2014年度

Ab 物 理 問 題

注 意

1．試験開始の指示があるまでこの問題冊子を開いてはいけません。
2．解答用紙はすべてＨＢの黒鉛筆またはＨＢの黒のシャープペンシルで記入することになっています。ＨＢの黒鉛筆・消しゴムを忘れた人は監督に申し出てください。(万年筆・ボールペン・サインペンなどを使用してはいけません。)
3．この問題冊子は20ページまでとなっています。試験開始後，ただちにページ数を確認してください。なお，問題番号はⅠ～Ⅳとなっています。
4．解答用紙にはすでに受験番号が記入されていますので，出席票の受験番号が，あなたの受験票の番号であるかどうかを確認し，出席票の氏名欄に氏名のみを記入してください。なお，出席票は切り離さないでください。
5．解答は解答用紙の指定された解答欄に記入し，その他の部分には何も書いてはいけません。
6．解答用紙を折り曲げたり，破ったり，傷つけたりしないように注意してください。
7．計算には，この問題冊子の余白部分を使ってください。
8．この問題冊子は持ち帰ってください。

マーク・センス法についての注意

マーク・センス法とは，鉛筆でマークした部分を機械が直接よみとって採点する方法です。
1．マークは，下記の記入例のようにＨＢの黒鉛筆で枠の中をぬり残さず濃くぬりつぶしてください。
2．1つのマーク欄には1つしかマークしてはいけません。
3．訂正する場合は消しゴムでよく消し，消しくずはきれいに取り除いてください。

マーク記入例： A 1 2 3 4 5 ○○●○○ （3と解答する場合）

Ⅰ. 次の文を読み，下記の設問1・2に答えよ。解答は解答用紙の所定欄にしるせ。ただし，鉛直方向の重力加速度を g とする。また，糸の質量，コインの大きさは，無視できるものとする。

水平方向から角度 θ で傾いた，表面が滑らかな板の上に，質量 m のコインを長さ L の糸で板に沿って吊るす。板上でのコインのつりあいの位置を点Pとする。図1のように，糸を張ったままの状態で板の上で点Pから小さな角度だけ動かしたところ，コインは単振り子として振動した。この周期は $\boxed{\text{イ}}$ である。

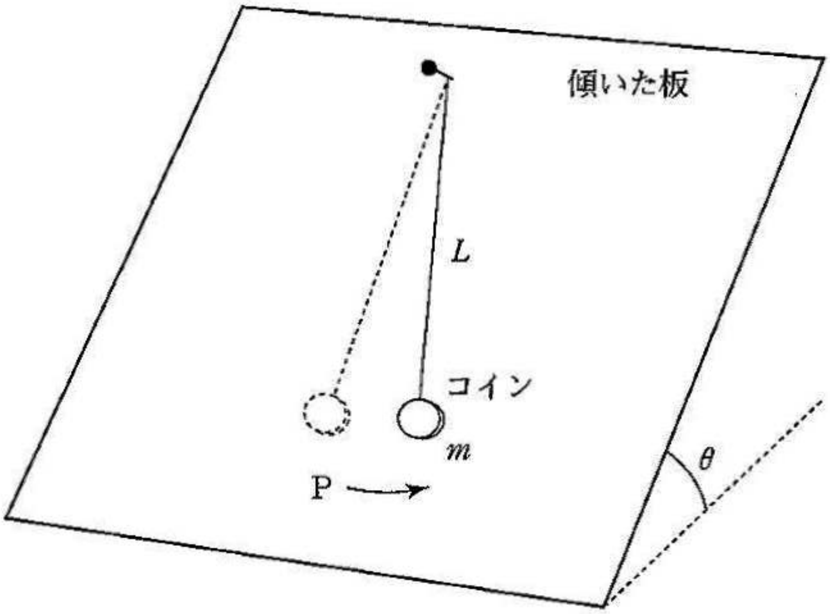


図1

次に，表面が粗い板に替える。この板の静止摩擦係数を μ，動摩擦係数を μ' とする。図2のように，糸を張ったままの状態で，板の上で点Pから角度 α （$\alpha > 0$）の点Aまでコインを動かして静かに手をはなしたところ，コインは板に沿って滑り落ち始めた。このようにコインが点Aで，摩擦力で静止せずに滑り落ちる条件は $\boxed{\text{ロ}}$ である。

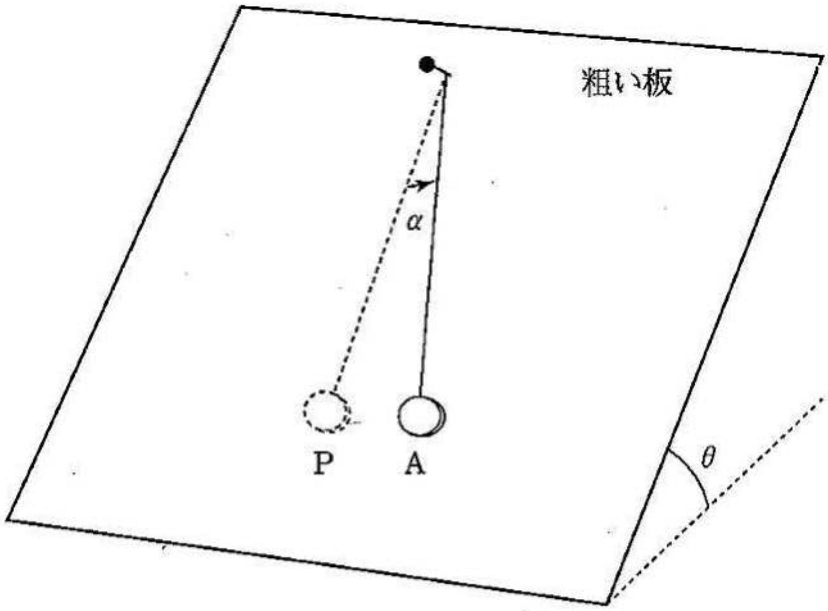


図2

点Aから動き始めたコインが，図3のように反対側の角度 β（$\beta > 0$）の点Bまで振れ，戻らずにその場で静止した。このように，コインが滑り落ちずに点Bで摩擦力によって静止し続ける条件は $\boxed{\text{ハ}}$ である。点Aから点Bまで移動する間に摩擦力がコインに対してした仕事は $\boxed{\text{あ}}$ であり，重力による位置エネルギーは $\boxed{\text{い}}$ だけ減少した。β と α が小さな角度の場合，角度 β は近似的に $\beta \fallingdotseq \boxed{\text{う}}$ rad と求めることができる。ただし，小さな角度 x〔rad〕に対して成り立つ三角関数の近似式として，

