

[I] 図 I - 1 のように、なめらかで水平な床の上に滑車のついた質量 M の直方体の台車が置かれている。同じ質量 m をもつ物体 A, B を、伸び縮みしない軽い糸でつなぎ、滑車にかけた。物体 B はつねに床に垂直な台車の側面から離れることはなく、なめらかに上下することができる。物体 A と台車の上面の間には摩擦力がはたらき、静止摩擦係数を μ_0 、動摩擦係数を μ ($\mu < \mu_0 < 1$) とする。それ以外、すべての摩擦は無視できる。また、滑車と糸の質量は無視できる。図の右方向を正の向きとし、重力加速度の大きさを g として、以下の設問に答えよ。

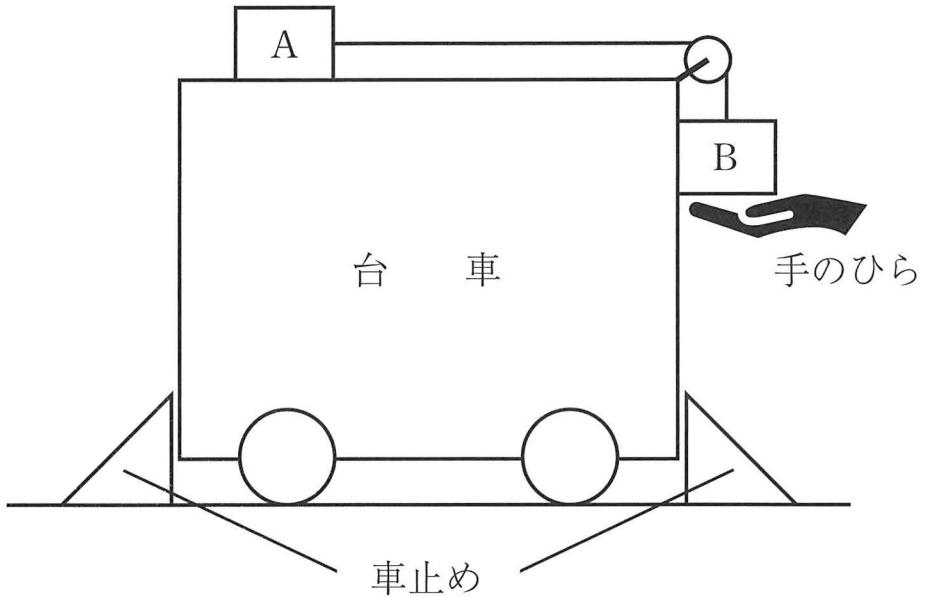


図 I - 1

はじめに、台車には車止めをつけて動かないようにし、物体 B は手のひらで支えられている。

問1 糸がたるみなく張られていて、物体 A にはたらく摩擦力が最大のとき、物体 B が手のひらから受ける垂直抗力の大きさを μ_0 , m , g を用いて表せ。

問2 糸がたるみなく張られているとき、手のひらを静かに取りさったところ、糸はたるまことに物体 A, B が動き出した。このときの物体 A, B の加速度の大きさと糸の張力の大きさを、 μ , m , g のうちから必要なものを用いて表せ。

