

[I] 次の文中の空欄 (ア) ~ (コ) にあてはまる式を解答用紙 (一) の該当する欄に記入せよ。ただし、重力加速度の大きさを g とする。

図 1 のように、一端が壁に固定されたばね定数 k のばねの他端に付けられた質量 m の小物体 A が、水平なコンベアベルト上面にのっている。ばねが自然長のときの A の位置を原点 O として、ベルト上面に沿って壁から A の向きに x 軸をとる。ベルトと A の間の動摩擦係数を μ' とする。静止しているベルト上で A を $x = a$ の位置まで移動させ静かに放したところ、 x 軸負の向きに位置 $x = \boxed{\text{(ア)}}$ まですべて静止したままとなった。この運動の途中での A の速さの最大値は $\boxed{\text{(イ)}}$ である。

つぎに、図 2 のように、ベルト上面が x 軸正の向きに一定の速さで動くように駆動した。小物体 A を $x = a$ の位置まで移動させ静かに放したところ、A はベルト上を常にすべて单振動をした。この振動の中心位置は $x = \boxed{\text{(ウ)}}$ であり、周期は $\boxed{\text{(エ)}}$ である。ばねが最も縮んだ位置から最も伸びた位置まで A が移動する間に動摩擦力が A にする仕事は $\boxed{\text{(オ)}}$ 、ばねが最も伸びた状態と最も縮んだ状態のばねの弾性力による位置エネルギーの差は $\boxed{\text{(カ)}}$ である。

ベルトの駆動をそのままにして、今度は小物体 A を $x = b$ ($b > a$) の位置まで移動させ静かに放したところ、 x 軸負の向きにすべり出し、すべりながら正の向きに運動を反転し、ある位置でベルトの上面と同じ速度となり運ばれ始めた。その後、図 3 のように、A はベルトに運ばれて $x = x_1$ の位置 P に達したときすべり始めた。ベルトと A の間の静止摩擦係数は $\boxed{\text{(キ)}}$ である。すべり始めた後、 $x = x_2$ の位置 Q で A の運動の向きが反転した。これよりベルトの上面の速さが $\boxed{\text{(ク)}}$ であることがわかる。

小物体 A は位置 Q で運動が反転した後、ベルトから動摩擦力を受けながら負の向きにすべる。その後、A は位置 R で運動の向きが反転し正の向きにすべり始め、位置 S でベルトの上面と同じ速度となり運ばれ始める。その後、位置 P に達したとき再びすべり始め、以降は周期的にこれらの運動を繰り返す。区間 P から Q へと R から S へ A がベルト上をすべっている間に動摩擦力が A にする仕事の和は $\boxed{\text{(ケ)}}$ 、区間 S から P へ A がベルトで運ばれる間に静止摩擦力が A にする仕事は $\boxed{\text{(コ)}}$ である。このように、A はベルトとの間でエネルギーをやりとりしながら、周期的な運動をしているのである。

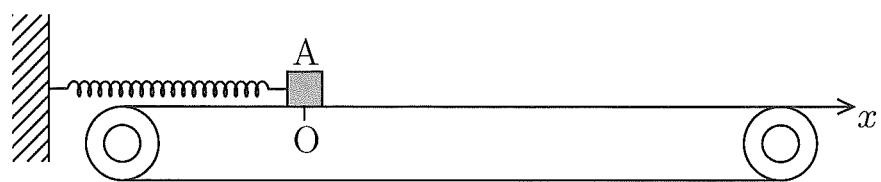


図 1

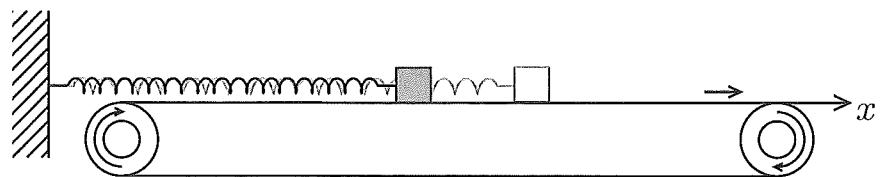


図 2

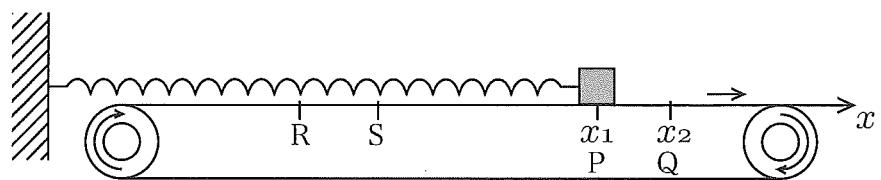


図 3

[II] 次の文中の空欄 (ア) ~ (ク) にあてはまる式を解答用紙 (一) の該当する欄に記入せよ。ただし、单原子分子理想気体の断熱変化では、圧力を p 、体積を V として、 $pV^{5/3} = \text{一定}$ であることを用いてよい。