$$\sin x \fallingdotseq x,\ \cos x \fallingdotseq 1 - \frac{x^2}{2},\ \tan x \fallingdotseq x$$

を用いよ。なお，この設問では $\cos x \fallingdotseq 1$ という近似式を用いてはならない。

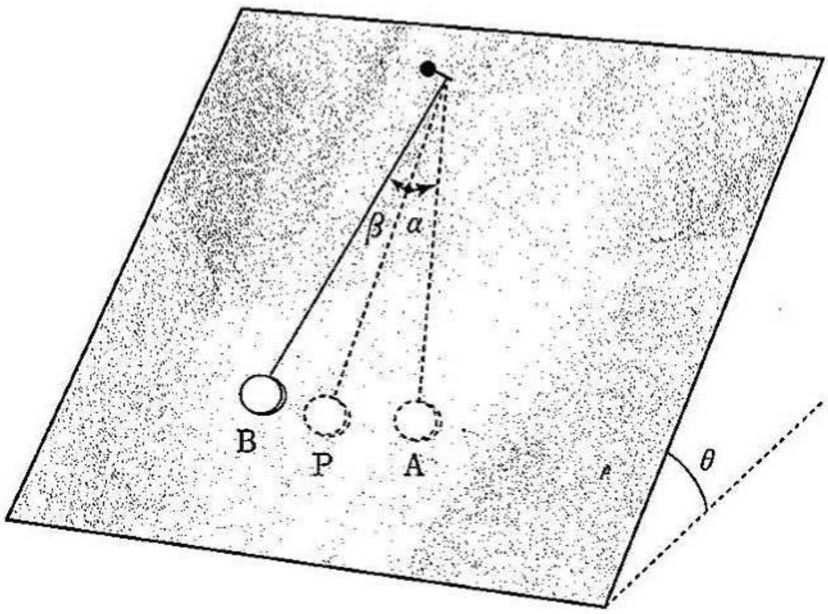


図3

1．文中の空所 $\boxed{\text{イ}}$ ～ $\boxed{\text{ハ}}$ にあてはまる数式としてもっとも適当なものを，それぞれ対応する a ～ f から１つずつ選び，その記号をマークせよ。

$\boxed{\text{イ}}$

a． $\pi\sqrt{\dfrac{2L}{g\sin\theta}}$　　b． $\pi\sqrt{\dfrac{2L}{g\cos\theta}}$　　c． $\dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{L}{g\sin\theta}}$

d． $\dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{L}{g\cos\theta}}$　　e． $2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g\sin\theta}}$　　f． $2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g\cos\theta}}$

$\boxed{\text{ロ}}$

a． $\mu\tan\theta < \sin\alpha$　　b． $\mu\tan\theta \geqq \sin\alpha$　　c． $\mu < \tan\theta.\sin\alpha$

d． $\mu \geqq \tan\theta\sin\alpha$　　e． $\mu \geqq \tan\theta\cos\alpha$　　f． $\mu < \tan\theta\cos\alpha$

$\boxed{\text{ハ}}$

a． $\mu\tan\theta < \sin\beta$　　b． $\mu\tan\theta \geqq \sin\beta$　　c． $\mu < \tan\theta\sin\beta$

d． $\mu \geqq \tan\theta\sin\beta$　　e． $\mu \geqq \tan\theta\cos\beta$　　f． $\mu < \tan\theta\cos\beta$

2．文中の空所 $\boxed{\text{あ}}$ ～ $\boxed{\text{う}}$ それぞれにあてはまる数式をしるせ。

Ⅱ．次の文１～３の空所 $\boxed{\text{イ}}$ ～ $\boxed{\text{ヘ}}$ にあてはまる数式を，それぞれ対応する a ～ f から１つずつ選び，その記号を解答用紙の所定欄にマークせよ。ただし，小球の大きさと重力は無視できるものとする。

１．図１のようにパイプ内に電荷 q をもつ小球を一定の短い時間間隔 t で，同じ速さ v で同じ向きに放出し続けた。このとき，パイプ内の電荷の流れを直流電流とみなすと，その電流は $\boxed{\text{イ}}$ と表される。

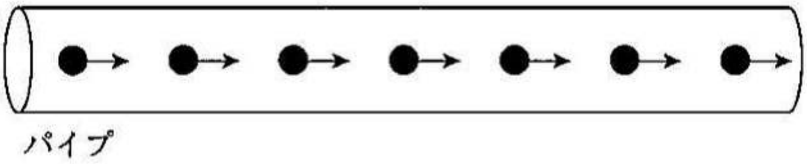


図１

$\boxed{\text{イ}}$

a．$\dfrac{q}{t}$　　b．$\dfrac{qt}{v}$　　c．$\dfrac{qv^2}{t}$

d．$\dfrac{qt^2}{v}$　　e．$\dfrac{t}{q}$　　f．$\dfrac{t}{qv^2}$

2．図2のように点Oを中心とする半径 r の円周上にレールが設置してあり，正電荷 q をもつ N 個の小球が，すべて同じ速さ v で等間隔に並び，レール上を左回りに回転している。ここで，レールとの摩擦は無視できるものとする。これらの小球の運動による電荷の流れを，設問1．と同様に直流電流とみなすと，この電流は [ロ] と表される。また，このときこの電流が点Oにつくる磁場 H の大きさは [ハ] となる。

