物　　理

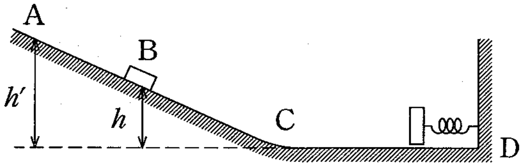
1 下図のように，なめらかな斜面ABCと水平面CDがなめらかに接続されている。水平面からの高さが h のB点に，質量 m の物体を置いた。物体は，B点から静かに離れると，なめらかな斜面をすべり，続くC点からは直線運動をし，やがて右方の壁面との間に水平に置かれている自然の長さのばねにぶつかり，ばねは X だけ縮んだ。このとき，以下の文を読み，(ア)〜(コ)にあてはまる式または数値を解答用紙に書きなさい。

ただし，重力加速度を g，ばね定数を k とし，物体と面との摩擦は無視できるものとする。

B点における物体の重力による位置エネルギーは $\boxed{(ア)}$ と表される。物体がC点に達して直線運動をするときの速さを v とすると，その運動エネルギーは $\boxed{(イ)}$ となる。力学的エネルギー保存の法則より，$\boxed{(ア)} = \boxed{(イ)}$ であり，これより $v = \boxed{(ウ)}$ が求まる。物体がばねにぶつかり，ばねが最大 X だけ縮んだときの弾性力による位置エネルギーは $\boxed{(エ)}$ となり，やはり力学的エネルギー保存の法則より $\boxed{(エ)} = \boxed{(イ)}$ であるから，速さ $v = \boxed{(ウ)}$ を代入すると，$X = \boxed{(オ)}$ となる。

次に物体を高さ h' のA点まで持ち上げ，静かにはなしたときのB点での速さが v_0 であったとする。このとき，B点における力学的エネルギーは $\boxed{(カ)}$ となる。物体がC点に達し直線運動しているときの速さを v' とすれば，力学的エネルギー保存の法則より，$v' = \boxed{(キ)}$ が求まる。物体がばねにぶつかり，ばねが最大 X' だけ縮んだとき，速さ $v' = \boxed{(キ)}$ の表式を代入すると，$X' = \boxed{(ク)}$ となる。

$X' = \boxed{(ク)}$ が $X = \boxed{(オ)}$ の $\sqrt{2}$ 倍であったとすれば，$v_0 = \boxed{(ケ)}$ である。この v_0 にするためには，h' は h の $\boxed{(コ)}$ 倍でなければならない。

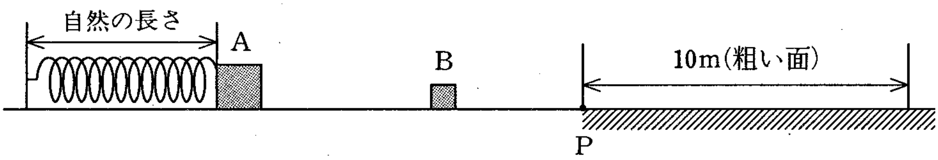


2 図のように，なめらかな水平面にばね定数98〔N/m〕のばねの一端が固定されている。このばねの他端に質量0.02〔kg〕の物体Aを接触させ，Aを押して0.1〔m〕縮めたのち静かにはなした。物体は，ばねが自然の長さになったとき，ばねから離れて図の右方へすべり，静止している質量0.01〔kg〕の小物体Bと衝突した。そのあとBは，Aの2倍の速さで，P点の右方の粗い面をすべり，Pから10〔m〕の点で停止した。重力加速度の大きさを9.8〔m/s^2〕，はねかえり係数（反発係数）を0.5として，次の各問に答えなさい。

