m〕(ただし$r > c$)における電場の強さE'〔N/C〕は，円筒導体で覆った場合の，同じ距離rにおける電場の強さEと比べると， $\boxed{(ク)}$ となる。

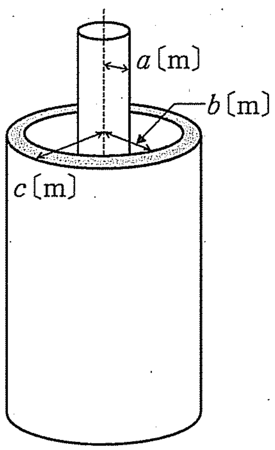
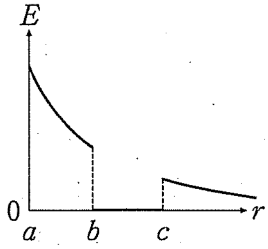


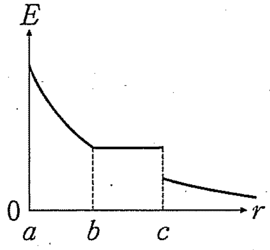
図3－2

(カ)の解答群

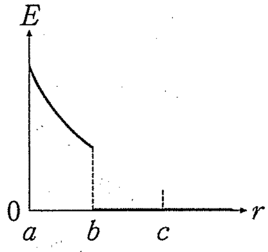
0



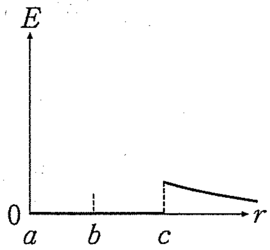
1



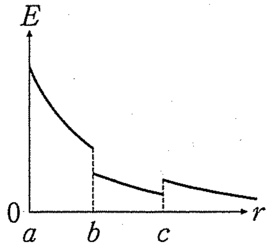
2



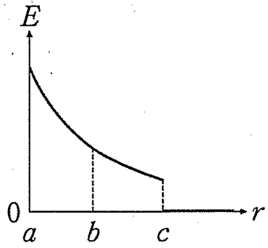
3



4



5



(キ)の解答群

0 $a : b : c$　　1 $a : b : -c$　　2 $a : -b : c$

3 $\dfrac{1}{a} : \dfrac{1}{b} : \dfrac{1}{c}$　　4 $\dfrac{1}{a} : \dfrac{1}{b} : -\dfrac{1}{c}$　　5 $\dfrac{1}{a} : -\dfrac{1}{b} : \dfrac{1}{c}$

6 $\dfrac{1}{bc} : \dfrac{1}{ac} : \dfrac{1}{ab}$　　7 $\dfrac{1}{bc} : \dfrac{1}{ac} : -\dfrac{1}{ab}$　　8 $\dfrac{1}{bc} : -\dfrac{1}{ac} : \dfrac{1}{ab}$

(ク)の解答群

0 $E' = E$　　1 $E' < E$　　2 $E' > E$

(3) 簡単のため円柱の代わりに，太さの無視できる無限に長い棒を2つ用意する。両方の棒とも，単位長さ当たりλ〔C/m〕の正電荷が一様に分布している。**図3－3**のようにxy座標をとり，2本の棒を距離$2R$〔m〕離してy軸に平行に固定する。座標の原点Oは両方の棒から等距離にあり，一方の棒Aは$x=-R$〔m〕の位置に固定し，もう一方は$x=R$〔m〕の位置に固定して棒Bとする。棒の正電荷がつくる電場は円柱の場合と同様に計算できる。ここで，質量M〔kg〕で，正電荷q〔C〕を持ち，大きさの無視できる小球Pを原点O付近に置き，その運動を考える。Pはx軸上のみを運動できるとする。またPに対する重力，まさつ力，抵抗力などの影響はなく，Pの電荷によって棒の電荷分布は変化しないとする。

