21 B

理　　科

理科は 物　理 化　学 生　物 のうち２科目を選択受験のこと。

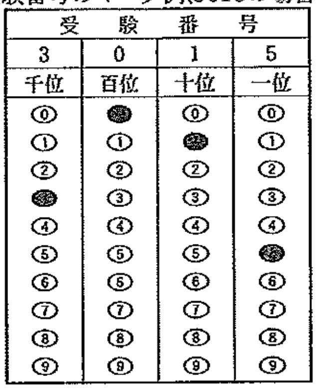
物　理 …… 1頁　化　学 ……14頁　生　物 ……31頁

解答はマークシート及び解答用紙に記入すること。

〔注　意　事　項〕

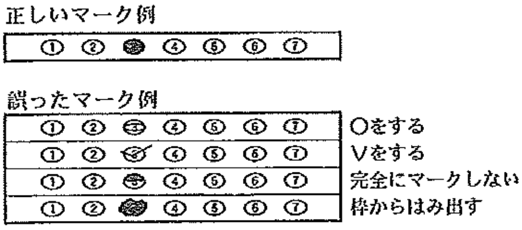
1. 監督者の指示があるまでは，この問題冊子を開かないこと。
2. マークシートは，コンピュータで処理するので，折り曲げたり汚したりしないこと。
3. マークシートに，氏名・受験番号を記入し，科目選択・受験番号をマークする。マークがない場合や誤って記入した場合の答案は無効となる。

受験番号のマーク例(3015の場合)



4. マークシートにマークするときは，HBまたはBの黒鉛筆を用いること。誤ってマークした場合には，消しゴムで丁寧（ていねい）に消し，消しくずを完全に取り除いたうえで，新たにマークし直すこと。
5. 下記の例に従い，正しくマークすること。

（例えば3と答えたいとき）



6. 各科目とも基本的に正解は一つであるが，科目によっては二つ以上解答を求めている場合があるので設問をよく読み解答すること。
7. 解答用紙は所定の位置に記入すること。

物　　理

I　以下の問題(第１問～第３問)の答えをマークシートに記せ。

第１問　次の問い(問１～問５)に答えよ。〔解答番号 $\boxed{1}$ ～ $\boxed{8}$ 〕

問１　質量 m の一様な棒が，その一端にとりつけられた糸で固定点からつるされている。この棒の下端に水平方向に力 F を加え，つり合いの状態に保ったところ，図１のように，棒と鉛直線の間の角度が θ になった。g を重力加速度の大きさとして，下の問い((a)，(b))に答えよ。

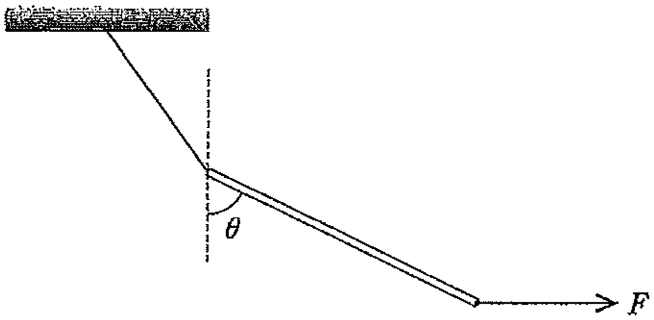


図１

(a)　水平方向に加えた力 F の大きさはいくらか。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。 $\boxed{1}$

① $\dfrac{mg}{2}\sin\theta$　② $\dfrac{mg}{2}\cos\theta$　③ $\dfrac{mg}{2}\cot\theta$　④ $\dfrac{mg}{2}\tan\theta$

⑤ $mg\sin\theta$　⑥ $mg\cos\theta$　⑦ $mg\cot\theta$　⑧ $mg\tan\theta$

(b)　糸が棒を引く力の大きさはいくらか。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。 $\boxed{2}$

① $mg\sqrt{1+\sin^2\theta}$　② $mg\sqrt{1+\cos^2\theta}$　③ $mg\sqrt{1+\cot^2\theta}$

④ $mg\sqrt{1+\tan^2\theta}$　⑤ $mg\sqrt{1+\dfrac{\sin^2\theta}{4}}$　⑥ $mg\sqrt{1+\dfrac{\cos^2\theta}{4}}$

