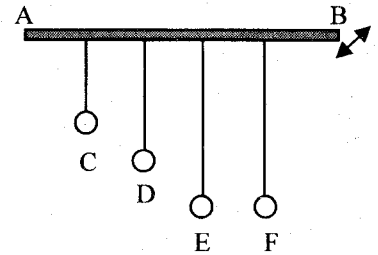


物 理

解答は解答用紙の所定の欄に記入すること。

I 以下の(1)～(4)の各設問に対する適切な答を選択肢より選び番号で答えよ。

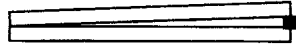
- (1) 端点 A を支点とする水平な棒に、A から等間隔に、長さ $L/2$, $L/\sqrt{2}$, L , L の振り子をつるし、端点 B を小さな振幅で水平に振動させた。F の振り子が共振を起こしたとすると、C, D, E の振り子のうちどれが共振すると考えられるか。もしくは、F 以外の振り子に共振は起きないか。



- ① C ② D ③ E ④ F 以外に共振は起きない

- (2) 長辺の長さ 76 mm のスライドガラス 2 枚を重ね、右端に厚み $6.0 \mu\text{m}$ のスペーサーを挟み、ナトリウムランプの単色光 (波長 600 nm) で上から照らして見たところ、交互に並んだ明線と暗線の縞が見えた。この現象は、下のガラス板の上面で反射した光線と上のガラス板の下面で反射した光線の干渉によるものである。暗線は何本見えるか。スペーサーの幅は無視できる。また、図に描かれた暗線の本数は答とは直接関係ない。

横から見た図



上から見た図



- ① 10 ② 20 ③ 40 ④ 60 ⑤ 80 ⑥ 100

- (3) コンデンサーを充電して端子間電圧を 20 V にした。このコンデンサーから、2 A の電流を 10 ms 間放電したところ、端子間電圧が 18 V となった。このコンデンサーの電気容量 [F] を求めよ。

- ① 0.001 ② 0.002 ③ 0.005 ④ 0.01 ⑤ 0.02 ⑥ 0.05

- (4) 地球の自転速度が現在の何倍になれば、赤道上で遠心力と重力がつり合うか。地球の半径を 6000 km, 地表での重力加速度を 10 m/s^2 , 1 日の長さを 10^5 s とする。

- ① 5 ② 10 ③ 20 ④ 40 ⑤ 60 ⑥ 80 ⑦ 100

II 以下の文章の ① ～ ⑥ に入る数式を、 内に指示された記号を用いて記せ。
また、下線部についての問1～問7に答えよ。

(問1) 物理学者 J. J. トムソンは質量分析計を用いてネオンの同位体の存在を証明した。質量分析計とは、電場や磁場中でのイオンの運動から、イオンの存在量を測定する装置である。この装置で得られるマスペクトルとは、質量 M と電荷 Q の比 M/Q を横軸にとり、イオンの存在量を縦軸にとって図示したものである(図1)。ここでは、磁場型および飛行時間型の2種類の質量分析計について考察する。

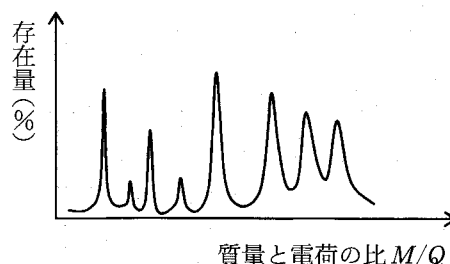


図1

測定は真空中で行ない、イオンはすべて正電荷を帯びていて、重力の影響は無視できる。

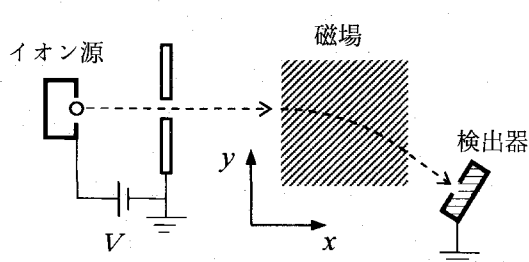


図2

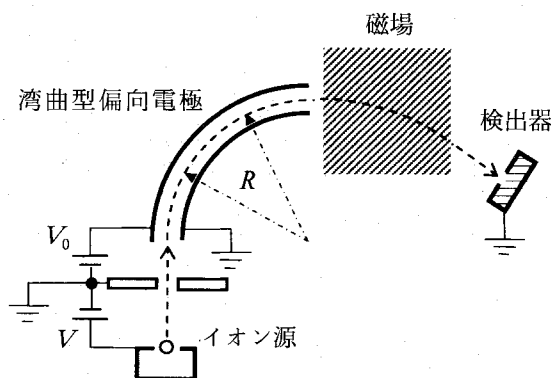


図3

古い磁場型質量分析装置では、(問2) 磁場を通過したイオンが写真フィルムを感光させて生じるパターンからマスペクトルを得ていたが、最近の装置では電気的な検出器を用いる。(問3) 図2において、イオンは斜線部で示した磁束密度 B の一様な磁場中を紙面内で円軌道を描く。