(1) ばねをはなれた直後の物体Aの速さはいくらか。

(2) 衝突直後の小物体Bの速さを求めよ。

(3) 粗い面と小物体との運動摩擦係数を求めよ。



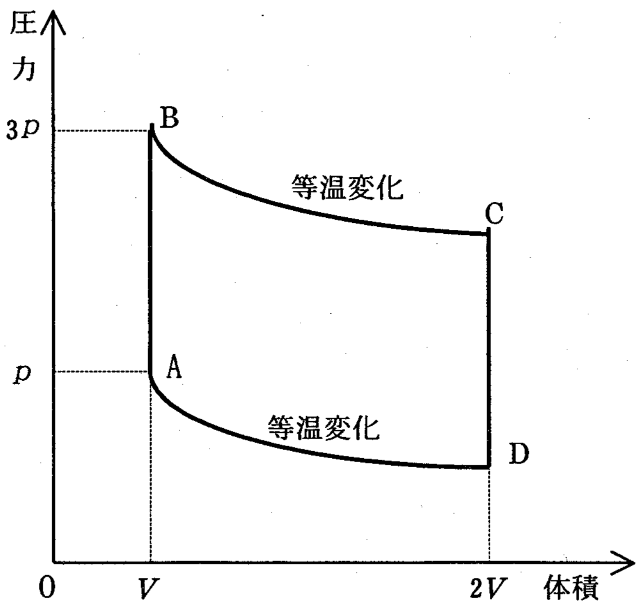
3 一定量の理想気体をなめらかなピストンをもつ円筒容器に密封し，図のように A → B → C → D → A の順にその状態をゆっくり変化させた。A → B および C → D は体積が一定の変化であり，また B → C および D → A は温度が一定の変化である。状態 A の圧力，体積，絶対温度をそれぞれ p，V，T とし，状態 B の圧力を $3p$，状態 C および D の体積を $2V$ とするとき，次の問に答えなさい。

(1) 状態 B の温度（絶対温度）を求めよ。

(2) 状態 C および D の圧力を求めよ。

(3) A から B，C，D をへて再び A にもどったとき，気体が外部へなした仕事の総和を表す範囲を，解答用紙の図中に ▨ で示せ。

(4) 気体が外から熱を吸収するのは，A → B，B → C，C → D，D → A のどの場合か。いくつかある場合はすべてを記せ。



★M5(623—31)

4 次の文章を読んで，次頁の(1)から(5)の問いに答えよ。

しゃぼん玉や水面に浮いた油の膜が色づく現象は，薄い膜の表面で反射した光と膜の中に進んで膜の裏面で反射した光が $\boxed{\text{(ア)}}$ するからである。

図1のように両面が平行な厚さ d，屈折率 n（>1）の薄膜に，光を斜めから屈折角 θ で入射させる場合を考える。ただし，薄膜の両側の媒質は空気であり，空気の屈折率 $=1$ とする。今，経路 A → B → C → D → E を進む光 a と経路 A′ → D → E を進む光 b に着目する。光 a と b の経路の差は HC + CD であり，$\boxed{\text{(イ)}}$ に等しい。また，空気中での光の波長を λ とするとき，膜の中での光の波長は $\boxed{\text{(ウ)}}$ となる。光 b の点 D での反射のように屈折率の小さな媒質から大きな媒質へ向かう境界面での反射は $\boxed{\text{(エ)}}$ 反射と同じように考えることができ，反射光の位相は π ずれる。一方，光 a の点 C での反射は $\boxed{\text{(オ)}}$ 反射と同じように考えることができ，反射光の位相はずれない。以上のことから，経路の差 $\boxed{\text{(イ)}}$ が $\boxed{\text{(ウ)}}$ ÷ 2 の $\boxed{\text{(カ)}}$ 倍になれば，光 a と b は同位相で強め合うことになる。

