

注) 解答は全て解答用紙に記述すること。

途中式などは省略せず記述をすること。

必修問題

1. 力学の基礎的な物理量について答えよ。

(1) 速度 v の定義式とその次元を記述せよ。

(2) 加速度 a の定義式とその次元を記述せよ。

(3) 力 F は $= F$ と表される。

その次元は である。

(4) (3)の式は運動方程式であり、この式を変形することにより
さまざまな物理量を導くことができる。

(3)の式の両辺に速度 v を掛け、整理すると

$$\frac{d}{dt} \left(\text{①} \right) = \frac{d}{dt} \left(\text{②} \right)$$

となる。

左辺の①の部分は運動エネルギーを右辺の②の部分は
仕事を表している。

(5) また、(3)の式を変形すると

$$\frac{d}{dt} \left(\boxed{\text{③}} \right) = F$$

と表される。

③の部分は運動量である。

③を p とおくと

$$\frac{d}{dt}(p) = F \qquad dp = F dt$$

この左辺 $F dt$ が力積であり、その次元は である。

2. x 軸に沿って運動する質点が $v = 7 + 12t + 6t^2$ に従って運動する。この質点は $t = 0$ [s]における位置は 5 [m] である。

(1) $t = t_1$ における質点の加速度 $a(t_1)$ を求めよ。

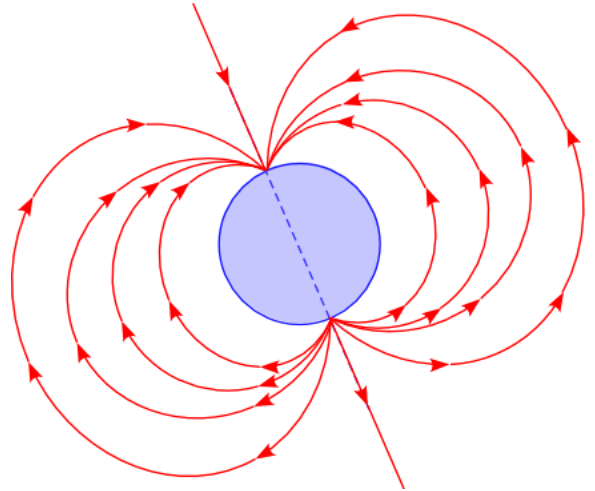
(2) 変位 $x(t)$ を t の関数として表せ。

3. 陽子と電子が 1×10^{-8} [m] 離れた位置にある。

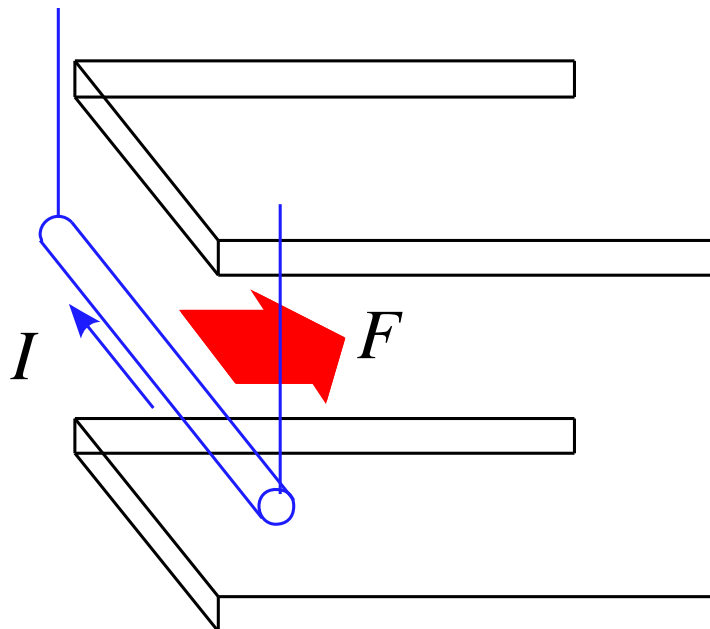
このときの電子と陽子に作用するクーロン力の大きさ $|F|$ を計算し、引力か斥力かを答えよ。