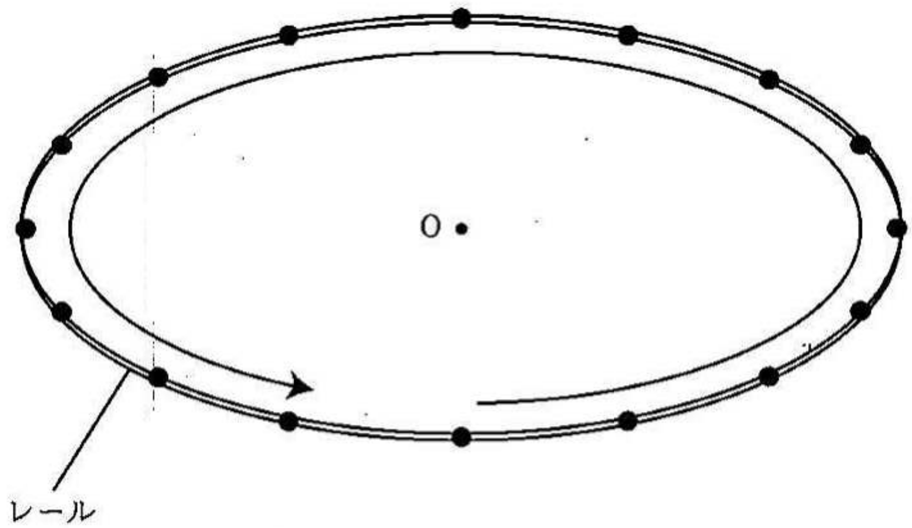


図2

[ロ]

a．$\dfrac{Nqv}{\pi r}$　b．$\dfrac{Nqv}{2\pi r}$　c．$\dfrac{Nqv}{4\pi r}$

d．$\dfrac{qv}{2\pi r}$　e．$\dfrac{Nqv^2}{2\pi r}$　f．$\dfrac{Nqv}{\pi r^2}$

[ハ]

a．$\dfrac{Nqv^2}{2\pi r^2}$　b．$\dfrac{Nqv}{2\pi r^2}$　c．$\dfrac{qv}{4\pi r^2}$

d．$\dfrac{qv}{2\pi r^2}$　e．$\dfrac{Nqv}{4\pi r^2}$　f．$\dfrac{Nqv}{\pi r^2}$

3．底面の半径が r，高さが L の円筒がある。円筒の下面の中心を原点O，円筒の中心軸を z 軸とし，図3のように x 軸，y 軸をとる。正電荷 q をもつ多数の小球を，点A$(x, y, z) = (r, 0, 0)$ から，一定の短い時間間隔 t ごとに1つずつ初速$(v_x, v_y, v_z) = (0, V_y, V_z)$ で放出し続けたところ，小球は図3のように円筒の内壁にそって摩擦を受けずにらせん状に運動した。ここで，L は r より充分大きく，V_y は V_z に対して充分大きく，$V_y > 0$ かつ $V_z > 0$ とする。最初に放出した小球が円筒の上面に達した後に，これらの小球の運動によって円筒内に生じる磁場を考える。小球の移動経路をソレノイドコイルとみなすと，このコイルの単位長さあたりの巻き数は $\boxed{\text{ニ}}$ となり，このコイルに流れる電流は $\boxed{\text{ホ}}$ となる。このとき，この電流が円筒の中心につくる磁場 H の大きさは $\boxed{\text{ヘ}}$ となる。