⑦ $mg\sqrt{1+\dfrac{\cot^2\theta}{4}}$　⑧ $mg\sqrt{1+\dfrac{\tan^2\theta}{4}}$

◇M9(661—96)

問 2　なめらかな水平面上で，静止していた質量 $2m$ の物体Aに，速さ v で進んできた質量 m の物体Bが弾性衝突した。衝突後，A，Bは図2のようにBの進んできた向きに対して，Aは左に角度 θ，Bは右に角度 θ でそれぞれ進んだ。$\cos\theta$ はいくらか。正しいものを，下の①～⑨のうちから一つ選べ。

$\cos\theta = \boxed{\ 3\ }$

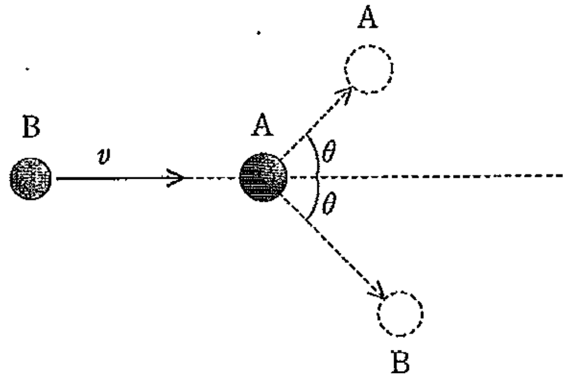


図 2

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

⑥ $\dfrac{\sqrt{5}}{3}$　⑦ $\dfrac{\sqrt{6}}{4}$　⑧ $\dfrac{\sqrt{6}}{3}$　⑨ $\dfrac{\sqrt{3}}{2}$

問 3　分子が2個以上の原子からなる気体(多原子分子気体)では，定積モル比熱と定圧モル比熱の比が，単原子分子の理想気体とは異なる値になる。いま，円筒容器に入った多原子分子の理想気体があり，容器内の気体の圧力と容器外の大気圧はともに 1.0×10^5 Pa であった。容器内の気体に 200 J の熱を加えたところ，自由に動けるピストンが動いて，容器内の気体の体積が 5.0×10^{-4} m^3 増加した。このとき，次の問い((a)，(b))に答えよ。

(a)　容器内の気体の内部エネルギーの増加はいくらか。最も近い値を，次の①～⑧のうちから一つ選べ。$\boxed{\ 4\ }$ J

① 0　② 50　③ 100　④ 150

⑤ 200　⑥ 250　⑦ 300　⑧ 350

(b)　容器内の気体の定圧モル比熱は，定積モル比熱の何倍か。最も近い値を，次の①～⑥のうちから一つ選べ。$\boxed{\ 5\ }$ 倍

① 1.1　② 1.3　③ 1.5　④ 1.7　⑤ 1.9　⑥ 2.1

問 4　図3のように，$x-y$ 平面上の点A(0，$2r$)に電気量 $2q$ ($q>0$)の点電荷，点B($-\sqrt{3}r$，$-r$)に電気量 $-q$ の点電荷，点C($\sqrt{3}r$，$-r$)に電気量 $-q$ の点電荷を固定した。クーロンの法則の比例定数を k として，下の問い((a)，(b))に答えよ。