但し、電子の電荷を 1.6×10^{-19} [C]、クーロン定数を 9.0×10^9 [N·m²/C²] とする。

4. 図は地球の磁力線を表したものである。
北極の極性を答えよ。

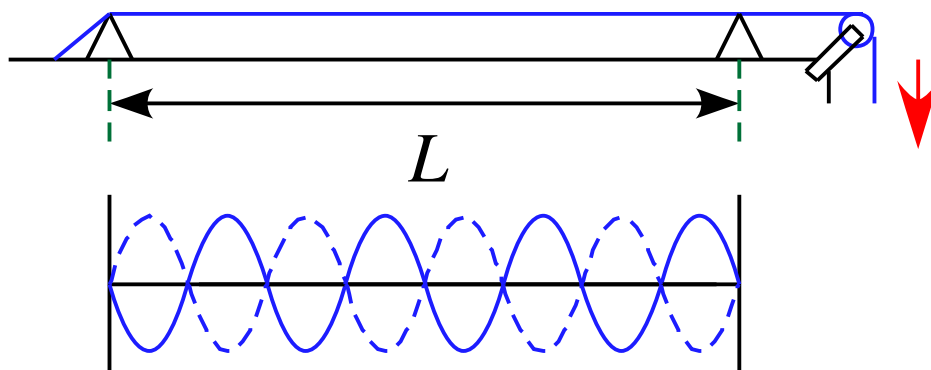


5. 図はU字磁石の一部である。
この磁石の間に導線を設置し、電流を図の矢印の向きに流したところ、太矢印の方向に導線が動いた。
- (1) 磁石の極性をそれぞれ図に書き込め。
- (2) 磁場の向きを図に書き込め。



6. 細いピアノ線を図のように弛まないように設置した。

振動数 f で振動させたところ図のような定常波が観測された。



(1) この定常波の波長 λ を L を用いて表せ。

(2) 弦を伝わる波の速さを v とすると、振動数 f を求めよ。

選択問題 (熱力学) 以下の問題7～9のうち1題を選択して解答せよ。

7. 温度 $100 [^{\circ}\text{C}]$ 、質量 $10 [\text{g}]$ の弾丸が水平方向から速度 $1500 [\text{m/s}]$ で $0 [^{\circ}\text{C}]$ の氷の塊に打ち込まれて止まり、氷が少し溶けた。この時、氷全体は動かなかったものとする。

以下の値を用いて問いに答えなさい。

熱の仕事当量 $4.2 [\text{J/cal}]$ 、弾丸の比熱 $0.030 [\text{cal/g}\cdot\text{K}]$ 、氷の融解熱 $80 [\text{cal/g}]$

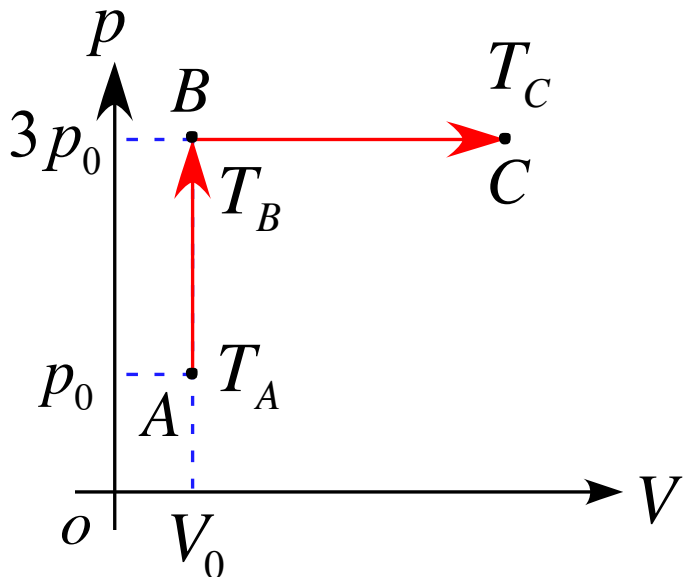
(1) 弾丸の運動エネルギー K を求めなさい。

(2) 弾丸の熱容量 $C_{\text{弾}}$ はいくらか、 $[\text{cal/K}]$ の単位で答えよ。

(3) $100 [^{\circ}\text{C}]$ の弾丸が $0 [^{\circ}\text{C}]$ になるとき、どれだけの熱量を放出するか $[\text{cal}]$ の単位で答えよ。

(4) 弾丸の運動エネルギーが全て熱に変換されたとするととき、弾丸が溶かした氷の質量を求めよ。

8. 1 [mol] の一定量の理想気体を図のように、
状態A → 状態B → 状態C へと変化させた。
以下の問に答えよ。但し、気体状数 R を必要ならば用いてよい。