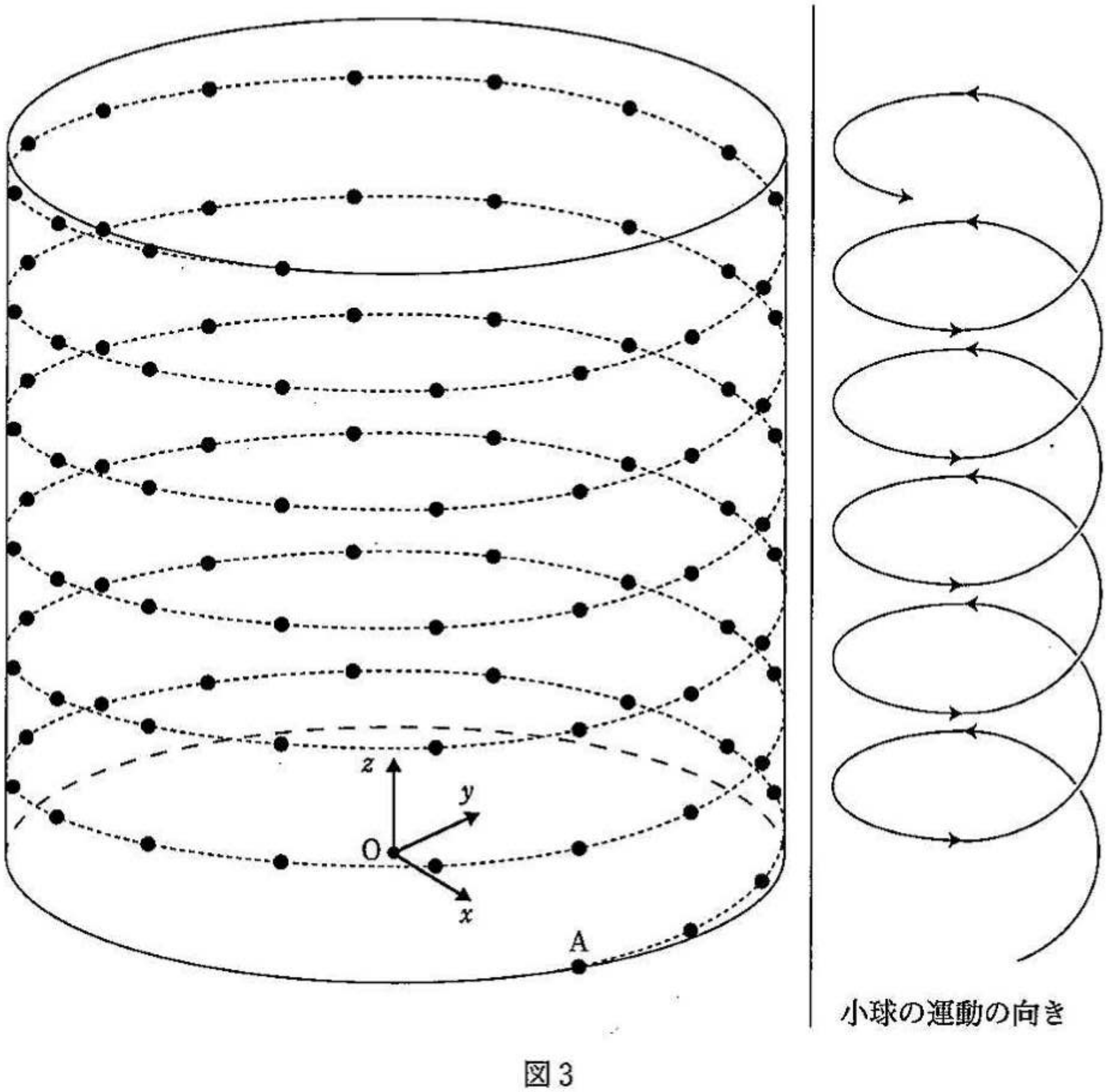


図3

ニ　a. $\frac{1}{L}$　b. $\frac{V_z}{LV_y}$　c. $\frac{V_y}{2\pi r V_z}$

d. $\frac{1}{2\pi r}$　e. $\frac{V_y}{LV_z}$　f. $\frac{V_z}{2\pi r V_y}$

ホ　a. $\frac{qV_z}{L}$　b. $\frac{qV_y}{2\pi r}$　c. $\frac{qV_z}{2\pi r}$

d. $\frac{qV_yV_zt}{2\pi rL}$　e. $\frac{qV_yV_zt}{4\pi r^2}$　f. $\frac{q}{t}$

ヘ　a. $\frac{qV_z}{L^2}$　b. $\frac{qV_z}{2\pi r V_y t}$　c. $\frac{qV_yV_zt}{2\pi rL}$

d. $\frac{qV_y}{2\pi r V_z t}$　e. $\frac{qV_y^2t}{4\pi^2r^2L}$　f. $\frac{q}{Lt}$

Ⅲ. 次の文を読み，下記の設問1・2に答えよ。解答は解答用紙の所定欄にしるせ。ただし，気体定数を R とする。

断面積 A，長さ $2L$ のシリンダーが滑らかに動くピストンで仕切られており，これらはいずれも断熱材でできているものとする。ピストンには自然長 L，ばね定数 k のばねが付けられ，ばねの他端はシリンダーの壁に固定されている。ばねが固定されている壁とピストンには開閉可能な栓が付いており，それぞれ栓a，栓bとする。反対側の壁にはヒーターが付いている。ばねのある側を部屋Ⅰ，ヒーターのある側を部屋Ⅱとする。ピストンの厚さ，ばねとヒーターの熱容量は無視できるものとする。

部屋Ⅰを真空に保ち，部屋Ⅱに単原子分子理想気体1 molを封入したところ，図1のようにばねは自然長より x_0 だけ縮んだ状態で静止した。このときの気体の温度 T_0 を R，L，k，x_0 を用いて表すと，$T_0 =$ $\boxed{\text{あ}}$ となる。

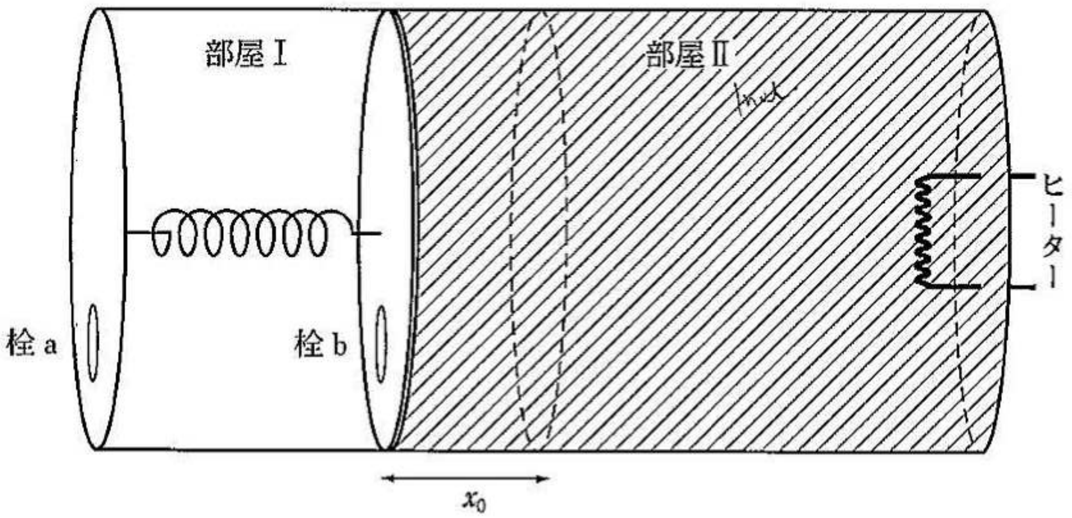


図1

次に，ヒーターを使って気体を加熱し，温度を T_1 にしたところ，ばねは自然長より x_1 だけ縮んだ状態で静止した。この過程で気体の内部エネルギーは $\boxed{\text{イ}}$ だけ増加した。また，ヒーターから気体に流れ込んだ熱の総量 Q_1 は $\boxed{\text{ロ}}$ である。

