

物 理

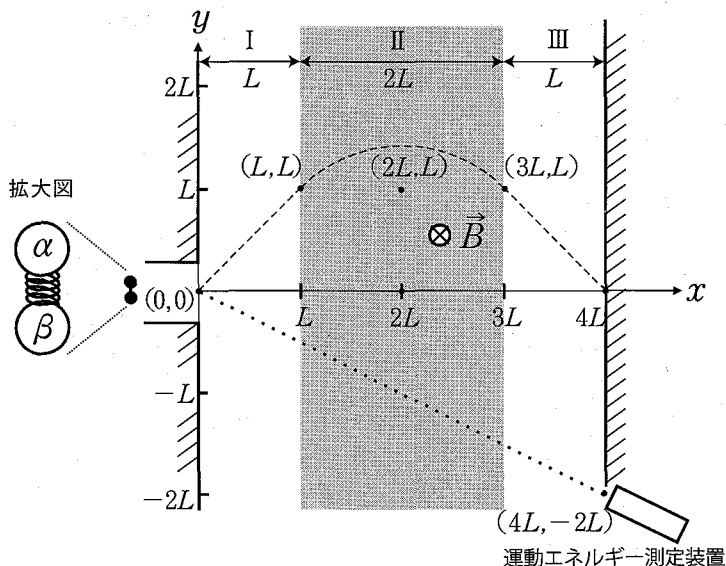
1. 以下の文章中の に適切な数または式を記入しなさい。ただし、 (イ) には { } 中の正しい文章の番号を選んで記入し、 (コ) は解答欄にグラフを描きなさい。

質量と電荷が不明な粒子 α と β があり、拡大図のように、圧縮されたバネで連結されて複合粒子を形成している。粒子の運動を追跡できる装置を用いて、粒子 α と β の質量と電荷を調べる実験を行った。実験では、座標系 (x, y) を図のようにとる。装置は真空中に置かれ、 x 軸方向に長さ L の領域Ⅰ、長さ $2L$ の領域Ⅱ (図中灰色領域)、長さ L の領域Ⅲと粒子を吸収する壁 (図中斜線領域) からなっている。領域Ⅱには、紙面表から裏に向かって磁束密度の大きさが B の一様な磁場 (磁界) がかけられ、磁場は領域ⅠとⅢにはもれ出さない。実験では、粒子 α と β を結ぶバネが y 軸と平行で、 α が y 軸の正の側になるように複合粒子の向きを制御し、 x 方向速度成分を V 、 y 方向速度成分を 0 として、 x 軸上の $x < 0$ の領域から装置に入射した。座標 $(0, 0)$ でバネの圧縮が瞬時にとけて、圧縮時に蓄えていた弾性エネルギーが全て粒子 α と β に分配された。そのため、粒子 α と β は y 軸方向の運動量を得て、別々に運動を始めた。このとき、各粒子の x 方向の速度は V であった。以下では、粒子の大きさ、およびバネの質量と大きさは無視できるものとし、重力は考慮しなくてよい。

粒子 β は、装置内を一直線に進み (図の点線)、座標 $(4L, -2L)$ に到達した。このことから、粒子速度の大きさは (ア) $\times V$ であり、粒子の電荷については、 (イ) { ①負の電荷を持つ・②電氣的に中性である・③正の電荷を持つ・④さらに実験が必要である } が判明した。粒子 β は $(4L, -2L)$ に設置された運動エネルギー測定装置に入射し、その運動エネルギーが E と測定されたので、粒子 β の質量 M_β は、 (ウ) と求められた。

粒子 α は、図の破線の軌跡を描いた。まず、座標 (L, L) に達したことから、その y 方向速度成分が判明し、粒子 α の質量 M_α は (エ) $\times M_\beta$ と求められた。さらに、粒子 α は、領域Ⅱの $(2L, 0)$ を中心とし (L, L) と $(3L, L)$ を通過する半径 (オ) $\times L$ の等速円運動を行ったので、その電荷は、 M_α を含む式で (カ) と表された。最後に、領域Ⅲを直線運動して $(4L, 0)$ に達した。粒子 α が領域Ⅰ、Ⅱ、Ⅲを通過するのに要した時間の合計は (キ) であった。エネルギー保存法則から、バネが圧縮時に蓄えていた弾性エネルギーは (ク) $\times E$ と求められた。