- (1) 状態Aの絶対温度 T_A を求めよ。
- (2) 状態Bの絶対温度 T_B は T_A の何倍か求めよ。
- (3) 状態Cの絶対温度は $6T_A$ であった。
状態Cの体積は V_0 の何倍か求めよ。

9. ポアソンの状態方程式は

$$TV^{\gamma-1} = \text{const} \quad pV^{\gamma} = \text{const} \quad \gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

で表される。

この式を圧力 p と絶対温度 T で表せ。

選択問題 (力学) 以下の問題10～13のうち2題を選択して解答せよ。

10. 質量 m の物体を自由落下させる。

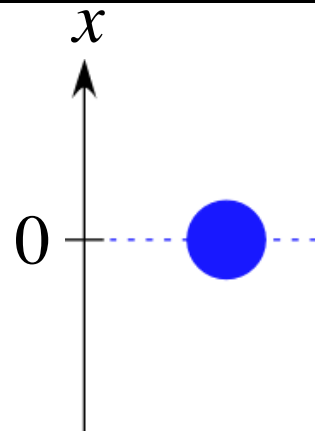
以下の問に答えよ。

但し、重力加速度は g とする。

(1) 物体に作用する力を書き込め。

(2) この運動の運動方程式を記述せよ。

(3) この運動において力学的エネルギーが保存していることを運動方程式から導け。



11. 滑らかな水平面上で、後方に単位時間あたり m_0 の物質を噴出しながら運動する物体がある。

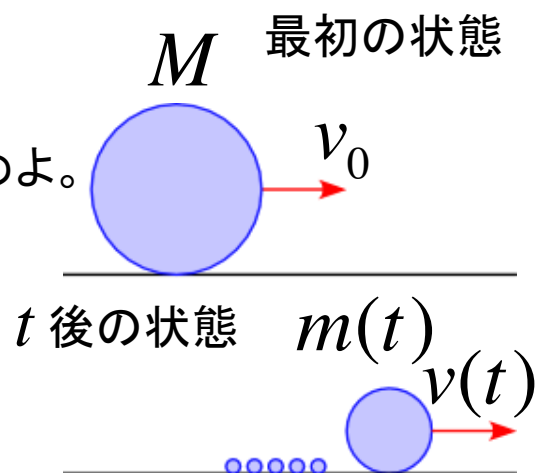
物体の初期質量を M 、初速度を v_0 とし、噴出物質の速度は常に 0 になるように噴出されるものとする。

以下の問に答えよ。

(1) 時間 t 後の質量 $m(t)$ を記述せよ。

(2) 時間 t 後の速度 $v(t)$ を求めよ。

(3) 時間 t 後の移動距離 $x(t)$ を求めよ。



12. 質量 m の物体を鉛直方向に初速度 v_0 で投げ上げる運動を考える。

初期条件は $t = 0$ で $x = 0$ とする。

(1) この運動の運動方程式を記述せよ。

(2) 運動方程式から速度 $v(t)$ を導け。

(3) 運動方程式から変位 $x(t)$ を導け。

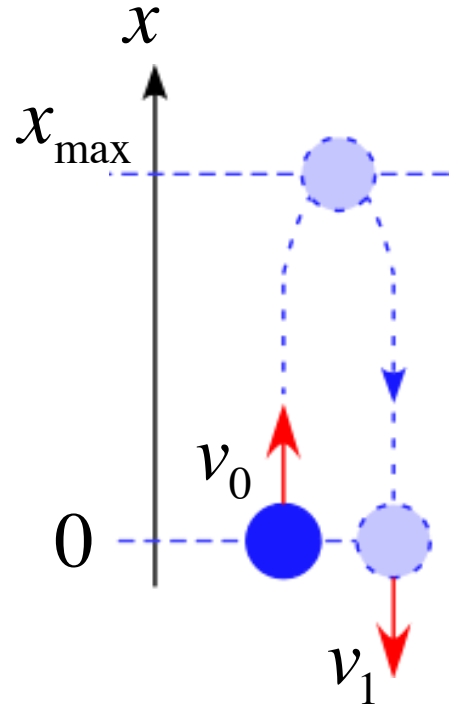
(4) 最高点に達する時刻 t_{\max} を求めよ。

(5) 最高点の位置 x_{\max} を求めよ。

(6) 再び戻ってきた時の速度 v_1 を求めよ。

(7) ある時刻 t での運動エネルギー $K(t)$ と位置エネルギー $U(t)$ を求め、その和 $E(t) = K(t) + U(t)$ が時間に寄らず一定であることを示せ。