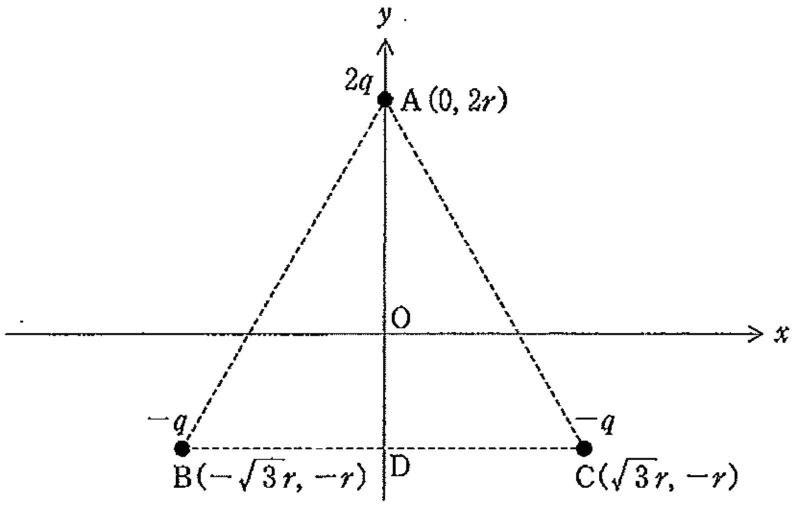


図3

(a)　原点Oでの電界の y 成分は，$k\dfrac{q}{r^2}$ の何倍か。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。 $\boxed{\quad 6 \quad}$ 倍

① $-\dfrac{1}{4}$　② $-\dfrac{1}{2}$　③ $-\dfrac{3}{4}$

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

⑦ $-\dfrac{\sqrt{3}+1}{4}$　⑧ $-\dfrac{\sqrt{3}+2}{4}$

(b)　2点B，Cをむすぶ線分BCの中点をDとする。原点Oから点Dまで電気量 $-q$ の電荷を動かすのに必要な仕事は，$k\dfrac{q^2}{r}$ の何倍か。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。 $\boxed{\quad 7 \quad}$ 倍

① $\dfrac{2-\sqrt{3}}{3}$　② $\dfrac{\sqrt{3}-1}{3}$　③ $\dfrac{1}{3}$

④ $\dfrac{\sqrt{3}}{3}$　⑤ $\dfrac{2(2-\sqrt{3})}{3}$　⑥ $\dfrac{2(\sqrt{3}-1)}{3}$

⑦ $\dfrac{2}{3}$　⑧ $\dfrac{2\sqrt{3}}{3}$

問 5　図4は，ある電気素子にかけた電圧と流れる電流の関係(電流電圧特性)を表したグラフである。図5のように，この電気素子を2個並列にして，電圧4.5Vの電源と25Ωの抵抗と電流計を接続した。電流計に流れる電流はいくらか。電流計の抵抗はないものとして，最も近い値を，下の①～⑩のうちから一つ選べ。 $\boxed{\ 8\ }$ mA

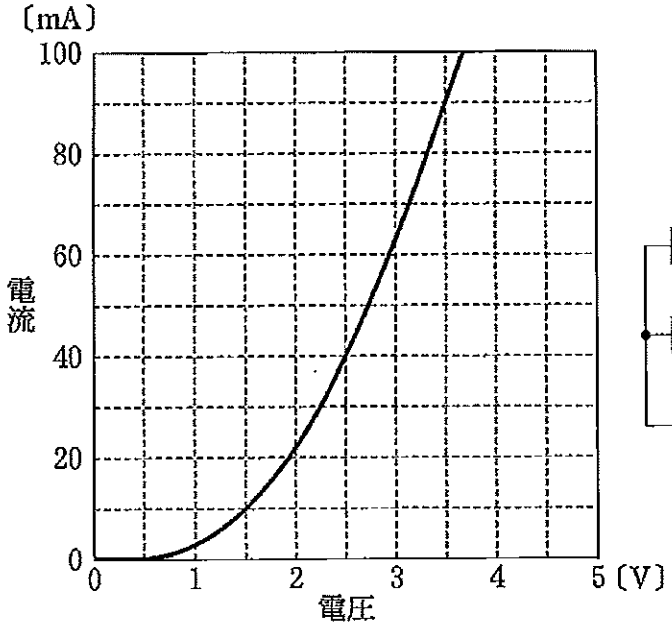


図4

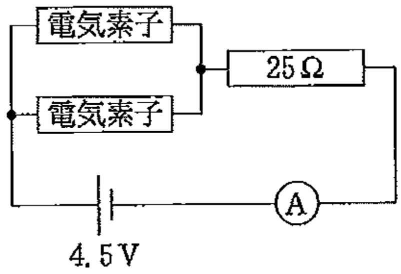


図5

① 10	② 20	③ 30	④ 40	⑤ 50
⑥ 60	⑦ 70	⑧ 80	⑨ 90	⑩ 100

第2問 波のドップラー効果について，次の問い(問1，問2)に答えよ。〔解答番号 $\boxed{1}$ ～ $\boxed{7}$ 〕

問1 音源が周囲に音を出しながら，音速 V より遅い速さ v で等速直線運動をしている。音源が位置Bを通過したときの音を，音源の進行方向からはずれた位置Aで聞くときのドップラー効果を考えてみよう。図1のようにAとBの距離は L であり，Bから見てAは音源の進行方向と角度 θ の方向にあるとして，下の問い((a)，(b))に答えよ。