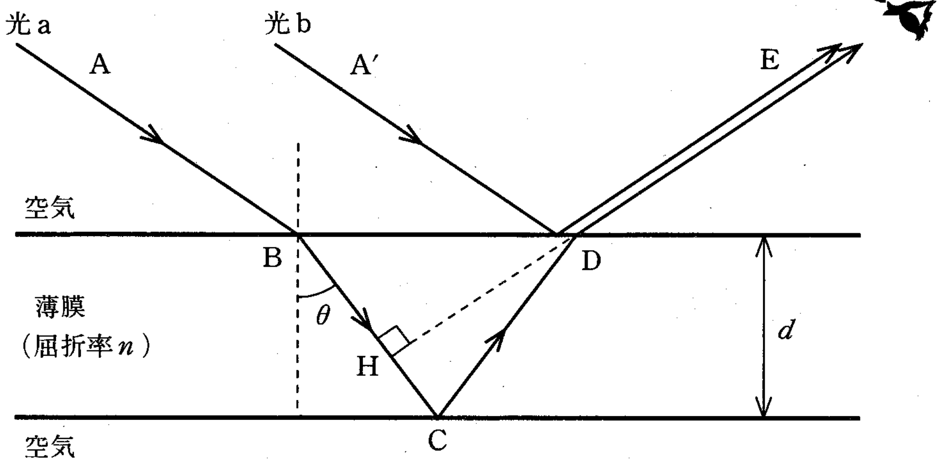


図1

(1) ㋐に正しい語句を入れよ。

(2) ㋑と㋒に正しい式を入れよ。

(3) ㋓と㋔にあてはまる正しい語句の組み合わせを，次の①，②の中から一つ選べ。

① ㋓ 固定端　　　　㋔ 自由端

② ㋓ 自由端　　　　㋔ 固定端

(4) ㋕にあてはまる正しい語句を，次の①～③の中から一つ選べ。

① 整　数

② 偶　数

③ 奇　数

(5) 図2のように屈折率1.33，膜厚 1.3×10^{-7}〔m〕のしゃぼん液の薄膜に，白色光を膜に垂直に入射させる。膜から十分に離れた真上の位置から観察するとき，反射光は何色に見えるか。

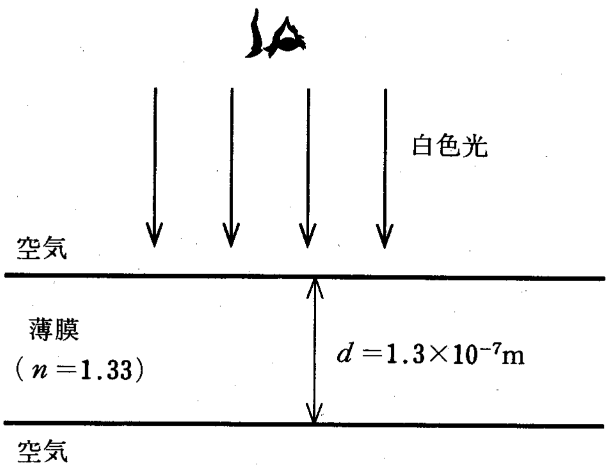


図2

5 真空中，図のように垂直方向の一様磁界 H〔N/Wb〕内に，間隔 l〔m〕の平行導線が水平に置かれ，その上を横棒（導体棒）XY がなめらかに一定速度 v〔m/s〕で右方向へ移動している。左側には，抵抗 R_1〔Ω〕，R_2〔Ω〕が並列に接続されている。ただし，横棒 XY の摩擦は無視でき，回路に流れる電流は，十分小さいとする。下記の問に答えよ。ただし，真空の透磁率を μ_0 とする。