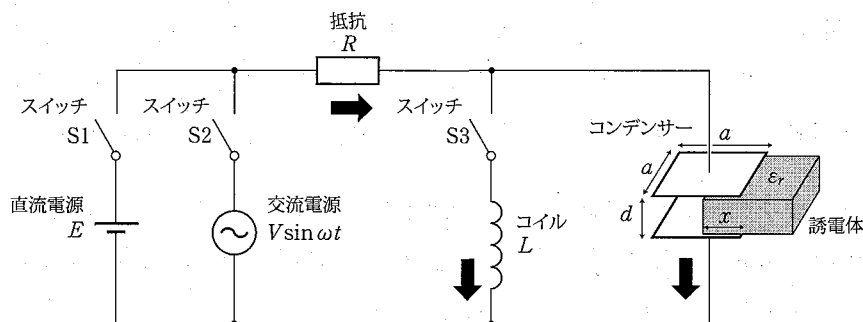
粒子 α の電荷が (カ) であることを確かめるために、磁束密度の大きさを (ケ) $\times B$ に変え、他は同じ条件で実験を行った。座標 $(0, 0)$ で粒子が分離した後の運動を観察したところ、粒子 β は図と同じ軌跡を描いたが、粒子 α は、 (L, L) を通過後、 $(2L, L)$ と $(2L, 0)$ を経由する運動を行った。粒子 α が領域Ⅰ、Ⅱ、Ⅲで描いた軌跡は (コ) になり、電荷 (カ) が再確認された。



2. 以下の文章中の に適切な数または式を記入しなさい。

図に示すような直流電源、交流電源、抵抗、コイル、コンデンサー、および3つのスイッチ(S1, S2, S3)からなる回路が真空中にある。直流電源の電圧を E 、抵抗の電気抵抗を R 、コイルの自己インダクタンスを L とする。交流電源の電圧は、角周波数 ω 、振幅(最大値) V で周期的に変化し、時刻 t における瞬時値(瞬間値)は $V \sin \omega t$ である。コンデンサーは、一辺の長さが a の正方形の極板2枚を間隔 d で平行に固定したもので、直方体の形をした比誘電率 ϵ_r の誘電体が極板間にすきまなくぴったりと挿入できる。コンデンサー内の電場(電界)は外にもれないものとし、誘電体が挿入されていないときのコンデンサーの電気容量を C_0 とする。電源の内部抵抗および導線の電気抵抗は無視できるものとしなさい。また、抵抗、コイル、コンデンサーを流れる電流は、図中の矢印 \rightarrow の向きに流れているときを正として考えなさい。

- (1) 真空の誘電率は、 C_0 、 a 、 d を用いて (ア) と表される。図に示すようにコンデンサーに誘電体を長さ x ($0 < x < a$) だけ挿入して、極板の面積 ax の部分が誘電体をはさむ状態にしたとき、コンデンサーの電気容量は (イ) $\times C_0$ と表される。
- (2) はじめに、S1とS3を閉じ、S2を開いた状態で、コンデンサーの極板間に誘電体を完全に($x=a$)挿入した。しばらく時間が経過すると、コイルを流れる電流が時間的に変化しなくなった。このとき、コイルに流れる電流を、 E を含む式で表すと (ウ) となる。この状態からS3を開き、十分に時間が経過すると、コンデンサーの極板間の電位差が時間的に変化しなくなった。このとき、コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーを、 C_0 を含む式で表すと (エ) となる。
- この状態からS1を開き、S3を閉じたところ、コンデンサーの極板間の電位差が振幅 E で周期的に変化した。このとき、コンデンサーに蓄えられる静電エネルギーとコイルに蓄えられる磁場(磁界)のエネルギーとの和は常に一定となる。したがって、コンデンサーの極板間の電位差が0になった瞬間にコイルに流れる電流の絶対値を、 E と C_0 を含む式で表すと (オ) となる。
- (3) つぎに、S1を開き、S2を閉じて、交流電源のみを接続した。コンデンサーの極板間から誘電体を完全に取除いた状態でS3を閉じたところ、抵抗を流れる電流の瞬時値は角周波数 ω で周期的に変化した。そこで、コンデンサーの極板間に誘電体を完全に挿入したところ、抵抗に電流が流れなくなった。このとき、コイルに流れる電流の実効値を、 V を含む式で表すと (カ) となる。コンデンサーの極板間の電位差とコイルの両端の電位差は瞬時値が常に等しいので、コンデンサーに流れる電流とコイルに流れる電流の位相のずれは (キ) になっている。これらのことを利用して、誘電体の比誘電率を、 ω と C_0 を含む式で表すと (ク) となる。