次に、図 I - 2 のように車止めを外して、台車が左右に動けるようにした。以下の設問では図の右方向を正の向きとして答えよ。

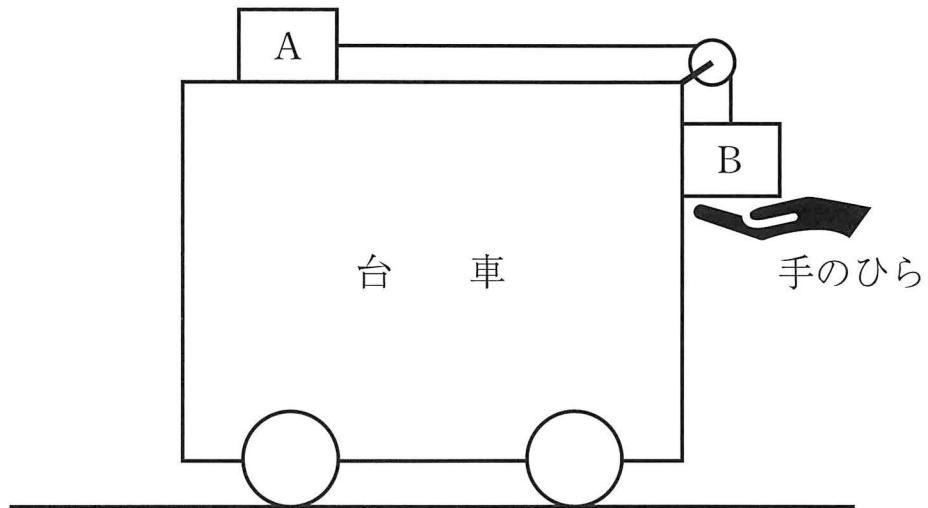


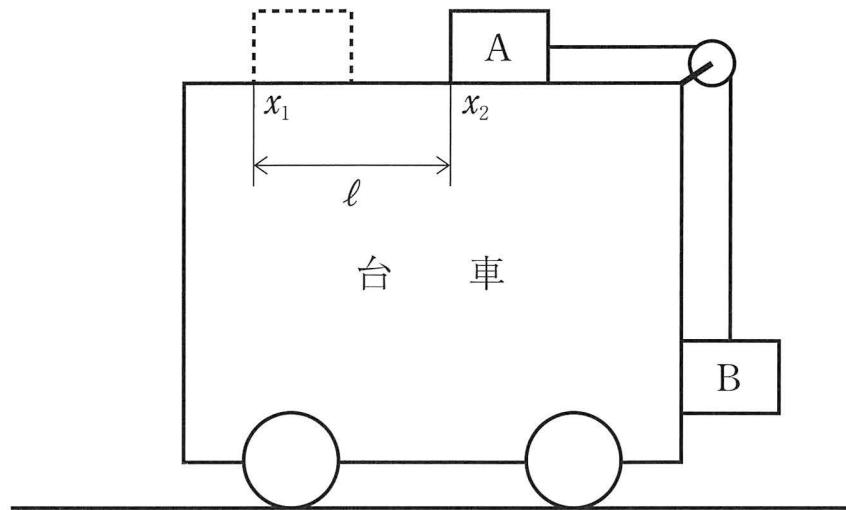
図 I - 2

問3 台車と物体A, Bは静止していて、糸はたるみなく張られている。手のひらを静かに取りさつたところ、台車が動き出した。このとき、台車には滑車を介して糸の張力がはたらいている。台車から見た物体Aの加速度を a 、床の上で静止した人から見た台車の加速度を b とするとき、 b を m , M , a を用いて表せ。

問4 a を μ , m , M , g を用いて表せ。

問5 このとき、物体Bが台車から受ける力の方向と大きさをそれぞれ答えよ。ただし、大きさは μ , m , M , g を用いて表せ。

問6 問3のように、手のひらを取りさると、物体Aは台車上面を移動する。図I-3は、移動の初めの位置 x_1 から x_2 まで、距離 ℓ だけ移動したときの図である。移動した時間を a 、 ℓ を用いて表せ。



図I-3

問7 水平方向について、台車と物体A、Bの運動量の和は保存されている。このことを利用して、物体Aが位置 x_2 にあるときの、床に静止した人から見た物体Aの速度を m 、 M 、 a 、 ℓ を用いて表せ。

問8 物体Aが位置 x_1 から位置 x_2 まで移動する間に、台車はどちらの方向にどれだけ移動したかをそれぞれ答えよ。
ただし、移動距離は m 、 M 、 ℓ を用いて表せ。

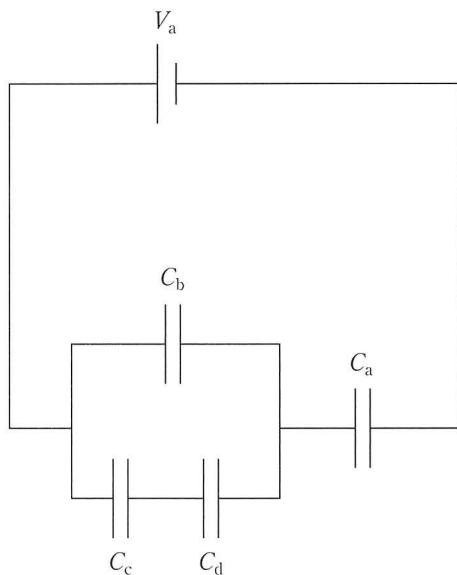
問9 物体Aが位置 x_2 にあるとき、物体A、Bと台車がもっている運動エネルギーの和はいくらか。 μ 、 m 、 g 、 ℓ を用いて表せ。