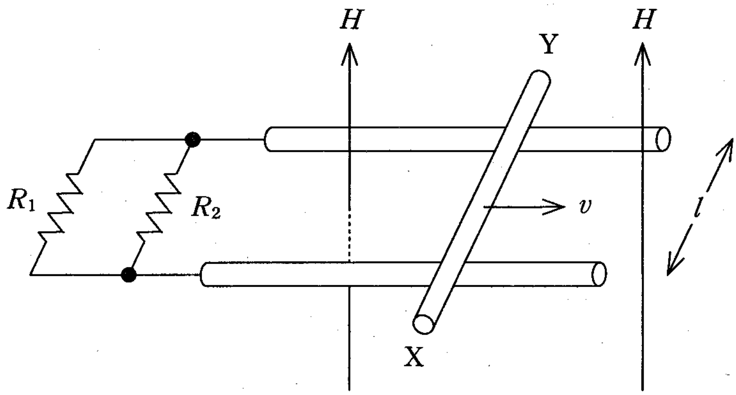
(1) 回路に生ずる誘導起電力 V〔V〕を求めよ。

(2) 横棒 XY に流れる電流 I〔A〕を求めよ。

(3) 横棒 XY を速度 v で右へ移動し続けるために要する仕事率 U〔J/s〕を求めよ。

(4) 抵抗 R_1，R_2 に生ずるジュール熱の合計（消費電力）Q〔W〕を求めよ。

(5) 上記(3)の U と(4)の Q は等しいことを証明せよ。



6 下図に示した電気回路において，以下の問に答えよ。ただし電池の内部抵抗は無視せよ。

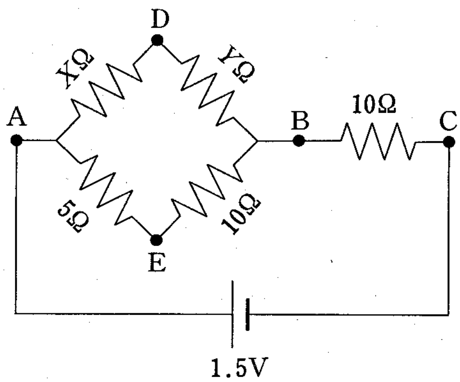
(1) BC 間の電圧を調べると 1〔V〕であった。この回路を 1 分間通電させると，BC 間の抵抗で生ずる熱量は何 J になるか。

(2) AB 間の合成抵抗を X と Y を用いて表せ。

(3) BC 間の電圧が 1〔V〕であることから，AB 間の合成抵抗は何 Ω であるか，数値で示せ。

(4) DE 間の電圧を調べると 0〔V〕であった。このことからわかる X と Y の値の比を示せ。

(5) 上記(2)〜(4)から X と Y はそれぞれ何 Ω であるか，数値を求めよ。



7 次の文中の $\boxed{}$ の中に当てはまる式を解答用紙に記入し，また，末尾の設問に答えよ。

(1) ミリカンは，油滴を用いて，下図のような方法で電気素量の測定を行なった。まず，霧吹きで作った油滴を極板にあけた小さな穴から平行な 2 枚の極板の間に落下させる。次に，X 線を照射して生じた空気中のイオンをこの油滴に付着させ，油滴を帯電させる。このとき，油滴には，重力および油滴の半径と速さに比例する空気の抵抗力がはたらく。しかし，これらの力がやがてつりあって，油滴は等速度でゆっくりと落下する。油滴の質量を m，半径を r，落下速度を v_0 とすれば，空気抵抗の比例定数を k，重力加速度を g として，式 $\boxed{\text{(ア)}}$ が成り立つ。

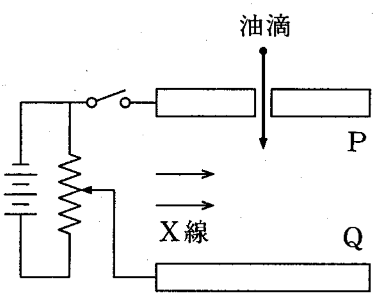
次に，PQ 間に電圧をかけると，油滴は電界からも力を受けて上昇（あるいは下降）する。しかし，重力，空気抵抗，電界からの力がやがてつりあって，油滴は等速度運動をする。電界の強さを E，油滴の電荷を q（> 0），上昇速度を v とすれば，式 $\boxed{\text{(イ)}}$ が得られる。

油滴は非常に小さく，質量や半径を直接測定することはできないが，油滴の密度を ρ とすると質量 m は，式 $\boxed{\text{(ウ)}}$ のように表される。

式(ア)と(ウ)より，r は $\boxed{\text{(エ)}}$ となり，式(エ)を式(イ)に代入して，m と r を含まない式をつくると，q は $\boxed{\text{(オ)}}$ の関係が満たされる。

空気抵抗の比例定数 k がどのような値になるかは，当時すでに知られていたので，v_0 と v を測定することにより，式(オ)から油滴の電荷を知ることができた。

(2) ミリカンの実験で，極板間の電界を 2.0×10^5〔V/m〕としたとき，油滴が静止し，この油滴にはたらく重力と電気力が同じ大きさになった。この油滴の質量を 1.3×10^{-14}〔kg〕とするとその電荷はいくらか。ただし重力加速度を 9.8〔m/s²〕とする。