3. 以下の文章中の に適切な数または式を記入しなさい。

湿った風（空気）が山に当たって上昇すると、雨を降らせて乾燥する。この乾燥した風（空気）が山を越えて吹きおろくと、風下の気温が上昇する。これら一連の現象はフェーン現象と呼ばれている。乾燥した空気を理想気体と仮定すると、風が山を降りるとき生じる気温の上昇は、以下のように説明できる。

- (1) まず、理想気体の状態方程式について考える。 n モルの理想気体が体積 V 、圧力 p の状態にあると、その温度は気体定数 R を用いて $T = \text{〔ア〕}$ と表される。状態がわずかに変化して、体積が $V + \Delta V$ 、圧力が $p + \Delta p$ に変わったときに、関係 (ア) に従って、温度は $T + \Delta T$ に変わる。ここで、 $\Delta p \times \Delta V$ のような微小量の積は非常に小さいとして無視すると、 ΔV 、 Δp 、 ΔT の間には

$$p\Delta V + V\Delta p = nR\Delta T \quad \cdots \cdots \text{ (A)}$$

という関係が成り立つ。

- (2) つぎに、理想気体の内部エネルギー U について考える。体積 V を一定に保って、外部から熱を加えると、それは全て内部エネルギーの変化 ΔU となる。このとき、 n モルの理想気体の温度が ΔT だけ変化したならば、 ΔU は理想気体の定積モル比熱 C_V を用いて $\Delta U = \text{〔イ〕}$ と表される。理想気体の内部エネルギー U は温度 T だけで定まることが知られているので、関係 (イ) はどのような変化の過程でも成り立つ。たとえば、圧力 p を一定に保って、外部から熱を加えるという定圧変化を考える。このときには、温度変化 ΔT のほかに体積変化 ΔV も生じるので、気体は外に $W = \text{〔ウ〕}$ の仕事をする。熱力学第一法則に (イ)、(ウ) の関係を代入し、関係式 (A) を用いると、理想気体の定圧モル比熱 C_p と定積モル比熱 C_V の間には $C_p = \text{〔エ〕}$ の関係が成り立つことが示される。

- (3) 乾燥した空気が山を降りるときに周囲の空気から受ける圧力（大気圧）は、高度によって異なっている。大気圧とは、空気に質量があるため、空気に働く重力によって生じる圧力のことであり、その高度変化は、深さによる水圧の変化と同様に求めることができる。そこで、空気の密度を ρ 、重力加速度を g とすれば、高度が h 下がるごとに大気圧は $\Delta p = \text{〔オ〕}$ だけ高くなる。

- (4) 周りの大気圧が関係 (オ) にしたがって変化するので、空気は山を降りると圧縮される。空気は熱を伝えにくいので、その圧縮は断熱的におこると考えてよい。断熱的に n モルの空気の体積が ΔV 変化し、温度が ΔT 変化する場合、空気が外へする仕事は (ウ) で与えられ、内部エネルギーの変化は (イ) で与えられる。したがって、断熱変化のときには、 $p\Delta V = \text{〔カ〕} \times \Delta T$ という関係が成り立つ。これを関係式 (A) に代入して ΔV を消去すると、温度変化は定圧モル比熱 C_p を用いて $\Delta T = \text{〔キ〕} \times V\Delta p$ と表される。関係 (オ) を用いると、高度が h 下がったときの温度変化 ΔT がわかる。さらに、 n モルの空気の密度 ρ は、その体積 V と分子量 M を用いて $\rho = nM/V$ と表されるので、最終的に温度の高度変化は $\Delta T = \text{〔ク〕} \times h$ と表される。

- (5) 空気の平均分子量を $M = 29.0$ 、空気の定積モル比熱を $C_V = 20.8 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ 、気体定数を $R = 8.31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ 、重力加速度を $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ として (ク) の関係を用いると、空気が高度 $h = 500 \text{ m}$ 降りるとその温度は $\Delta T = \text{〔ケ〕} \text{ K}$ (有効数字2桁) だけ高くなることがわかる。

平成20(2008)年度 理工学部 問題訂正

科目	誤	→	正
理科	物理 問題3 (4)の下から2行目 ・ <u>分子量M</u>	→	・ <u>1モルあたりの質量M</u>
理科	物理 問題3 (5)の1行目 ・ 平均分子量を <u>$M=29.0$</u>	→	・ 平均分子量を <u>29.0</u>