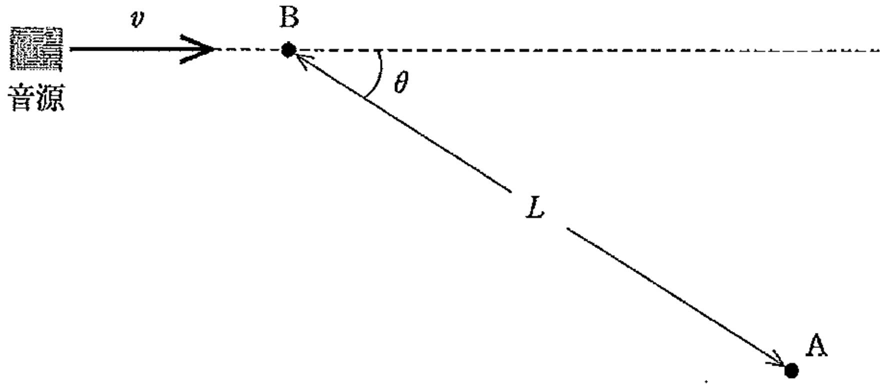


図1

(a) 音源がBを通過したときに出す音と，Bを通過してから1周期後に出す音が，Aに到達する時刻をそれぞれ t，t' とする。音源の振動数を f とし，v/L が f に比べてじゅうぶんに小さいとき，時刻の差 $t'-t$ はいくらか。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし，必要ならば，$|x|$ が1に比べてじゅうぶん小さいとき，$\sqrt{1+x+bx^2} \fallingdotseq 1+\frac{1}{2}x$ と近似してよい。

$t'-t = \boxed{1}$

① $\dfrac{V-v}{fV}$　② $\dfrac{V}{f(V-v)}$　③ $\dfrac{V-v}{f(V+v)}$

④ $\dfrac{V+v}{f(V-v)}$　⑤ $\dfrac{V-v\sin\theta}{fV}$　⑥ $\dfrac{V+v\sin\theta}{fV}$

⑦ $\dfrac{V-v\cos\theta}{fV}$　⑧ $\dfrac{V+v\cos\theta}{fV}$

(b) Aで聞く音の波長は，静止している音源が出す音の波長の何倍になるか。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。 $\boxed{2}$ 倍

① $\dfrac{V - v\sin\theta}{V}$　② $\dfrac{V + v\sin\theta}{V}$　③ $\dfrac{V}{V - v\sin\theta}$

④ $\dfrac{V}{V + v\sin\theta}$　⑤ $\dfrac{V - v\cos\theta}{V}$　⑥ $\dfrac{V + v\cos\theta}{V}$

⑦ $\dfrac{V}{V - v\cos\theta}$　⑧ $\dfrac{V}{V + v\cos\theta}$

問 2 空に見える星を詳しく観測していると，近くの星と比較して周期的にわずかに動いている星が発見されることがある。星の観測者に対する速さは光のドップラー効果を使って求めることができる。

図2のように，星Aは，星Bを中心とした円軌道上を公転しており，また星Bは観測者から見て等速度で運動しているとしよう。2つの星は観測者から非常に遠くにあり，また星Aの軌道面上に観測者がいるとすると，図3のように星Aはp点とq点を結ぶ直線上を周期 T で振動しているように見える。星Aが出す波長 λ の光を観測したところ，p点では λ_p，q点では λ_q に波長がずれて観測され，$\lambda_q > \lambda > \lambda_p$ であった。光源の速さが光の速さに比べてじゅうぶんに小さい場合には，光のドップラー効果も音の場合と同じように考えることができる。光の速さを c として，下の問い((a)～(d))に答えよ。