最初，小球Pが原点Oにあるとき，Pは静止していた。Pが棒Aから受ける力の大きさは $\boxed{\text{(ケ)}}$ 〔N〕である。Pに力を加えて，原点Oからわずかに離れた点$x=X$〔m〕$(X>0)$の位置までx軸にそってゆっくり動かした。Pが座標$x=X$にあるとき，棒A，棒Bの作る電場から受けるx軸方向の合力の大きさは，XがRに比べて微小なので $\boxed{\text{(コ)}}$ 〔N〕と書ける。よって，Pを原点から$x=X$の位置まで動かすのに必要な仕事の大きさは $\boxed{\text{(サ)}}$ 〔J〕である。$x=X$の位置でPをそっと離すと，Pは原点方向に運動を始める。時間 $\boxed{\text{(シ)}}$ 〔s〕が経過すると初めて$x=X$の位置に戻ってくる。

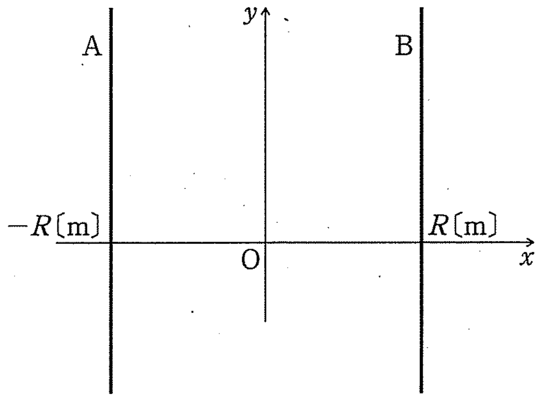


図3－3

(ケ)の解答群

0 $\dfrac{kq\lambda}{2R}$　1 $\dfrac{2kq\lambda}{R}$　2 $\dfrac{4\pi kq\lambda}{R}$　3 $\dfrac{kq\lambda}{2R^2}$

4 $\dfrac{2kq\lambda}{R^2}$　5 $\dfrac{4\pi kq\lambda}{R^2}$

(コ), (サ)の解答群

0 $\dfrac{kq\lambda}{R}$　1 $\dfrac{2kq\lambda}{R}$　2 $\dfrac{4kq\lambda}{R}$　3 $\dfrac{kq\lambda X}{R^2}$

4 $\dfrac{2kq\lambda X}{R^2}$　5 $\dfrac{4kq\lambda X}{R^2}$　6 $\dfrac{kq\lambda X}{R}$　7 $\dfrac{2kq\lambda X}{R}$

8 $\dfrac{kq\lambda X^2}{R^2}$　9 $\dfrac{2kq\lambda X^2}{R^2}$

(シ)の解答群

0 $R\sqrt{\dfrac{M}{2kq\lambda}}$　1 $\pi R\sqrt{\dfrac{M}{kq\lambda}}$　2 $R\sqrt{\dfrac{M}{kq\lambda}}$　3 $\pi R\sqrt{\dfrac{2M}{kq\lambda}}$

4 $\pi\sqrt{\dfrac{MRX}{2kq\lambda}}$　5 $\pi\sqrt{\dfrac{2MRX}{kq\lambda}}$　6 $\sqrt{\dfrac{MRX}{2kq\lambda}}$　7 $\sqrt{\dfrac{2MRX}{kq\lambda}}$

8 $2\sqrt{\dfrac{MRX}{kq\lambda}}$

次の２ページは計算欄として使用してください。

4 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。（同じ番号を何回用いてもよい。）（25 点）

以下では円周率 π とし，角度は弧度法〔rad〕で表示する。三角関数の和の公式

$$\sin A + \sin B = 2\sin\left(\frac{A+B}{2}\right)\cos\left(\frac{A-B}{2}\right)$$

を用いてよい。

(1) ある媒質中で x 軸正の向きに伝わる正弦波を考える。$x = 0\,\mathrm{m}$ の点での媒質の変位 y〔m〕は，時間 t〔s〕の経過にしたがって**図 4－1** のように変化した。時間と媒質の変位の関係は

$$y = \boxed{(ア)} \times \sin\left(2\pi \times \boxed{(イ)} \times t + \boxed{(ウ)}\right)$$