続いて，栓bを開くと，気体は部屋Ⅰに流れ出した。充分に時間がたつと，気体の温度 T_2 は $\boxed{\text{ハ}}$ となる。

この状態で栓bを閉じ，その後栓aを開いた。すると，部屋Iにあった気体は大気中に流れ出し，図2のようにばねは自然長より x_3 だけ縮んだ状態で静止した。このとき，部屋IIの気体の圧力 P_3 を A，k，x_3，および大気圧 P_a を用いて表すと，$P_3 =$ $\boxed{\text{い}}$ となる。

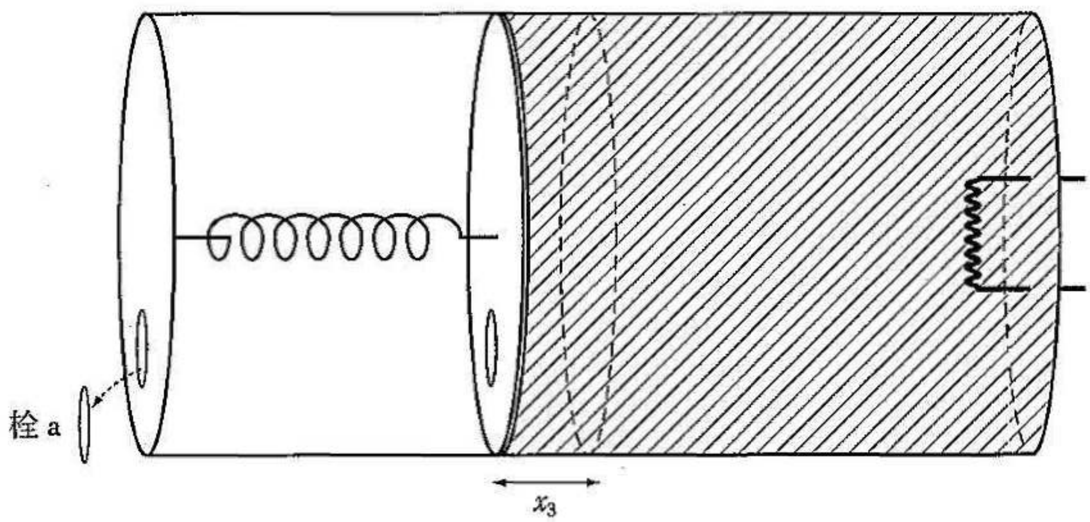


図2

さらに，ヒーターを使って気体をゆっくりと加熱し，温度を T_4 にした。ばねは最終的に自然長より x_4 だけ縮んで静止し，気体の圧力は P_4 となった。この過程で，ばねが自然長より x だけ縮んでいる状態における気体の圧力を P_x とする。x と P_x の関係をグラフに描くと，$\boxed{\text{ニ}}$ のようになる。また，部屋IIの気体が外部に対してした仕事 W は $\boxed{\text{ホ}}$ であり，ヒーターから部屋IIの気体に流れ込んだ熱の総量 Q_4 は $\boxed{\text{ヘ}}$ である。

1．文中の空所 $\boxed{\text{あ}}$ ・ $\boxed{\text{い}}$ それぞれにあてはまる数式をしるせ。

2．文中の空所 $\boxed{\text{イ}}$ ～ $\boxed{\text{ヘ}}$ にあてはまる数式またはグラフを，それぞれ対応する a～f から1つずつ選び，その記号をマークせよ。

$\boxed{\text{イ}}$

a．$\dfrac{3}{2}k(x_1{}^2 - x_0{}^2)$　　b．$\dfrac{1}{2}k(x_1{}^2 - x_0{}^2)$

c．$\dfrac{3}{2}k(L^2 - x_1{}^2)$　　d．$\dfrac{3}{2}k(x_1 - x_0)L$

e．$\dfrac{3}{2}k(x_1 - x_0)(L + x_0 + x_1)$　　f．$\dfrac{1}{2}k(x_1 - x_0)(L + x_0 + x_1)$

$\boxed{\text{ロ}}$

a．$\dfrac{3}{2}k(x_1{}^2 - x_0{}^2)$　　b．$\dfrac{1}{2}k(x_1{}^2 - x_0{}^2)$

c．$\dfrac{1}{2}k(x_1 - x_0)(2L + x_0 + x_1)$　　d．$\dfrac{1}{2}k(x_1 - x_0)\{3L + 4(x_0 + x_1)\}$

