〔I〕

図Ⅰに示すような摩擦を無視しうる内面を有する半径 r [m] の円筒面があり，A点で小球に初速 v_0 [m/s] を与えて円筒内を運動させ，最高点Cから射出する場合を考える。小球の質量を m [kg]，重力加速度を g [m/s^2] とする。いま最低点Bでの小球の速度が v_1 [m/s] であり，最高点Cでの速度が v_2 [m/s] であるとき，下の問いに答えよ。

(1) 初速 v_0 を用いて，v_1 および v_2 を表せ。

(2) 最低点Bにおける内面の抗力を S_1 とするとき，B点での鉛直方向の力のつりあい式を求めよ。

(3) 最高点Cにおける内面の抗力を S_2 とするとき，C点での鉛直方向のつりあい式を求めよ。

(4) 小球が最高点Cに到達しうる条件を求めよ。

(5) 最高点Cから射出された小球の運動経路を示す式を求めよ。ただし，図に示すように最高点Cを原点として y 軸を鉛直下向きにとり，x 軸を右向き水平方向にとるものとする。

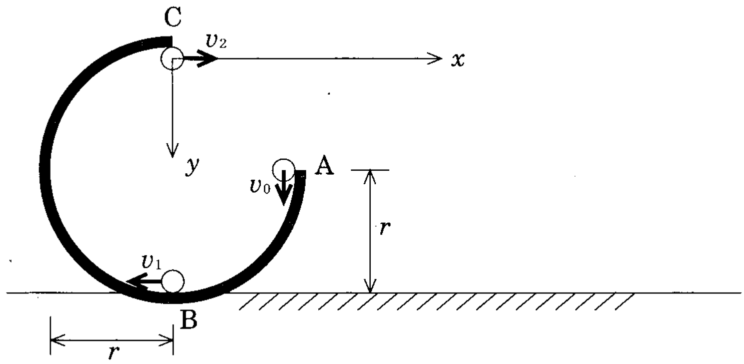


図　Ⅰ

〔Ⅱ〕

図Ⅱに示すように，円筒形の容器(底面積 S [m^2]，高さ h [m])に，なめらかに動き，その質量と体積を無視できるピストンがとりつけられている。このピストンには，二つの滑車をとおして質量 M [kg]のおもりが糸で結び付けられている。ピストンによって二つに仕切られた部屋のうち，Aには理想気体として振る舞う単原子気体 n_A [mol]があらかじめ入っている。また，部屋Bにはコック C の開閉によって任意の量の気体を入れることができるようになっている。気体定数を R [J/mol·K]，重力の加速度を g [m/s^2] として，下の問いに答えよ。

(1) 部屋Bに気体が入っていない状態で容器の温度を T [K]に保ったところ，ピストンは容器の底から $\dfrac{1}{3}h$ [m]の高さのところで静止した。n_A を与えられた定数で表せ。

(2) コックCを開いて，部屋BにAと同じ気体を一定量入れてコックを閉じた。その後，容器の温度を再び T [K]に保ったところ，ピストンは容器の底から $\dfrac{1}{2}h$ [m]の高さで静止した。部屋Bの気体の量(n_B [mol])を n_A を用いて表せ。