と表せる。また，時刻 $t = 3\,\mathrm{s}$ のとき，x 軸の各点の変位は**図 4－2** のようになった。この波の速さは $\boxed{(エ)}$〔m/s〕である。x 軸の正の向きに伝わる正弦波の場合，座標 x における媒質は，$x = 0\,\mathrm{m}$ の点と比べると波が伝わるのに要する時間の分だけ遅れて振動するので，変位 y は時間 t と座標 x の関数として

$$y = \boxed{(ア)} \times \sin\left[2\pi \times \boxed{(イ)} \times \left(t + x \times \boxed{(オ)}\right) + \boxed{(ウ)}\right]$$

と書ける。これを(A)式とする。

次に $x = 0$ の位置に波を反射する端点を設置し，$x < 0$ の領域で原点から十分離れた波源から，上と同様な正弦波を発生させた。時間が経過すると**図 4－3** のように波は原点付近に到達し，反射が起こった。$x < 0$ において，入射波は(A)式で表されるとする。また反射波の変位 y_2〔m〕は，反射波が x 軸の負の方向に進むことから一般に，

$$y_2 = \boxed{(ア)} \times \sin\left[2\pi \times \boxed{(イ)} \times \left(t + x \times \boxed{(カ)}\right) + \alpha\right]$$

と表し，(B)式とする。ここで α〔rad〕は定数の位相である。

$x = 0$ において 2 つの波を合成すると

$$y_2 + y = 2 \times \boxed{(ア)} \times \sin\left(2\pi t \times \boxed{(イ)} + \boxed{(キ)}\right) \times \cos\left(\boxed{(キ)}\right)$$

となる。端点が固定端の場合は，$x=0$ の点で $\boxed{(ク)}$ が成り立つので，位相 α は $\boxed{(ケ)}$ rad である。

入射波(A)式と反射波(B)式を合成すると，干渉の結果 x 軸の負の領域には腹と節とが現れる。原点に最も近い節(原点は除く)は，固定端反射の場合 $x=\boxed{(コ)}$ m である。

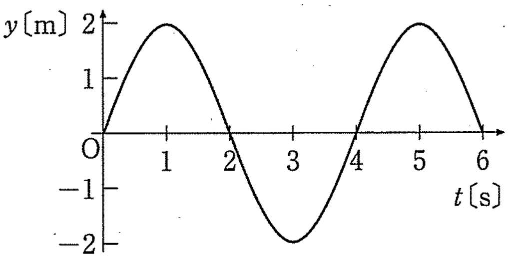


図4−1

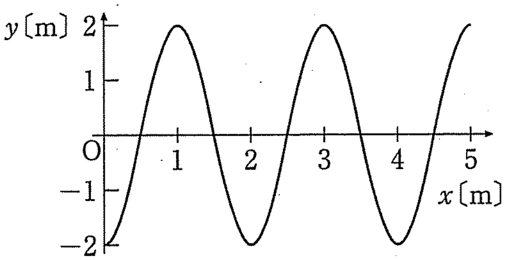


図4−2

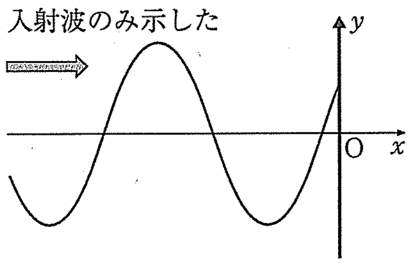


図4−3

(ア), (イ)の解答群

0 0　　1 1　　2 2　　3 3　　4 4

5 5　　6 $\frac{1}{2}$　　7 $\frac{1}{3}$　　8 $\frac{1}{4}$　　9 $\frac{1}{5}$

(ウ), (ケ)の解答群

0 0　　1 $\frac{\pi}{2}$　　2 π

(エ), (オ), (カ)の解答群

0 1　　1 2　　2 4　　3 -1　　4 -2

5 -4　　6 $\frac{1}{2}$　　7 $\frac{1}{4}$　　8 $-\frac{1}{2}$　　9 $-\frac{1}{4}$

(キ)の解答群

0 0　　1 $\frac{\alpha}{4}$　　2 $\frac{\alpha}{2}$　　3 α

4 $\frac{\alpha}{4}+\frac{\pi}{4}$　　5 $\frac{\alpha}{2}-\frac{\pi}{4}$　　6 $\alpha-\frac{\pi}{4}$