e．$\dfrac{1}{2}k(x_1 - x_0)(L + x_0 + x_1)$　　f．$\dfrac{1}{2}k(x_1 - x_0)L$

$\boxed{\text{ハ}}$

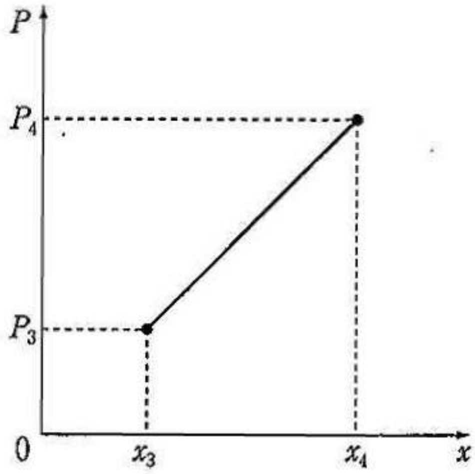
a．T_1　　b．$2T_1$

c．$\dfrac{1}{2}T_1$　　d．$T_1 + \dfrac{k}{R}x_1{}^2$

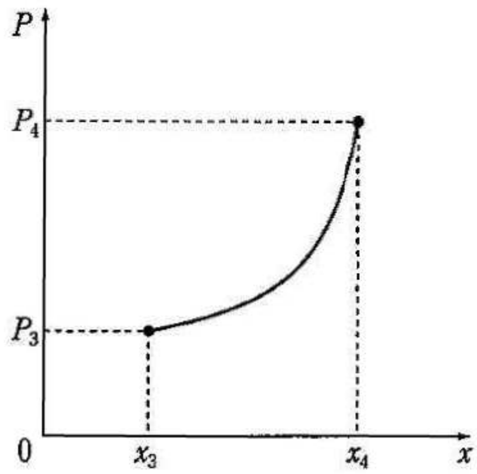
e．$T_1 + \dfrac{k}{3R}x_1{}^2$　　f．$T_1 - \dfrac{k}{R}x_1{}^2$

$\boxed{二}$

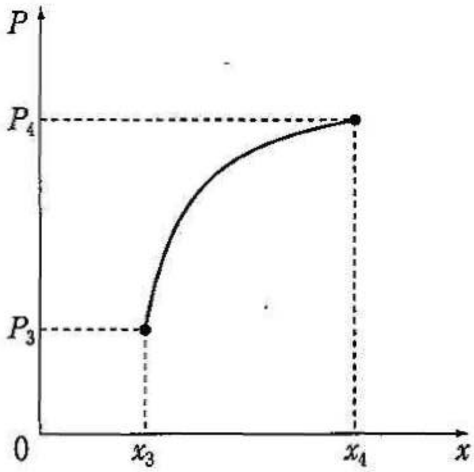
a.



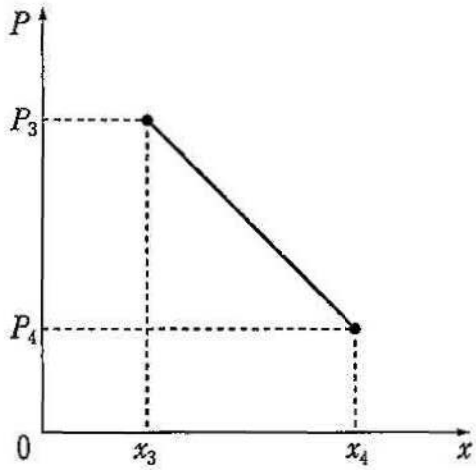
b.



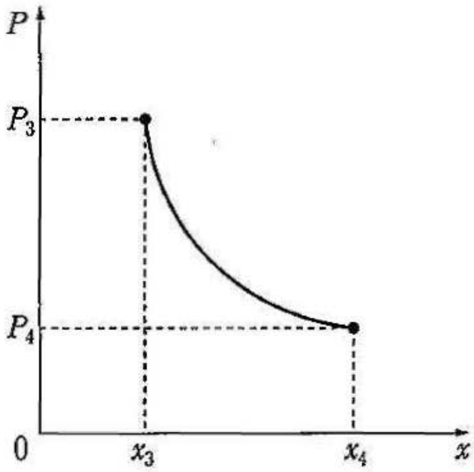
c.



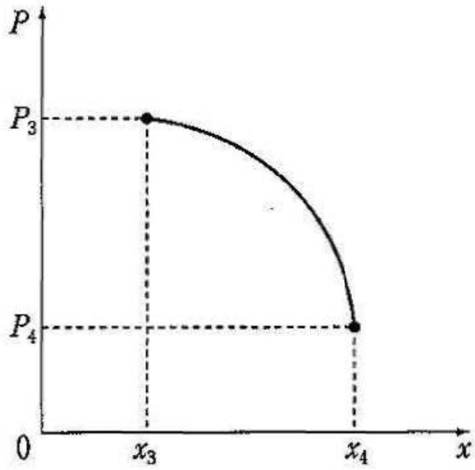
d.



e.



f.



$\boxed{\text{ホ}}$

a. $P_aA(x_4 - x_3)$

b. $P_aA(x_4 - x_3) + kx_3(x_4 - x_3)$

c. $P_aA(x_4 - x_3) + \frac{1}{2}k(x_4^2 - x_3^2)$

d. $P_aA(x_4 - x_3) + \frac{1}{2}k(x_4 - x_3)^2$

e. $\frac{1}{2}k(x_4^2 - x_3^2)$

f. $\frac{3}{2}k(x_4^2 - x_3^2)$

$\boxed{\text{ヘ}}$

a. $\frac{3}{2}P_aA(x_4 - x_3) + k(x_4^2 - x_3^2) + \frac{3}{2}kL(x_4 - x_3)$

b. $\frac{5}{2}P_aA(x_4 - x_3) + 2k(x_4^2 - x_3^2) + \frac{3}{2}kL(x_4 - x_3)$

c. $\frac{3}{2}P_aA(x_4 - x_3) + k(x_4 - x_3)^2 + \frac{1}{2}kL(x_4 - x_3)$

d. $\frac{3}{2}P_aA(x_4 - x_3) + k(x_4^2 - x_3^2)$

e. $P_aA(x_4 - x_3) + \frac{1}{2}k(x_4 - x_3)^2$

f. $\frac{5}{2}P_aA(x_4 - x_3) + 2k(x_4^2 - x_3^2)$

IV．次の文A～Cを読み，それぞれに対応する下記の設問1～3に答えよ。解答は解答用紙の所定欄にしるせ。

A．原子力発電では，原子核分裂反応が利用される。図1のように，ある球形の原子核Aが2つの球形の原子核Bに分裂する際のエネルギーについて考える。分裂直後の原子核Bの中心間の距離 L は 1.6×10^{-14} m であり，これらの間にはたらく静電気力や重力は，すべての電荷や質量が中心点に集中しているものと考えて計算してよい。