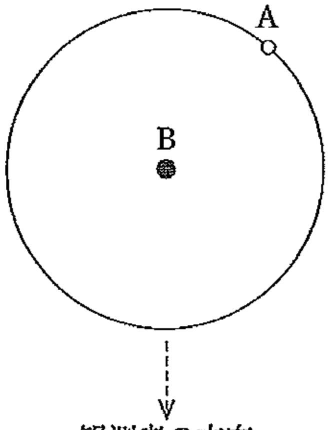


図2

図3

(a) 星Aの速度の観測者方向の成分は，pの位置に来たときv_p，qの位置に来たときv_qとする。ただし，速度の成分はAから観測者に向かう向きを正とする。星Bの速度の観測者方向の成分は，v_pとv_qを用いるとどのように表されるか。正しいものを，次の①～⑨のうちから一つ選べ。 $\boxed{\quad 3 \quad}$

① $\dfrac{v_p - v_q}{2}$　② $\dfrac{v_q - v_p}{2}$　③ $\dfrac{v_p + v_q}{2}$

④ $v_p - v_q$　⑤ $v_q - v_p$　⑥ $v_p + v_q$

⑦ $2(v_p - v_q)$　⑧ $2(v_q - v_p)$　⑨ $2(v_p + v_q)$

(b) 星Aの公転運動の半径はv_p，v_q，Tを用いるとどのように表されるか。正しいものを，次の①～⑨のうちから一つ選べ。 $\boxed{\quad 4 \quad}$

① $\dfrac{v_p - v_q}{4\pi}T$　② $\dfrac{v_q - v_p}{4\pi}T$　③ $\dfrac{v_p + v_q}{4\pi}T$

④ $\dfrac{v_p - v_q}{2\pi}T$　⑤ $\dfrac{v_q - v_p}{2\pi}T$　⑥ $\dfrac{v_p + v_q}{2\pi}T$

⑦ $\dfrac{v_p - v_q}{\pi}T$　⑧ $\dfrac{v_q - v_p}{\pi}T$　⑨ $\dfrac{v_p + v_q}{\pi}T$

(c) 観測された波長を用いると，v_p，v_qはどのように表すことができるか。正しいものを，次の①～⑥のうちから一つずつ選べ。

$v_p = \boxed{\quad 5 \quad}$

$v_q = \boxed{\quad 6 \quad}$

① $\dfrac{\lambda_p - \lambda}{\lambda}c$　② $\dfrac{\lambda - \lambda_p}{\lambda}c$　③ $\dfrac{\lambda_q - \lambda}{\lambda}c$

④ $\dfrac{\lambda - \lambda_q}{\lambda}c$　⑤ $\dfrac{\lambda_p - \lambda_q}{\lambda}c$　⑥ $\dfrac{\lambda_q - \lambda_p}{\lambda}c$

(d) このように星Aから出る光のドップラー効果を用いると，v_p，v_qが観測された波長で表され，星Aの公転運動の速さと半径がわかる。万有引力定数をGとすると，星Bの質量はいくらか。正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。 $\boxed{\quad 7 \quad}$

① $\dfrac{c^3T}{2\pi G}\left(\dfrac{\lambda_p + \lambda_q}{\lambda}\right)^3$　② $\dfrac{c^3T}{2\pi G}\left(\dfrac{\lambda_q - \lambda_p}{\lambda}\right)^3$

③ $\dfrac{c^3T}{8\pi G}\left(\dfrac{\lambda_p + \lambda_q}{\lambda}\right)^3$　④ $\dfrac{c^3T}{8\pi G}\left(\dfrac{\lambda_q - \lambda_p}{\lambda}\right)^3$

⑤ $\dfrac{c^3T}{16\pi G}\left(\dfrac{\lambda_p + \lambda_q}{\lambda}\right)^3$　⑥ $\dfrac{c^3T}{16\pi G}\left(\dfrac{\lambda_q - \lambda_p}{\lambda}\right)^3$

第3問 回路を貫く磁束が時間的に変化するとき，回路に生じる誘導起電力は，ファラデーの電磁誘導の法則から求めることができる。回路を貫く磁束の変化は，磁界が時間的に変化するときや，磁界に対して回路が運動するときにおこる。このうち，回路の一部分である導体が運動する場合には，ファラデーの電磁誘導の法則から求めた誘導起電力を，導体中の自由電子にはたらくローレンツ力によって説明することができる。これに関連した次の問い(問1～問3)に答えよ。〔解答番号 $\boxed{\ 1\ }$ ～ $\boxed{\ 7\ }$〕