(ク)の解答群

0 $y_2=y$　　1 $y_2+y=0$　　2 $y_2+y=\frac{\pi}{2}$

3 $y_2+y=\pi$

(コ)の解答群

0 $-\frac{1}{4}$　　1 $-\frac{1}{2}$　　2 -1　　3 $-\frac{3}{2}$　　4 -2

左のページは白紙です。

(2) 波は音や水面の波のような身近なものから，電磁波まで様々な現象に現れる。巨大な質量を持つ物体から発生する重力波もその一つだが，重力波を測定する方法の原理にも光の波としての性質が用いられている。**図 4−4** のように，赤色の単色のレーザー光源と，２つの反射鏡を xy 平面上に設置した装置を用意する。x 軸の負の位置にある光源 P から x 軸にそって速さ c〔m/s〕，振動数 ν〔Hz〕の光を入射させ，原点 O にある入射光に対し 45 度傾けた半透鏡を通すことで，一方は x 軸上を進む透過光，他方は y 軸を正の向きに進む反射光になる。この２つの波の振幅は等しいとする。x 軸上を進んだ光は $x = L(1-h)$〔m〕にある反射鏡 A で，他方は y 軸上の $y = L(1+h)$〔m〕にある反射鏡 B で反射され（L〔m〕は正の定数。$0 < h < 1$），それぞれ x 軸，y 軸に平行に進んで再び O の半透鏡に至る。半透鏡で反射した A からの光と，半透鏡を透過した B からの光が，y 軸負の方向にあるスクリーン S に到達した結果，S では２つの波の干渉を観測できる。この測定装置は真空中にあるとする。以下では，反射鏡，半透鏡における光の位相変化はないとする。

光が半透鏡で分かれてから再び半透鏡に戻るまでにかかる時間に差があるので，２つの波に位相の差が生じ，S 上では干渉が起こる。光が OA 間の往復にかかる時間は $\boxed{\text{(サ)}}$〔s〕なので，反射鏡 A から返ってきた光が S 上に達したときの波 S_A は，

$$S_A = \sin\left[2\pi\nu\left(t - \boxed{\text{(サ)}}\right)\right]$$

と表せるとする。ここで簡単のため光の振幅を１とした。反射鏡 B で反射した波 S_B についても，OB 間の往復にかかる時間を用いて同様に表せる。これら２つの波を合成すると

$$S_A + S_B = 2\sin\left(\boxed{\text{(シ)}}\right) \times \cos\left(\boxed{\text{(ス)}}\right)$$

となる。このうち sin の部分は干渉の明暗の条件には寄与しない。cos の部分から，光が強め合い明るくなる条件は，整数 m を用いて $\boxed{\text{(セ)}} = m$ となる。$h = 0$ のときは，光は強めあうことが分かる。$h = 0$ から始めて，h を光の速さに比べてゆっくりと増やすと，S 上の光は明暗をくり返す。２回目に暗くなったときの h は $h = \boxed{\text{(ソ)}} \times \boxed{\text{(タ)}}$ である。

$h = 0$ の装置を用意した場所に重力波が到達したとする。その影響を受けて，h はある有限な値に変化し，それ以外の装置への影響はなかったとする。重力波の典型的な値 $h = 10^{-18}$ に対して，S 上が暗くなる条件を満たす最小の L は，可視光領域の波長のレーザーを用いたことから $\boxed{\text{(チ)}}$ m 程度になる。そのため，重力波を実際に観測するには，装置に特別な工夫をするか，あるいは宇宙空間で人工衛星を用いて大規模な装置を構成する必要がある。