分裂前の原子核Aの電荷は $92e$ であり，分裂後の原子核Bの電荷は $46e$ である。分裂直後の，中心間の距離が L 離れた2つの原子核Bの間にはたらく静電気力の大きさは $\boxed{\text{イ}}$ N である。ただし，ここで $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C であり，クーロンの法則の比例定数は $k_0 = 9.0 \times 10^9\,\mathrm{Nm^2/C^2}$ である。

2つに分裂した原子核Bが飛行してお互いに充分遠ざかったとき，静電エネルギーによって得られる2つの原子核Bの運動エネルギーの和を求めると $\boxed{\text{ロ}}$ J となる。

次に，重力について考える。原子核Bの質量を 2.0×10^{-25} kg とすると，分裂直後に中心間の距離が L 離れた2つの原子核Bの間にはたらく重力は $\boxed{\text{ハ}}$ N であり，重力では静電気力に打ち勝って分裂した原子核をつなぎとめることができないことがわかる。ただし，万有引力定数は $G = 6.7 \times 10^{-11}\,\mathrm{Nm^2/kg^2}$ である。

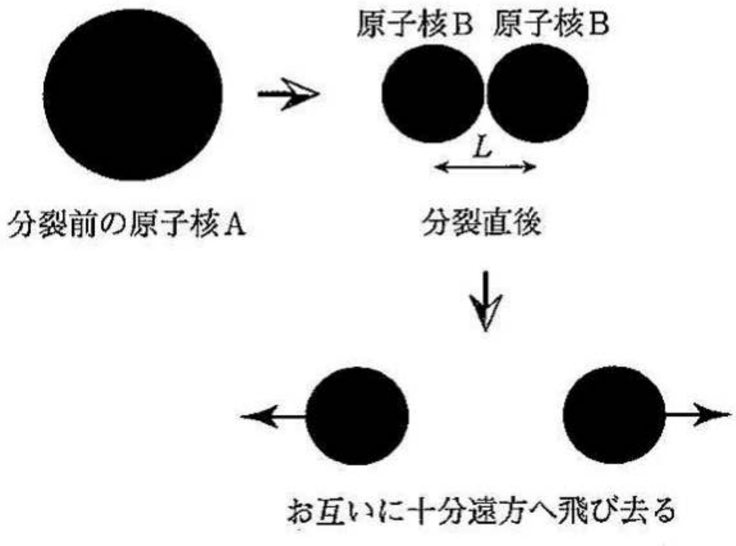


図1

1．文中の空所 $\boxed{\text{イ}}$ ～ $\boxed{\text{ハ}}$ にあてはまる数値を，それぞれ対応する a ～ f から1つずつ選び，その記号をマークせよ。

$\boxed{\text{イ}}$　a．1.9　b．1.9×10　c．1.9×10^{2}
d．1.9×10^{3}　e．1.9×10^{4}　f．1.9×10^{5}

$\boxed{\text{ロ}}$　a．3.0×10^{-15}　b．3.0×10^{-14}　c．3.0×10^{-13}
d．3.0×10^{-12}　e．3.0×10^{-11}　f．3.0×10^{-10}

$\boxed{\text{ハ}}$　a．1.0×10^{-32}　b．1.0×10^{-31}　c．1.0×10^{-30}
d．1.0×10^{-29}　e．1.0×10^{-28}　f．1.0×10^{-27}

B．図2のようにばね定数 k のばねで連結された，大きさの無視できる小球1と小球2を考える。小球の質量はいずれも m とし，左側と右側のばねの端は壁に固定されているとする。つりあいの位置で小球が静止しているとき，ばねの長さはすべて等しく d であった。これらの小球をつりあいの位置からずらして手を離すと，それぞれの小球は振動を開始する。小球1がつりあいの位置から x だけ離れ，小球2がつりあいの位置から y だけ離れているときに，小球1にはたらく力を F_1，小球2にはたらく力を F_2 とすると，

$$F_1 = k(Ax + By),$$
$$F_2 = k(Cx + Dy),$$

と表すことができ，$A =$ あ ，$B =$ い ，$C =$ う ，$D =$ え である。ただし，力は右向きを正とし，小球がつりあいの位置より右側にあるときに $x > 0$，$y > 0$ とする。