8 ラザフォードは，原子では電子が原子核のまわりを円運動していると考えた。水素原子は水素原子核（１つの陽子）のまわりを１つの電子が回るもっとも簡単な原子である。電子の運動を，半径 r，速度 v の等速円運動と考える。また，電子の質量を m とする。電子は静電気力 F を受け，F は次のように表される引力である。

$$F = k_0 \frac{e^2}{r^2} \qquad (1)$$

ただし，e は電気量で，原子核では e（> 0），電子では $-e$ であり，k_0 は静電気力に関するクーロンの法則の真空中での比例定数である。この静電気力が円運動の向心力 $\frac{mv^2}{r}$ になるので，運動方程式は，

$$k_0 \frac{e^2}{r^2} = \boxed{\text{(ア)}} \qquad (2)$$

となる。電子の静電気力の位置エネルギーは，電子が水素原子核から十分遠方にある場合を０として $-k_0 \frac{e^2}{r}$ となる。電子の運動エネルギーは $\boxed{\text{(イ)}}$ であり，水素原子内の電子のエネルギー E は，

$$E = \boxed{\text{(ウ)}} \qquad (3)$$

となる。(2)式の両辺に r をかけると，

$$k_0 \frac{e^2}{r} = \boxed{\text{(エ)}} \qquad (4)$$

となり，これを(3)式に代入すると，電子のエネルギー E と軌道の半径 r との間の関係として，

$$E = \boxed{\text{(オ)}} \qquad (5)$$

が得られる。

水素原子のエネルギー状態が(5)式のように表せると，エネルギーは連続的になり，水素がもつエネルギー準位やスペクトル線を説明できない。ボーアは，次のような仮定を提唱した。n を正の定数，h をプランク定数として，次の関係が成立する。

$$mvr = n\frac{h}{2\pi} \quad (n = 1,\ 2,\ 3\cdots) \qquad (6)$$

この状態を定常状態とよび，定常状態にあるとき電子は電磁波を放出しない。(6)式を $\boxed{\text{(カ)}}$ と呼び，n を $\boxed{\text{(キ)}}$ という。(6)式から v を求め(4)式に代入すると，

$$k_0 \frac{e^2}{r} = \boxed{\quad (ク) \quad} \qquad (7)$$

となり，とり得る電子の軌道半径は，

$$r = \boxed{\quad (ケ) \quad} \qquad (8)$$

となる。(8)式を(5)式に代入し，エネルギーEをE_nと書くと

$$E_n = \boxed{\quad (コ) \quad} \qquad (9)$$

となり，$\dfrac{1}{n^2}$に比例する。

以下の問を解くのに必要ならば，次の値を用いなさい。

真空中の光の速さ	$c = 3.00 \times 10^8$ 〔m/s〕
プランク定数	$h = 6.63 \times 10^{-34}$ 〔J·s〕
1電子ボルト	$1\,\mathrm{eV} = 1.60 \times 10^{-19}\,\mathrm{J}$

(1) 文中(ア)〜(コ)にあてはまる式または語句を書きなさい。

(2) (9)式で$n = 1$とおけば，基底状態のエネルギーE_1が計算され，$-13.6\,\mathrm{eV}$となる。この値は何Jか，計算しなさい。

(3) 水素原子内の電子が，定常状態E_nからエネルギーの低い$E_{n'}$の定常状態へ移るときに放出される光の波長λは，真空中の光の速さをcとして

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{E_n - E_{n'}}{ch} = R\left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (10)$$

となる。Rの表式を導きなさい。また，その値は何1/mか，計算しなさい。

(4) バルマー系列（nが3以上のエネルギー準位から，$n' = 2$のエネルギー準位へ電子が移ったときに発する光のスペクトル）のうち，最短，最長の波長はそれぞれ何mか，計算しなさい。

9 銀に中性子をあてて生じた放射性同位体の放射線量の測定をおこなった。中性子をあてたのち10秒ごとの放射線の計数値は下の表のようになった。データは時刻 t における1秒間あたりの平均計数値 n，及び n の常用対数値 $\log_{10} n$ である。また，時刻 t での放射性同位体の個数を N，$t=0$ での個数を N_0，半減期を T とすれば，$N = N_0\left(\dfrac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$ の関係があるので，$\log_{10} N$ は t の一次式で，次のように表される。$\log_{10} N = -\dfrac{\log_{10} 2}{T} \times t + \log_{10} N_0$.