問 1 回路につながっていない導体棒が磁界中を運動するときに生じる誘導起電力も，磁界からのローレンツ力を受けた電子の運動から求めることができる。図1のように，磁束密度 B の一様な磁界中を，孤立した導体棒が，磁界に垂直に速さ v で運動している。導体棒の中の自由電子は，棒とともに速さ v で動くことによってローレンツ力を受け，棒の一方の端へ移動する。そして，電子が過剰になった端は負に帯電し，逆にもう一方の端は電子が不足して正に帯電するので，一端から他端に向かう電界が導体棒中に生じる。速さ v で運動している導体棒中で電子の移動が止まり定常状態になったとき，この電界の強さはいくらか。正しいものを，下の①～⑧のうちから一つ選べ。$\boxed{\ 1\ }$

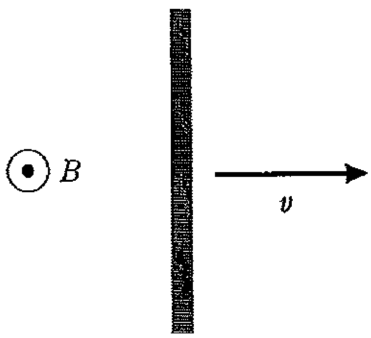


図1

① $\dfrac{v}{B}$　② $\dfrac{v^2}{B}$　③ $\dfrac{B}{v}$　④ $\dfrac{B^2}{v}$

⑤ vB　⑥ v^2B　⑦ vB^2　⑧ v^2B^2

問 2　この電界によって導体棒の両端には電位差が発生するので，磁界を横切る導体棒の両端には誘導起電力が生じることがわかる。こんどは，図 2 のように，鉛直な z 軸のまわりに自由に回転できる，直角に折れ曲がった細い導体 ABCDEF があり，この導体は変形しないとしよう。BC と DE の長さはともに a，CD の長さは b で，AB と EF は常に z 軸上にある。この導体 ABCDEF を，y 軸の正の向きにかけられた磁束密度 B の一様な磁界中で，z 軸のまわりに一定の角速度 ω でまわす場合に生じる誘導起電力を問 1 の結果を用いて考えよう。時刻 $t=0$ の瞬間には，図 2 のように，導体 ABCDEF は磁界に垂直な x－z 平面内(このとき CD は $x=-a$ の位置で x 軸と交わる)にあったとする。時刻 t において，C に対する B の電位，および D に対する C の電位はそれぞれいくらか。正しいものを，下の①～⑬のうちから一つずつ選べ。

C に対する B の電位は $\boxed{\quad 2 \quad}$

D に対する C の電位は $\boxed{\quad 3 \quad}$

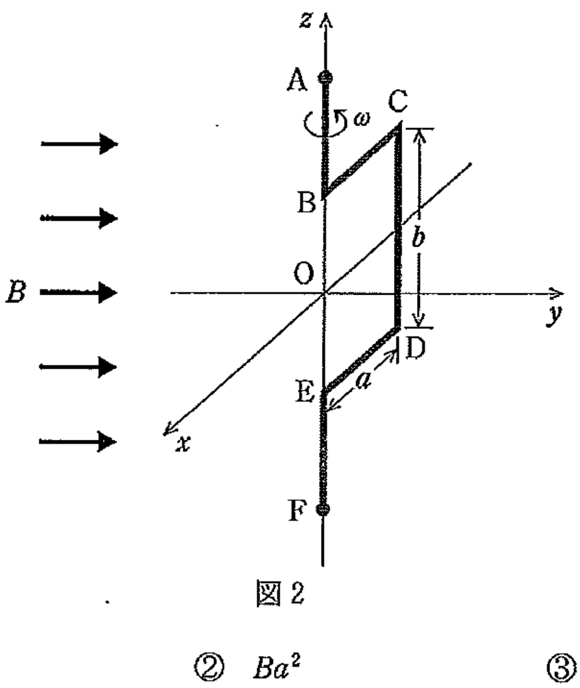


図 2

① 0	② Ba^2	③ Bab
④ $Ba^2\omega$	⑤ $Bab\omega$	⑥ $Ba^2\cos\omega t$
⑦ $Bab\cos\omega t$	⑧ $Ba^2\omega\cos\omega t$	⑨ $Bab\omega\cos\omega t$
⑩ $Ba^2\sin\omega t$	⑪ $Bab\sin\omega t$	⑫ $Ba^2\omega\sin\omega t$
⑬ $Bab\omega\sin\omega t$		