2．文中の空所 あ ～ え それぞれにあてはまる数式または数値をしるせ。

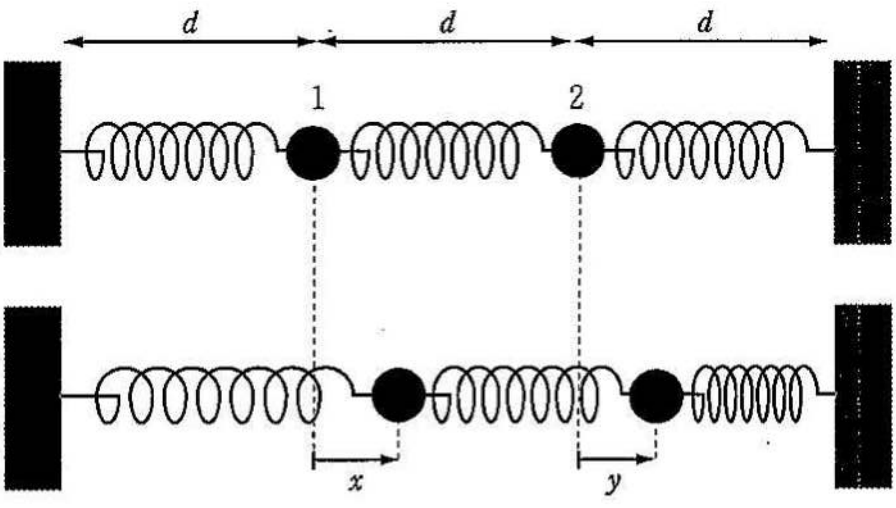


図2

C．点光源から発せられた光がレンズを通って結像する位置について考える。レンズを通る光線は以下の性質をもっている。

（1） 光軸に平行な光線はレンズを通過後，焦点を通る。

（2） レンズの中心を通る光線は，そのまま直進する。

（3） レンズの焦点を通ってレンズに到達する光は，レンズを通過後，光軸に平行に進む。

焦点距離 4 cm のレンズ 1 がある。図 3 のようにレンズ 1 の左側には点光源 P が，レンズ 1 の中心から光軸方向に 8 cm，光軸からの高さ 1 cm のところに置かれている。レンズ 1 の中心の位置を O_1，左側の焦点を F_1'，右側の焦点を F_1 とする。点光源 P の実像 P_1' は，光軸方向にレンズ 1 の右側 ［ ニ ］ cm，光軸からの距離 ［ ホ ］ cm の位置にある。

次に，図 4 のようにレンズ 1 の右側 2 cm の位置 O_2 に焦点距離 6 cm のレンズ 2 を設置した。レンズ 2 の左側の焦点を F_2'，右側の焦点を F_2 とする。この時の点光源 P の実像の位置 P_2' を考える。

P から発せられ F_1' を通る光線は，レンズ 1 を通った後（3）の性質から光軸に平行に進み，レンズ 2 を通った後（1）の性質からレンズ 2 の焦点 F_2 を通る。この光線を光線 1 とする。

レンズの（2）の性質から，レンズ 2 を設置する前に O_2 を通る光線は，レンズ 2 を設置してもレンズ 2 を通る時に直進して P_1' を通る。この光線を光線 2 とする。

光線 1 と光線 2 の交点が，点光源 P の実像 P_2' の位置でありレンズ 2 の右側 ［ ヘ ］ cm，光軸からの距離 ［ ト ］ cm の位置にある。

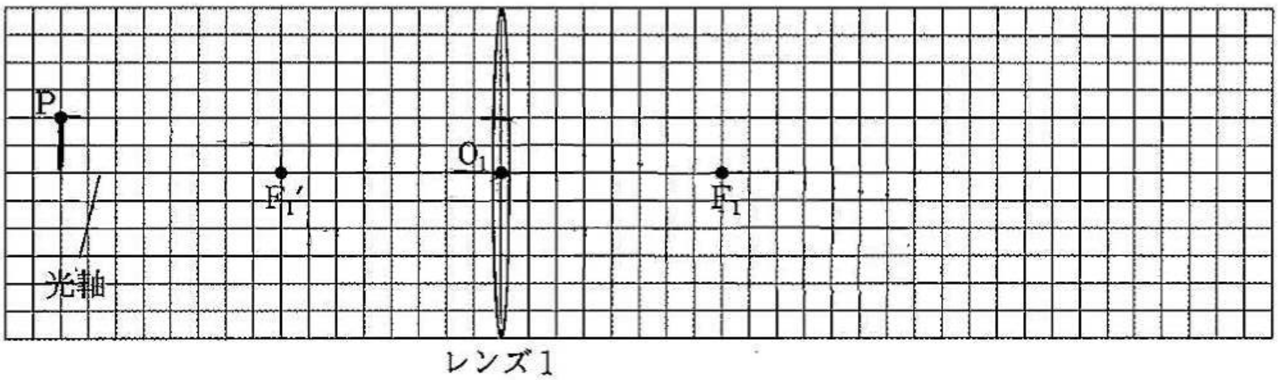


図3

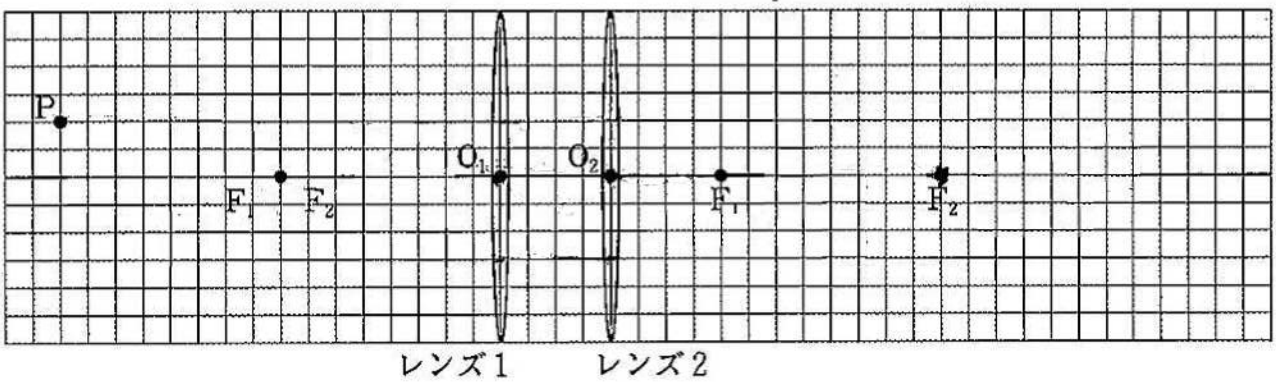


図4

3．文中の空所 $\boxed{\text{ニ}}$ ～ $\boxed{\text{ト}}$ にあてはまる数値を，それぞれ対応する a ～ f から1つずつ選び，その記号をマークせよ。

$\boxed{\text{ニ}}$	a．2	b．4	c．6	d．8	e．12	f．16
$\boxed{\text{ホ}}$	a．0	b．0.25	c．0.5	d．1	e．1.5	f．2
$\boxed{\text{ヘ}}$	a．1	b．2	c．3	d．4	e．8	f．12
$\boxed{\text{ト}}$	a．0	b．0.25	c．0.5	d．1	e．2	f．3