磁場に入射するイオンの運動エネルギーを K として、ローレンツ力と遠心力の釣り合いを考えると、磁場中の軌道半径 r は、 $r =$ ① B, K, M, Q と表される。イオンの運動エネルギー K は電位差 V の加速により得られるから、 $M/Q =$ ② B, r, V となり、磁束密度 B を連続的に変化させることによりマスペクトルが得られる。ところが実際には、イオン化された原子や分子は初速をもつため、磁場に入射するイオンの運動エネルギーは値 QV のまわりに分布をもつことになる。この分布が大きいとマスペクトル中のピークの幅が広がり(図1)、測定精度が低くなる。これを防ぐための工夫として、電位差 V で加速したイオンを図3のような湾曲した2枚の電極間に打ち込む方法がある。電極間の電場 E は半径 R の軌道に垂直と考えてよいので、速さ v のイオンに働く電気力と遠心力との釣り合いから、 $QE =$ ③ M, R, v である。したがって、運動エネルギー QV のイオンが半径 R の軌道を通るには、 $E =$ ④ R, V とすればよく、それ以外のイオンはこの軌道からはずれるので、スリット板などに衝突させて取り除くことができる。図3において、 $V_0 \ll V$ とみなしてよい。

飛行時間型質量分析計では、図4に示すように、イオン源で発生したイオンは電位差 V のもとで加速され、内部に電場のない管（ドリフトチューブ）に入射する。ドリフトチューブの入射口から末端の検出器までの距離を L とする。

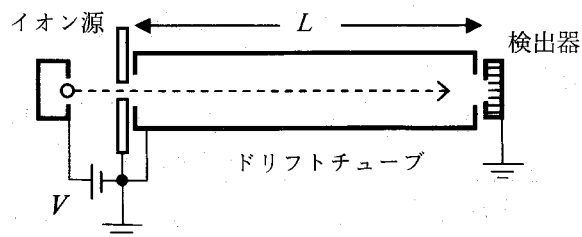


図4

電荷 Q のイオンはドリフトチューブに

入射後、飛行時間 $t_F = \text{⑤ } L, M, Q, V$ の後に末端の検出器に到達する。この式より、時間 t_F を測定すれば、 M/Q が求まることが分かる。

飛行時間型においても、入射イオンの運動エネルギーにはばらつきがあるため、同じ M/Q のイオンの t_F に広がりが生じるが、リフレクターという装置を使って広がり小さくすることができる。図5に示すように、等間隔で配置された各金属リングを直流電圧の加えられた直列抵抗に接続する。このとき、リフレクター内部の空間には、中心軸（ x 軸）に垂直な等電位面が生じると考えてよい。（問4）抵抗の組み合わせを工夫すると、近似的にはあるが、リフレクターの入り口（ x 軸の原点）からの距離に比例して大きくなる電場が得られ、リフレクター内のイオンには、 x に比例した大きさの負の向きの力が働く。 x における電場を $E = -kx$ ($k > 0$) とおき、イオンの軌道は x 軸に平行とみなすと、 $x = 0$ を通過したイオンは、時間 $\text{⑥ } k, M, Q$ の後に $x = 0$ に置かれた検出器に戻ってくる。この時間は入射速度に無関係である。その結果、マススペクトルのピーク幅は狭くなる。