(8) 運動エネルギー $K(t)$ 、位置エネルギー $U(t)$ 、全力学的エネルギー $E(t)$ をそれぞれ時間 t のグラフで表せ。



13. 摩擦がある斜面を質量 m の物体がすべり降りる運動の運動を考える。以下の問に答えよ。

但し、動摩擦力は $f = \mu_k N$ として用いてよいとする。

(1) 物体に作用する力を図に書き込め。

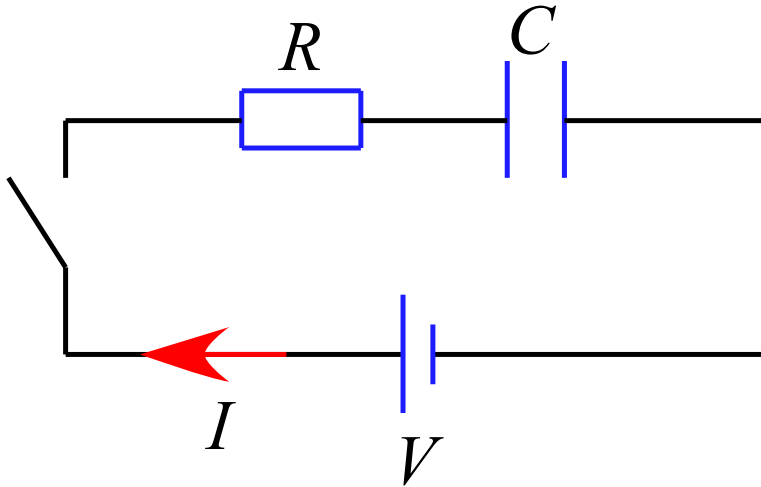
(2) この運動の運動方程式を記述せよ。

(3) この運動の加速度 a を求め、この運動が等加速度運動であることを示せ。

選択問題 (電磁気学) 以下の問題14～16のうち2題を選択して解答せよ。

14. 次のRC回路を考える。スイッチを入れる前にはコンデンサーに電荷は蓄えられていないものとする。

スイッチを入れた時刻を $t = 0$ として、以下の問に答えよ。



(1) 回路方程式を記述せよ。

ある時刻 t におけるコンデンサーの電荷を $Q(t)$ としてよい。

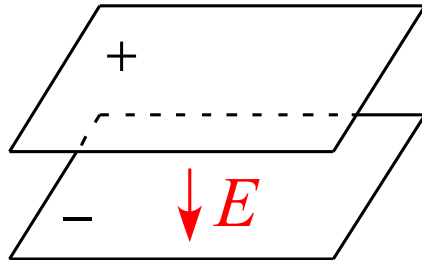
(2) 図の向きを正として、 $t = 0$ における電流の値を求めよ。

(3) 十分に時間が経った後のコンデンサーの電荷 Q の値を求めよ。

(4) $Q-t$ グラフを描け。

また、 $Q-t$ グラフの原点での傾きを記述せよ。

15. コンデンサー内部の電場について、2枚の平面を用いた平行板コンデンサーのモデルを考えることで求めるとする。

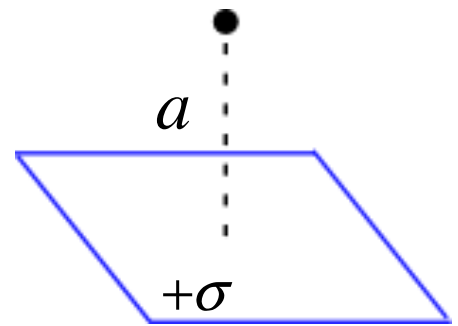


まず、片方の平面 (プラス側) が作る電場を考える。

右図のような、無限に広い平面とする。

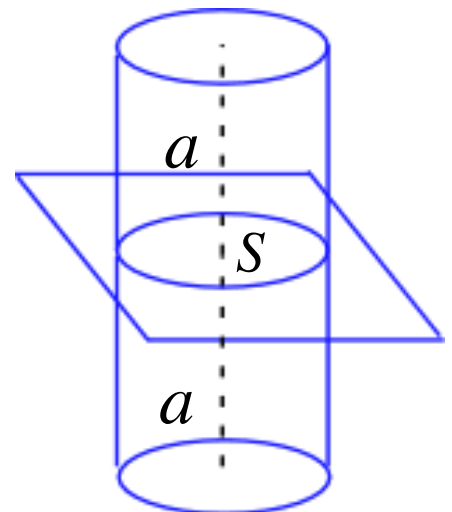
この平面上に面密度 $+\sigma$ で一様に電荷が分布しているとする。

この平面から距離 a だけ離れた点での電場 E_+ の大きさを以下の手順に従って求めよ。但し、真空誘電率は ϵ_0 とする。