図1のように、ピストン付き容器 A に单原子分子理想気体を入れ、A を水平な床の上に固定した。ピストンと容器は断熱材でできており、ピストンはなめらかに動くことができる。容器内には熱容量の無視できるヒーターが取り付けられており、A 内の気体をゆっくりと加熱することができる。大気圧は p_0 [Pa] である。

はじめ、容器 A 内の気体の圧力は p_0 、温度は T_0 [K]、体積は V_0 [m^3] であった。ヒーターの電源を入れ、A 内の気体の体積が V_1 [m^3] となったときヒーターの電源を切った。電源を切った直後の A 内の気体の温度は (ア) [K] である。電源を入れてから切るまでの間に、A 内の気体が外部にした仕事は (イ) [J] であり、A 内の気体がヒーターから得た熱量は (ウ) [J] である。

再び、容器 A 内の気体の圧力を p_0 、温度を T_0 、体積を V_0 とした。この状態からピストンを手でゆっくりと右に動かし、A 内の気体の体積が V_1 となつたときピストンを動かすのをやめて、その位置にピストンを固定した。ピストンを動かすのをやめた直後の A 内の気体の圧力は (エ) [Pa] である。その後、ピストンを固定したままヒーターの電源を入れ、A 内の気体の圧力が p_0 となつたときヒーターの電源を切った。A 内の気体がヒーターから得た熱量は (オ) [J] である。

つぎに、図2のように、容器 A と同じピストン付き容器 B にも单原子分子理想気体を入れ、A と B のピストンをつないで A と B を水平な床の上に固定した。A 内の気体と B 内の気体はいずれも圧力が p_0 、温度が T_0 、体積が V_0 であった。ヒーターの電源を入れ、A 内の気体の体積が V_1 となつたときヒーターの電源を切った。電源を切った直後の A 内の気体の圧力は (カ) [Pa] であり、A 内の気体の温度は B 内の気体の温度の (キ) 倍である。A 内の気体が外部にした仕事は (ク) [J] である。

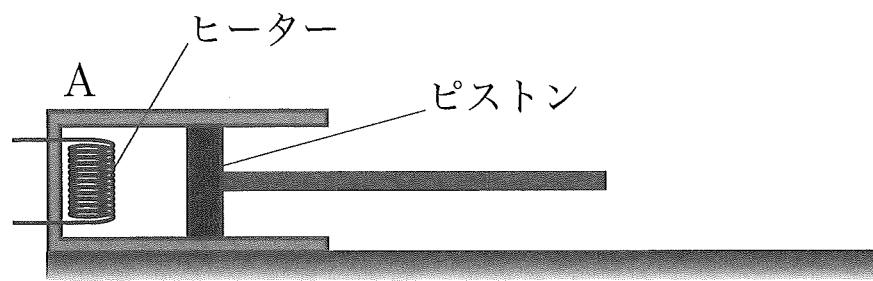


図 1

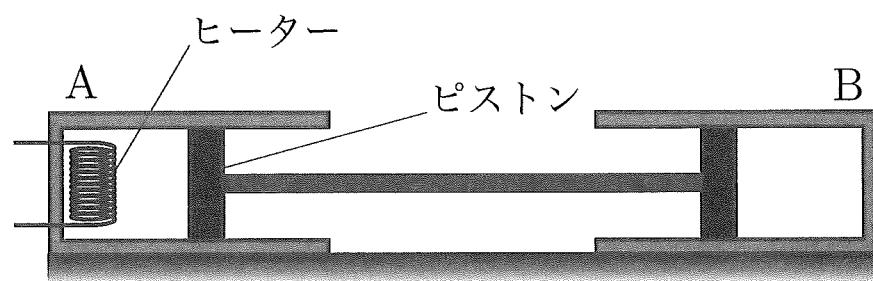


図 2

[III] 次の文中の空欄 (ア) ~ (ク) にあてはまる式を解答用紙 (二) の該当する欄に記入せよ。また、解答用紙 (二) の解答図 (III-A) と (III-B) には適切なグラフの概形を描け。