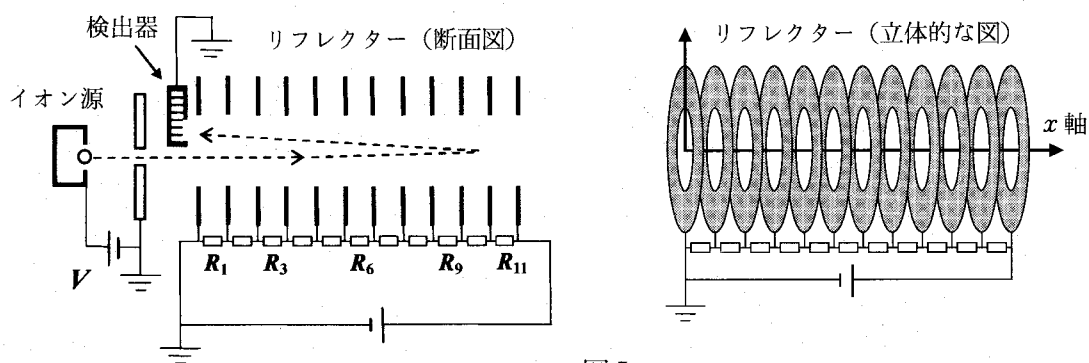


図5

（問5）実際のマススペクトルでは、イオンの分子量（または原子量） m とイオンの価数 z の比 m/z を横軸にとるのが普通である。分子量 m とは、 ^{12}C 原子1個の質量を12としたときの分子の相対質量である。

また、タンパク質のような巨大分子の場合、1価イオンの m/z は原子の場合よりもはるかに大きくなるが、（問6）飛行時間型質量分析計では、単に t_F が大きくなるだけである。 いっぽう、大きな m/z の測定が不得意な型の質量分析計でも、（問7）タンパク質分子を多価イオン（ $z = 2 \sim 100$ ）とする工夫により、マススペクトルの測定が可能となる。

問1 J. J. トムソンが真空放電の実験によって発見した素粒子は何か。下から選び、番号で答えよ。

- ① 電子 ② 陽電子 ③ 陽子 ④ 中性子 ⑤ 中間子 ⑥ ニュートリノ

問2 これと同様に、素粒子の飛跡を視覚化することを目的とした装置がある。下から選び番号で答えよ。

- ① 放電管 ② GM 計数管 ③ 暗視スコープ
④ オシロスコープ ⑤ 暗箱 ⑥ 霧箱

問3 磁場の向きを下から選び番号で答えよ。図2の x 軸と y 軸は、それぞれ入射イオンの速度ベクトルに平行および垂直であり、 z 軸は紙面に垂直で裏から表に向かっている。

- ① x 軸の正の向き ② x 軸の負の向き ③ y 軸の正の向き
④ y 軸の負の向き ⑤ z 軸の正の向き ⑥ z 軸の負の向き

問4 図5に示した3つの抵抗の比 $R_3 : R_6 : R_9$ として、適切なものを下から選び番号で答えよ。

- ① 1:1:1 ② 1:2:3 ③ 1:4:9 ④ 9:4:1 ⑤ 3:2:1

問5 $\frac{M}{Q}$ と $\frac{m}{z}$ は比例関係にある。 $\frac{m}{z} = \mu \frac{M}{Q}$ のように、 $\frac{M}{Q}$ から $\frac{m}{z}$ に換算するための比例係数 μ を有効数字2桁で求めよ。ただし、イオンの質量 M および電荷 Q の単位はそれぞれキログラム (kg) とクーロン (C) であり、アボガドロ数 $= 6.0 \times 10^{23}$ 、電気素量 $= 1.6 \times 10^{-19}$ C とする。

問6 図4において、 $L=1.0$ m, $V=10.0$ kV, 分子量 $m=2.8 \times 10^4$, イオンの価数 $z=1$ のとき、時間 t_F [s] の値として適切なものを選び番号で答えよ。入射イオンの速度にばらつきはないものとする。

- ① 1.5×10^{-8} ② 1.5×10^{-5} ③ 1.2×10^{-4}
④ 3.8×10^{-3} ⑤ 1.5×10^{-2} ⑥ 1.2×10^{-1}

問7 図6は、1種類のタンパク質を多価イオンとしてイオン化したときのマスペクトルの一部である。この範囲ではすべての価数のイオンが存在し、イオン化による分子量変化はないものとする。各ピークの横に添えられた数値は m/z の値を表す。このタンパク質の分子量を有効数字2桁で推定せよ。