(3) (2)の状態から，容器の温度を上昇させて $2T$ [K]に保った。ピストンはどの高さで静止するか。容器の底からの高さで表せ。

(4) (3)の過程で容器内の気体に与えられた熱量を n_A，R，T で表せ。

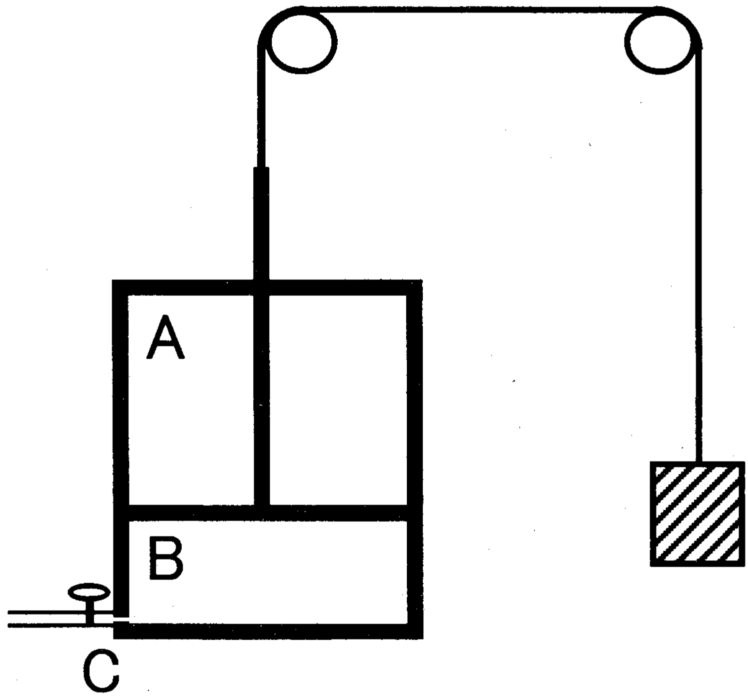


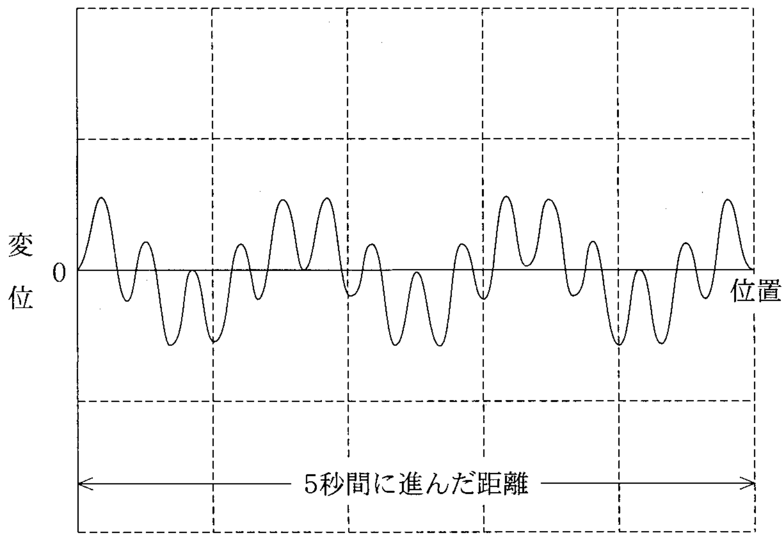
図　II

〔Ⅲ〕

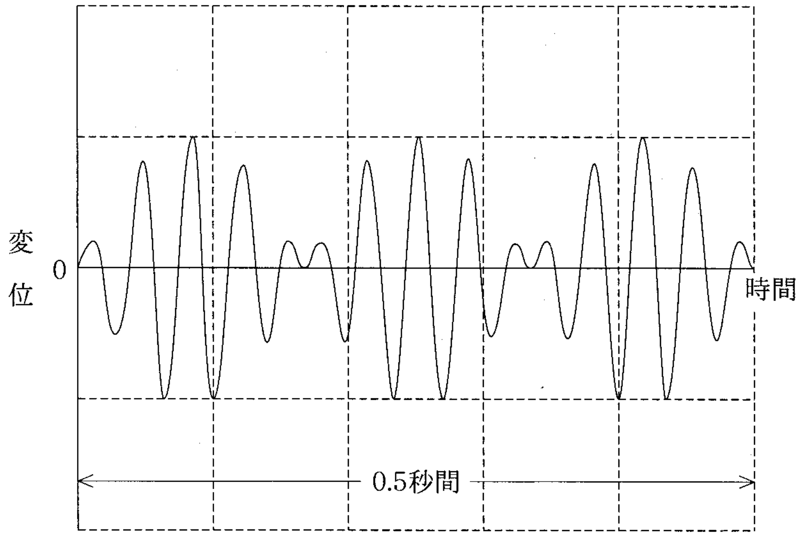
次の文中の $\boxed{}$ 内に適切な語句および数値を入れよ。ただし，数値の場合は，「単位」を付して答えよ。

(1) 図Ⅲ—1は，波長の異なる同じ速度の2つの波が重なりながら同じ方向に進んでいる様子を，5秒間だけ示したものである。この図から，波長の短い波の振動数は $\boxed{\ 1\ }$ で，周期は $\boxed{\ 2\ }$ であることがわかる。また，波長の長い波の振動数は $\boxed{\ 3\ }$ で，周期は $\boxed{\ 4\ }$ であることがわかる。