電場 E_+ の大きさをガウスの法則を用いて求める。

ガウスの法則を適用する閉曲面を右図の様に上下に高さ a 、底面積 S の円筒とする。



(1) この閉曲面内の電気量を S, σ を用いて表せ。

(2) この閉曲面を貫く電気力線は

円筒の側面部分から 本であり、

円筒の上下の面から合計 本である。

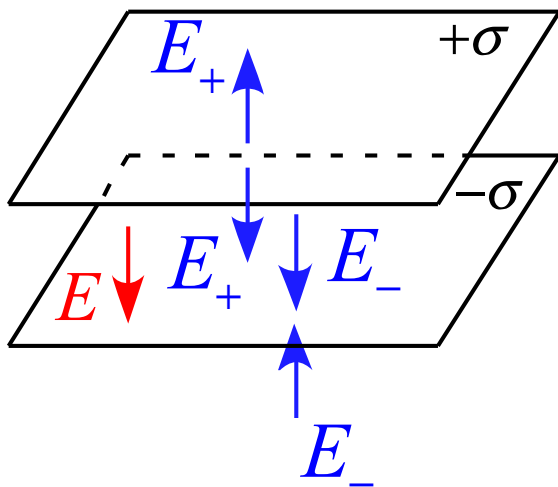
(3) 電場 E_+ の大きさを求めよ。

もう一方の平面 (マイナス側) が作る電場 E_- の大きさも同様に考えることで計算でき、

$$|E_+| = |E_-|$$

である。

従って、この2つの平面が作る電場は下図のようになる。



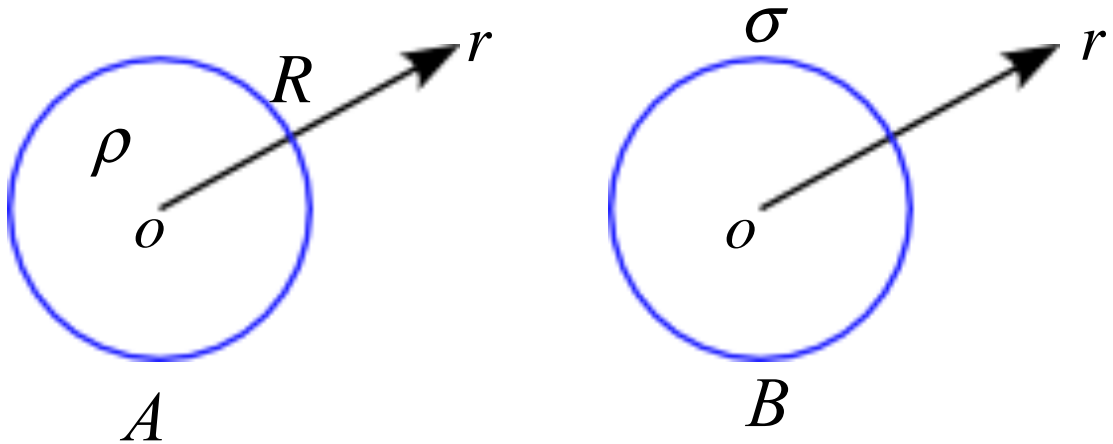
(4) コンデンサー内部の電場 E を求めよ。

16. 図のように、半径 R の球 A, B がある。

球 A は単位体積あたり電気量 $\rho(>0)$ 、球 B は表面に単位面積あたり電気量 $\sigma(>0)$ の荷電粒子がそれぞれ一様に分布しているとする。

クーロン定数は $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ とする。

以下の問に答えよ。



- (1) 球 A, B において、中心から距離 $r(\geq R)$ での電気量の大きさ $Q(r)$ をそれぞれ求めよ。
- (2) 球 A, B において、中心から距離 $r(\leq R)$ での電気量の大きさ $Q(r)$ をそれぞれ求めよ。
- (3) 球 A, B において、中心から距離 $r(\geq R)$ での電場の大きさ $E(r)$ をそれぞれ求めよ。
- (4) 球 A, B において、中心から距離 $r(\leq R)$ での電場の大きさ $E(r)$ をそれぞれ求めよ。
- (5) 球の内外につくる静電場を距離 r の関数としてそれぞれグラフを書け。