[Ⅱ] 以下の設問に答えよ。ただし、クーロンの法則の比例定数を k とする。

問1 面積 S の金属板2枚を用いて平行板コンデンサーを作製する。極板間の距離は d とする。両極板にそれぞれ $+Q, -Q$ の電荷を与えたとき、極板間に生じる電位差 V_0 を求めよ。

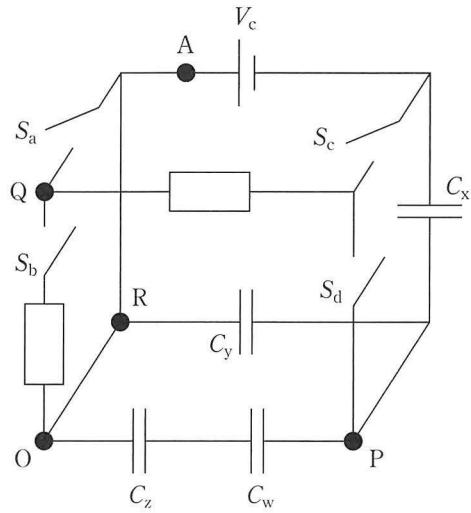
問2 問1の平行板コンデンサーの電気容量 C_0 を k, d, S を用いて表せ。

問3 電気容量 C_0 のコンデンサーを複数用いて、図II-1のような回路を作る。電池の起電力は V_a とする。コンデンサー C_a に蓄えられる電荷 Q_a を、 C_0 と V_a を用いて表せ。また、コンデンサー C_b に生じる電位差 V_b を、 V_a を用いて表せ。



図II-1

次に、図II-2のように一辺の長さが L の立方体の形で構成される回路を作る。各頂点で3本の導線が直角に交わっている。この回路にはスイッチ $S_a \sim S_d$ があり、独立に開閉できる。回路内のコンデンサー（ $C_w \sim C_z$ ）の電気容量はすべて C_0 であり、2つの抵抗の抵抗値はともに R_1 とする。また、電池の起電力は V_c とする。



図II-2

問4 S_a から S_d までの4つのスイッチのうち、いずれか2つのスイッチを同時に投入して、十分な時間が経ったときの、コンデンサー C_x に生じる電位差を比較する。コンデンサー C_x の電位差が最大となるようなスイッチの組み合わせを、以下のⒶ～Ⓑからすべて選び、記号で答えよ。

- | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| Ⓐ S_a と S_b | Ⓑ S_a と S_c | Ⓒ S_a と S_d |
| Ⓓ S_b と S_c | Ⓔ S_b と S_d | Ⓕ S_c と S_d |

問5 S_a から S_d までの4つのスイッチのうち、いずれか2つのスイッチを同時に入れて十分な時間が経ったときの、点Aを流れる電流を比較する。この電流が最大となるようなスイッチの組み合わせを、問4の⑦～⑩からすべて選び記号で答えよ。

問6 S_a から S_d までの4つのスイッチのうち、ひとつを抵抗値 R_1 の抵抗に取り替え、残りのスイッチを同時に入れて十分な時間が経ったときの、点Aを流れる電流を比較する。この電流が最小となるためには、どのスイッチを抵抗に替えれば良いか、 $S_a \sim S_d$ の記号からすべて選び答えよ。

問7 スイッチと抵抗を図II-2の状態に戻す。磁束密度 B の一様な磁場が、点Oから点Qの向きにある場合を考える。回路は動かないように固定されている。いずれか2つのスイッチを同時に入れて十分な時間を経過させる。このとき、回路を回転させるような電磁力が生じている場合がある。このようなスイッチの組み合わせを選び、問4の⑦～⑩の記号で答えよ。さらにこの力について、固定を外した瞬間の重心まわりの力のモーメントの大きさを求めよ。なお、この回路の重心は立方体の中心にあるとする。

[以下余白]