(2) 2つの波の重なりが特別な場合，図Ⅲ—2のような波形を示すことがある。このような現象を $\boxed{\ 5\ }$ と呼ぶ。同図から，両波の振動数の差は $\boxed{\ 6\ }$ であることがわかる。



図Ⅲ—1



図Ⅲ―2

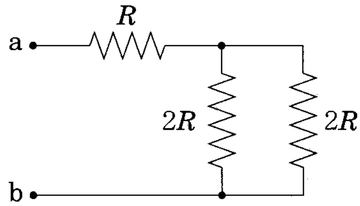
〔Ⅳ〕 次の各問に答えよ。ただし，電流計および電池の内部抵抗は無視できるものとする。

(1) 大きさが R [Ω] の抵抗 1 個，および 2 R [Ω] の抵抗 2 個を図Ⅳ—1 に示すように接続した。a — b 間の抵抗を求めよ。

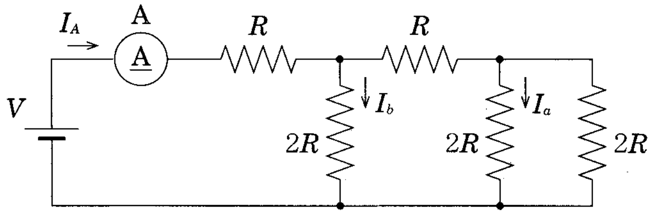
(2) 大きさが R [Ω] の抵抗 2 個，および 2 R [Ω] の抵抗 3 個を図Ⅳ—2 に示すように接続し，電圧 V [V] の電池を接続した直流回路を作った。電流計 A を流れる電流 I_A [A] ならびに，図中に示す大きさ 2 R の各抵抗に流れる電流，I_a と I_b [A] を求めよ。

(3) 大きさが R [Ω] の抵抗 4 個，および 2 R [Ω] の抵抗 5 個を図Ⅳ—3 に示すように接続し，電圧 V [V] の電池を接続した直流回路を作った。電流計 A を流れる電流 I_A [A] ならびに，図中に示す大きさ 2 R の各抵抗に流れる電流，I_0, I_1, I_2, I_3 [A] を求めよ。ただし，I_0 は I_A を用いて表し，I_1, I_2, I_3 は I_0 を用いて表せ。

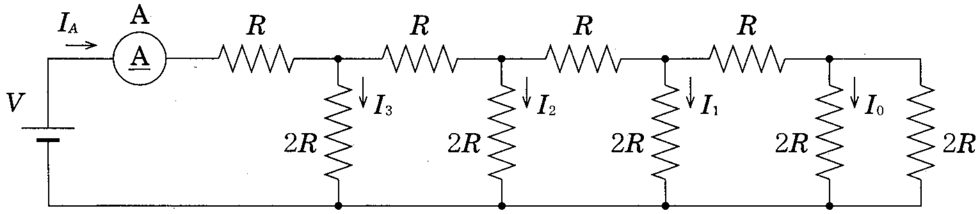
(4) 図Ⅳ—3 に示す直流回路をもとにして，図Ⅳ—4 に示すように，大きさ 2 R の抵抗 5 個のうち，4 個にはスイッチ (S_0〜S_3) を接続し，電池に直接接続するか，電流計 B を通して電池に接続するかを選択できる直流回路を作った。どのスイッチを電流計 B に接続し，どのスイッチを電池に直接接続するか，いろいろな組み合わせを試みたところ，電流計 B に流れる電流が $11 \times I_0$ [A] となった。このとき，電流計 B に接続されているスイッチを記号で答えよ。