問 3　いま，問 2 で，導体 ABCDEF の両端 A と F が，導線で外部の抵抗(抵抗値 R)につながれていたとしよう(図 3)。ただし，A，F と導線が接触している部分の摩擦，外部の抵抗以外の電気抵抗は無視できるとする。また，回路を流れる電流によって図 3 の磁界は変化しないとして，下の問い((a)～(c))に答えよ。

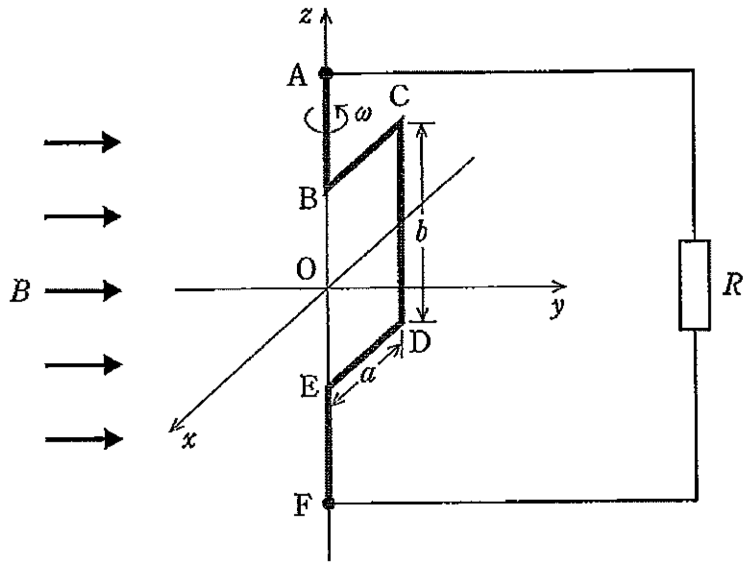


図 3

(a)　時刻 t に外部の抵抗を流れる電流はどのように表されるか。正しいものを，次の①～⑫のうちから一つ選べ。ただし，電流は，図 3 の抵抗を下向きに流れる場合を正とする。 $\boxed{4}$

① $-\dfrac{Bab}{R}$　② $-\dfrac{Bab}{R}\cos\omega t$　③ $-\dfrac{Bab}{R}\sin\omega t$

④ $-\dfrac{Bab\omega}{R}$　⑤ $-\dfrac{Bab\omega}{R}\cos\omega t$　⑥ $-\dfrac{Bab\omega}{R}\sin\omega t$

⑦ $\dfrac{Bab}{R}$　⑧ $\dfrac{Bab}{R}\cos\omega t$　⑨ $\dfrac{Bab}{R}\sin\omega t$

⑩ $\dfrac{Bab\omega}{R}$　⑪ $\dfrac{Bab\omega}{R}\cos\omega t$　⑫ $\dfrac{Bab\omega}{R}\sin\omega t$

(b) 時刻 $t=\dfrac{\pi}{4\omega}$ において，CD および DE の部分が磁界から受ける力の大きさはそれぞれいくらか。正しいものを，次の①～⑬のうちから一つずつ選べ。

CD 部分が磁界から受ける力の大きさは $\boxed{\ 5\ }$

DE 部分が磁界から受ける力の大きさは $\boxed{\ 6\ }$

① $\dfrac{B^2a^2b}{2R}$　② $\dfrac{B^2a^2b}{\sqrt{2}R}$　③ $\dfrac{B^2a^2b}{R}$　④ $\dfrac{B^2ab^2}{2R}$