自然放射線の影響は無視できるものとして，次の問に答えよ。

t（秒）	n	$\log_{10} n$	t（秒）	n	$\log_{10} n$
10	26.0	1.41	50	9.1	0.959
20	20.0	1.30	60	7.9	0.898
30	15.7	1.20	70	6.9	0.839
40	11.4	1.06	80	6.4	0.806

(1) 上の表の t と $\log_{10} n$ の値の関係を解答用紙の等方眼紙に・印で記入せよ。

(2) (1)の図（(1)で作成した解答用紙の図）より，中性子をあてて生じた放射性同位体は，半減期の異なる2種類（A，Bとする）あることがわかる。このことを考慮して，計測開始から50秒程度までの関係を良くあらわす直線を(1)の図に実線（———）で記入せよ。直線は定規を使わずに描いて良い。

(3) 1秒間あたりの計数値 n が半分の計数値 $\dfrac{n}{2}$ になるまでの時間を半減期 T とみなすことができる。その理由を簡単に説明せよ。

(4) (1)の図に(2)で描いた直線は放射性同位体Aの減衰の様子を表している。この直線の傾きを求めて，その傾きの値を用いて放射性同位体Aの半減期を求めたい。

（4—1） この直線の傾きを求めるのに用いる直線上の2点を(1)の図に×印で記入せよ。

（4—2） その座標値を読み取れ。

（4—3） 読み取った座標値を用いて，この直線の傾きを計算せよ。

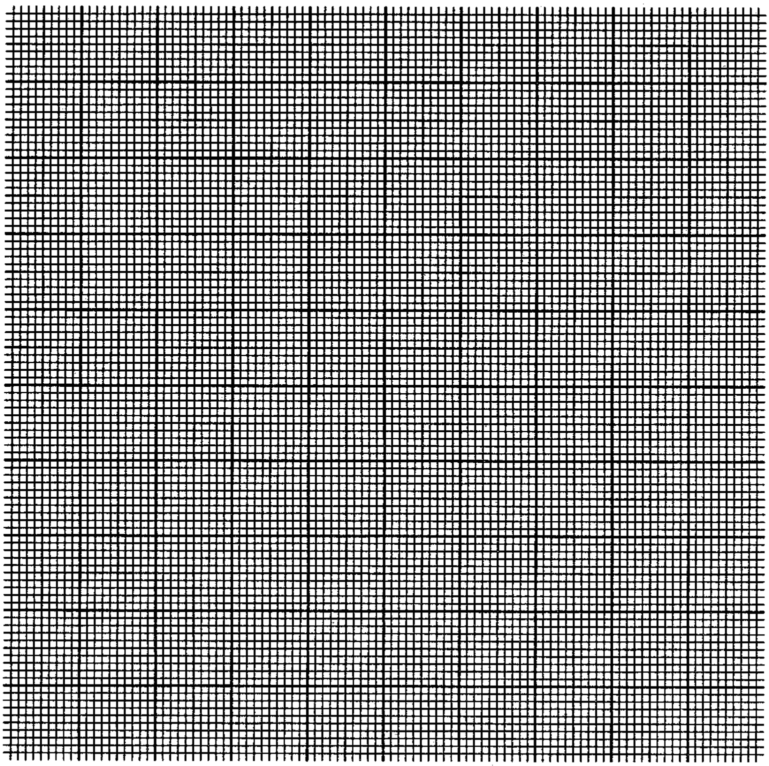
（4—4） この放射性同位体Aの半減期を求めよ。ただし，$\log_{10} 2 = 0.301$ とする。

(5) もう一方の放射性同位体Bについて答えよ。

（5—1） 放射性同位体Bの減衰の様子をあらわす直線を(1)の図に点線（----------）で記入せよ。

（5—2） 放射性同位体Bの半減期は，放射性同位体Aの半減期より長いか，短いか。

（5—3） その理由を説明せよ。



（草稿用等方眼紙）