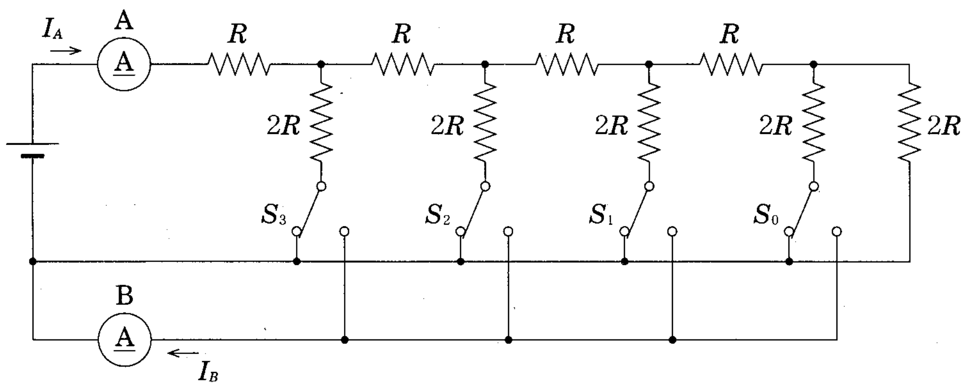
図Ⅳ－1



図Ⅳ－2



図Ⅳ－3



図Ⅳ－4

〔V〕 次の文中の $\boxed{}$ 内に適切な式を記入せよ。

光は電磁波の一種であり，波の速さ c は振動数 ν と波長 λ_p により

$$c = \nu\ \lambda_p$$

と表される。

アインシュタインは，光は波であるとともに，エネルギー E をもつ粒子とみなすことで，光電効果の実験結果を説明できることを示した。すなわち，光(電磁波)はエネルギー E をもつと同時に，その進む向きに運動量 p をもつ粒子(光子)であると考えた。光子のエネルギー E と運動量 p は，プランク定数を h とすると次の式で与えられる。

$$E = \boxed{\quad 1 \quad}$$

$$p = \boxed{\quad 2 \quad}$$

一方，ド・ブロイは，光が電磁波としての波動性と光子としての粒子性の二重性をもつように，ふつうは粒子としてふるまう電子にも波動性があると考えた。電子の質量を m，速度を v とすると電子波の波長 λ_eは次の式で与えられる。

$$\lambda_e = \boxed{\quad 3 \quad}$$

したがって，静止した状態から電位差 V で加速された電子(電気量 e)にともなわれる電子波の波長 λ_eは

$$\lambda_e = \boxed{\quad 4 \quad}$$

となる。適当な電位差で加速した電子を金属結晶に当てると金属原子の間隔と電子波の波長で決まる方向に電子が散乱される回折現象が観測され，電子が波としてふるまうことが確かめられた。

電子が粒子・波動の二重性をもつことから，水素原子の線スペクトルを説明することができる。水素原子のモデルとして，陽子のまわりを電子が円軌道を描いて運動していると考えよう。このとき陽子は，電子より十分重いので，静止しているとする。ボーアは電子の軌道半径を r とすると，軌道の円周の長さが電子波の波長の整数倍のときだけ，すなわち電子波の定常波ができる軌道だけが定常状態として許されると考えた。これを量子条件という。すなわち電子の速さを v，量子数を n とすると

$$2\pi r = \boxed{\quad 5 \quad} \quad (n = 1,\ 2,\ 3,\ \cdot\cdot)$$

となる。

また，電子の円運動について静電気力(クーロンの法則の比例定数を k_0 とする)が向心力のはたらきをするから

$$\boxed{\quad 6 \quad} = \boxed{\quad 7 \quad}$$

が成り立つ。従って，定常状態の軌道半径は，とびとびの値となり，量子数 n をもつ軌道半径を r_n とすると，r_n は次の式で与えられる。

$$r_n = \boxed{\quad 8 \quad} \quad (n = 1,\ 2,\ 3,\ \cdot\cdot)$$

電子のエネルギー E は，運動エネルギーと静電気力による位置エネルギーの和であるから，エネルギーもとびとびの値となり，量子数 n をもつ電子のエネルギーを E_n とすると，E_n は次の式で与えられる。

$$E_n = \boxed{\quad 9 \quad} \quad (n = 1,\ 2,\ 3,\ \cdot\cdot)$$

水素原子が，E_n の定常状態からそれより低い $E_{n'}$ の定常状態に移るとき，その差に等しいエネルギーをもつ光子を放出する。放出される光の波長を λ とすると

$$\frac{1}{\lambda} = \boxed{\quad 10 \quad}$$

となる。$n' = 2$，$n \geqq 3$ とすると，バルマー系列と呼ばれるスペクトル系列を表す実験式と一致する。このような考え方により，水素原子の線スペクトルを説明できるようになった。