⑤ $\dfrac{B^2ab^2}{\sqrt{2}R}$　⑥ $\dfrac{B^2ab^2}{R}$　⑦ $\dfrac{B^2a^2b\omega}{2R}$　⑧ $\dfrac{B^2a^2b\omega}{\sqrt{2}R}$

⑨ $\dfrac{B^2a^2b\omega}{R}$　⑩ $\dfrac{B^2ab^2\omega}{2R}$　⑪ $\dfrac{B^2ab^2\omega}{\sqrt{2}R}$　⑫ $\dfrac{B^2ab^2\omega}{R}$

⑬ 0

(c) 導体 ABCDEF を一定の角速度 ω で，z 軸のまわりに 1 回転させるために加えなければならない仕事はいくらか。正しいものを，次の①～⑦のうちから一つ選べ。 $\boxed{\ 7\ }$

① $\pi\dfrac{B^2a^2b^2}{R}$　② $\sqrt{2}\pi\dfrac{B^2a^2b^2}{R}$　③ $2\pi\dfrac{B^2a^2b^2}{R}$

④ $\pi\dfrac{B^2a^2b^2\omega}{R}$　⑤ $\sqrt{2}\pi\dfrac{B^2a^2b^2\omega}{R}$　⑥ $2\pi\dfrac{B^2a^2b^2\omega}{R}$

⑦ 0

Ⅱ 次の問いに答えよ。解答用紙の所定の欄には，結果だけでなく考え方と途中の式も示せ。

図1のように，一端に質量 m の物体Aをつけたばねを水平面上におき，他端を固定する。Aの位置を決めるときには大きさを無視してよいものとして，ばねが自然の長さのときのAの位置を原点Oとし，ばねの伸びる向きに x 軸の正の向きをとる。ばね定数を k，重力加速度の大きさを g，Aと水平面の間の静止摩擦係数を μ，動摩擦係数を μ' として，下の問い(問1，問2)に答えよ。ただし，$\mu' < \mu$ とする。

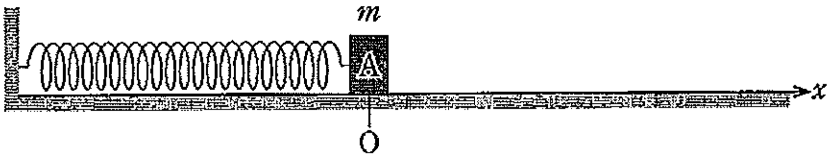


図1

問1　図2のように，ばねを自然の長さから距離 d だけ伸ばして，Aの x 座標が d の位置で静かに手を放したところ，Aは水平面上をすべり始めた。下の問い((a)〜(d))に答えよ。

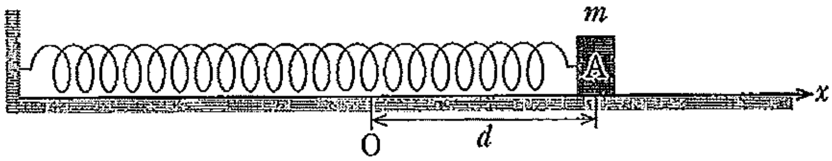


図2

(a)　Aが x 軸の負の向きに運動しているときに，座標が x の位置でAにはたらいている力の x 成分を求めよ。

(b)　この力の x 成分が0になる位置の x 座標を求めよ。

(c)　すべり始めてから，ばねの長さが最も短くなり，Aの速度が0になるときまでの時間を求めよ。

(d)　ばねの長さが最も短くなり，Aの速度が0になったときのAの x 座標を求めよ。

問 2　A はばねが最も縮んだ位置で運動の向きを変え，x 軸の正の向きに運動を続けた。次の問い((a)〜(c))に答えよ。

(a)　A が問 1 (d)の位置で静止摩擦力のために静止せずに，x 軸の正の向きに運動するためには，d はある値 d_1 より大きくなければならない。d_1 を求めよ。

(b)　A が x 軸の正の向きに運動しているときに，A にはたらく力の x 成分が 0 になる位置の x 座標を求めよ。

(c)　A はばねの伸びとともに x 軸の正の向きに運動し，ある位置で再び速度が 0 になった。すべり始めてからこのときまでに失われた力学的エネルギーを求めよ。