図 1 のように、断面積 S_1 [m²] の円柱状の鉄心を 2 つ用意し、一方に長さ ℓ_1 [m], 卷数 N_1 回のコイル A を巻き、他方に長さ ℓ_2 [m], 卷数 N_2 回のコイル B を巻いて、鉄心の軸を一致させて少しだけ離しておいた。ここで、 ℓ_1 と ℓ_2 は鉄心の半径に比べて十分に長いとする。鉄心の間を取り囲むように半径 a_1 [m]、抵抗 R [Ω] の円形コイル C を鉄心の軸が C の中心の位置で垂直に横切るようにおいた。いま、図 2 のように、A に流れる電流を 0 から増加させて時刻 t_1 [s] のとき I_1 [A] となり、その後の時刻 t_2 [s] まで一定となるように変化させた。A を貫く磁束はこの電流値に比例し、その比例定数を k [Wb/A] とする。鉄心の透磁率は (ア) [H/m] と表される。時刻 T [s] ($0 < T < t_1$)において、A に蓄えられているエネルギーは (イ) [J] であり、A と B を貫く磁束が等しいとすると、B に生じる誘導起電力の大きさは (ウ) [V] となる。コイル C を垂直に貫く磁束は A や B を貫く磁束に等しいとすると、 T において C を流れる電流の大きさは (エ) [A] である。この電流を生じさせる誘導起電力は誘導電場によるものである。C の導線に沿った誘導電場の大きさ $E(t)$ [V/m] の時間変化のグラフの概形を解答図 (III-A) に描け。C を貫く磁束の時間変化により、C に沿った電場が生じたと考えることができる。

図 3 のように、面積 S_2 [m²] の金属円板 M および N からなる平行板コンデンサーの極板それぞれに長い直線状の導線 J が接続されている。J を直流電源につなぎ、M と N に蓄えられる電気量の総量を常に 0 に保ちながら、図 4 のように、M に蓄えられる電気量を 0 から増加させて時刻 t_1 のとき Q_1 [C] となり、その後の時刻 t_2 まで一定となるように時間変化させた。時刻 T ($0 < T < t_1$)において、J に流れる電流の大きさは (オ) [A] である。Jを中心とする半径 a_2 [m] の円周 K 上での磁場の大きさ $H(t)$ [A/m] の時間変化のグラフの概形を解答図 (III-B) に描け。M と N の間の電場は一様であり、時刻 T から $T + \Delta T$ [s] ($T < T + \Delta T < t_1$) の間に電場の大きさが ΔE [V/m] だけ変化した。M と N の間の空気の誘電率 ϵ_0 は (カ) [F/m] である。M と N の間のすべての電気力線が、図 3 のように、MN 間を取り囲むように M や N と平行で半径 a_2 の円周 L の円を垂直に貫くとすると、T から $T + \Delta T$ の間に変化した電気力線の本数 ΔN は、 S_2 に比例する形で、(キ) $\times S_2$ 本と表

される。よって、平行板コンデンサーに流れる電流の大きさは、 ϵ_0 , ΔN , ΔT を用いて、(ク) [A] と表される。観測によると K と L に沿った磁場の大きさは等しくなり、L 内を貫く電気力線の本数が時間変化して、L に沿った磁場が生じたと考えることができる。

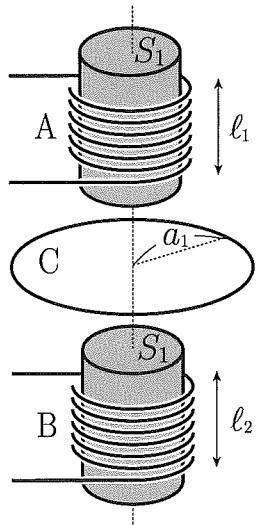


図 1

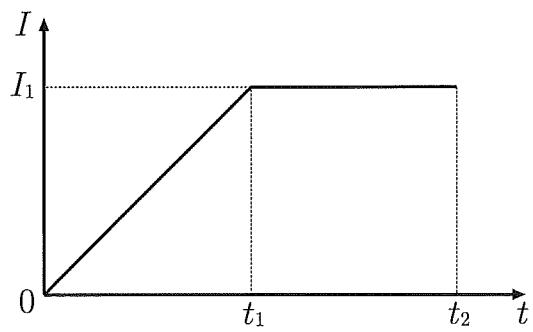


図 2

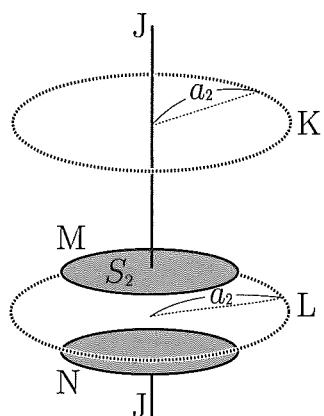


図 3

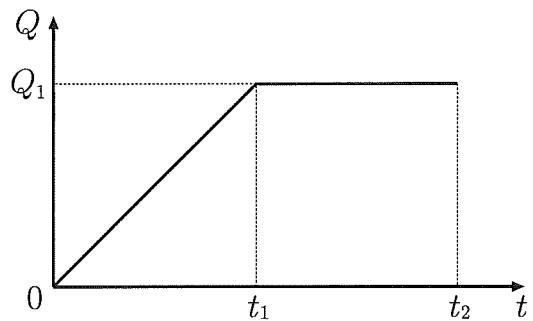


図 4