レーザー光などではなく，粒子の波動性を利用して同じような原理の実験を行うことも可能である。例えば，質量 1.8×10^{-27} kg の中性子を，速さ 3000 m/s に加速した場合，プランク定数 6.6×10^{-34} J·s を用いるとド・ブロイ波長は，$\boxed{\text{(ツ)}}$ m 程度になる。この場合は，装置をより小さくできることがわかる。

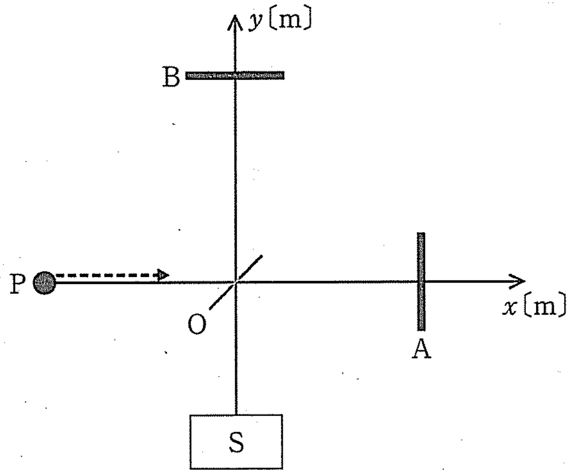


図 4－4

(サ)の解答群

0 $\dfrac{L}{c}$　1 $\dfrac{L(1-h)}{c}$　2 $\dfrac{L(1+h)}{c}$　3 $\dfrac{2L}{c}$

4 $\dfrac{2L(1-h)}{c}$　5 $\dfrac{2L(1+h)}{c}$　6 $\dfrac{L}{2c}$　7 $\dfrac{L(1-h)}{2c}$

8 $\dfrac{L(1+h)}{2c}$

(シ), (ス)の解答群

0 $2\pi\nu t$　1 $2\pi\nu\left(t-\dfrac{L}{c}\right)$　2 $2\pi\nu\left(t-\dfrac{2L}{c}\right)$

3 $2\pi\nu\left(t-\dfrac{2Lh}{c}\right)$　4 $2\pi\nu\left(t-\dfrac{4Lh}{c}\right)$　5 $\dfrac{\pi\nu Lh}{c}$

6 $\dfrac{2\pi\nu Lh}{c}$　7 $\dfrac{4\pi\nu Lh}{c}$　8 $\dfrac{\pi\nu L}{ch}$

9 $\dfrac{2\pi\nu L}{ch}$

(セ)の解答群

0 $\dfrac{\nu L}{c}$　1 $\dfrac{2\nu L}{c}$　2 $\dfrac{4\nu L}{c}$　3 $\dfrac{\nu Lh}{c}$　4 $\dfrac{2\nu Lh}{c}$

5 $\dfrac{4\nu Lh}{c}$　6 $\dfrac{\nu L}{ch}$　7 $\dfrac{2\nu L}{ch}$　8 $\dfrac{4\nu L}{ch}$

(ソ)の解答群

0 $\dfrac{1}{8}$　1 $\dfrac{1}{4}$　2 $\dfrac{3}{8}$　3 $\dfrac{1}{2}$　4 $\dfrac{5}{8}$

5 $\dfrac{3}{4}$　6 $\dfrac{7}{8}$

(タ)の解答群

0 $\dfrac{c}{\nu L}$　　1 $\dfrac{\nu L}{c}$　　2 $\dfrac{\nu}{c}$　　3 $\dfrac{c}{\nu}$

(チ), (ツ)は最も適当なものを選べ

(チ)の解答群

0 10^{4}　　1 10^{6}　　2 10^{8}　　3 10^{11}　　4 10^{17}
5 10^{21}

(ツ)の解答群

0 10^{-8}　　1 10^{-10}　　2 10^{-12}　　3 10^{-14}　　4 10^{-16}

次の2ページは計算欄として使用してください。