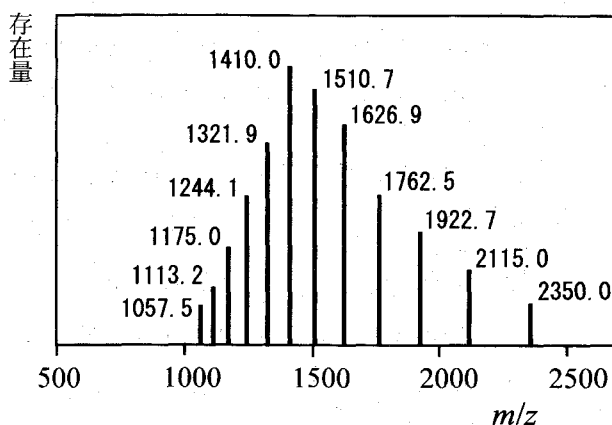
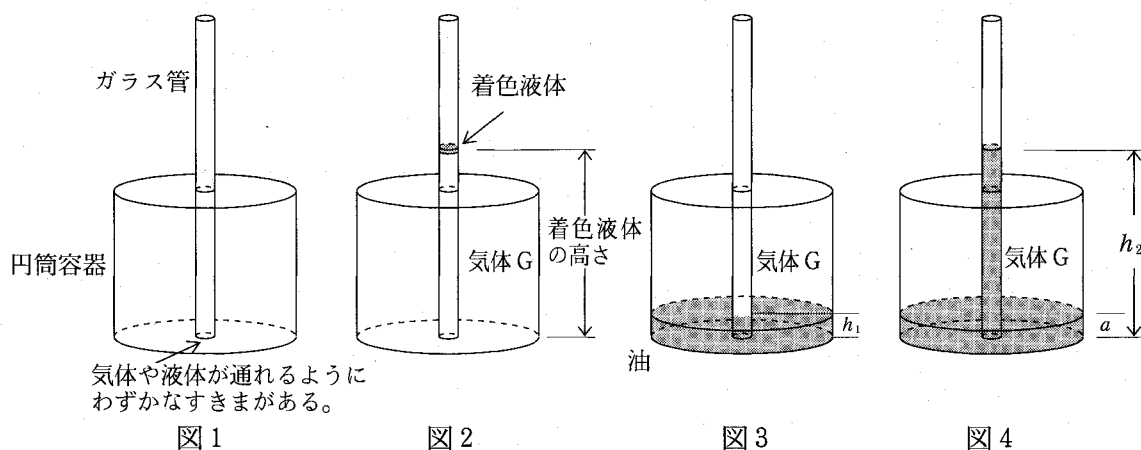


図6

Ⅲ 次の問に答えよ。

図1に示すように、密閉した円筒容器に、厚みの無視できる両端のあいたガラス管を取り付け、底との間にわずかなすき間を空けた。ガラス管の断面積は S 、ガラス管下端の重なりを除いた円筒容器内側の底面積は B 、円筒容器内側の高さは L である。重力加速度を g 、大気圧を P_A 、気体はすべて理想気体とし、気体定数を R とする。温度はすべて絶対温度で表し、1気圧を 10^5 Pa とし、てよい。



問1 図2に示すように、円筒容器内に気体 G を入れ、気体 G の膨張がわかるように着色液体をガラス管内に微量入れた。このとき、気体 G の温度は T_0 、着色液体の高さは h_0 であった。気体 G を熱して温度を T にしたときの着色液体の高さを求めよ。ただし、着色液体の重さ、表面張力による液面の変化、および蒸発を無視する。

問2 図3に示すように、円筒容器内の油の高さとガラス管内の油の高さが等しく h_1 になるように温度 T_1 の油と気体 G を入れた。その後、全体を加熱して温度 T_2 にしたところ、ガラス管内の油の高さが h_2 、円筒容器内の油の高さが a となった(図4)。 ρ を油の密度とすると、このときの気体 G の圧力は $P_A + \rho g(h_2 - a)$ である。油の蒸発、油の密度の変化、油の体積の変化、表面張力による液面の変化、および気体 G の油への溶解を無視する。

- ① 加熱前(温度 T_1)の油の体積を、 h_1 を含む式で表せ。
- ② 加熱前(温度 T_1)の気体 G の分子数 [mol] を、 h_1 を含む式で表せ。
- ③ a を、 h_1 と h_2 を含む式で表せ。
- ④ 加熱後(温度 T_2)の気体 G の分子数 [mol] を、 h_2 と a を含む式で表せ。
- ⑤ S が B よりも十分に小さい ($S \ll B$) とき、 $a = h_1$ として近似できる。 h_2 を、 T_1 と T_2 を含み a を含まない式で表せ。

問3 問2と同じ条件で、油のかわりに水を入れて実験したところ、ガラス管内の水は油の場合より高く上昇した。原因を調べたところ、水の蒸発が原因であることがわかった。

表1に示された圧力の水蒸気が水面と接している場合、水面から飛び出して水蒸気になる水分子の数と、水面に吸着されて気体から液体に変わる水分子の数がつり合って、見かけ上、水が蒸発しないようになる。このような水蒸気の圧力を水蒸気圧という。容器内部の気体の圧力は気体Gの圧力と水蒸気圧の和で表される。

水の密度の変化、水の体積の変化、表面張力による液面の変化、および気体Gの水への溶解を無視する。

- ① 表1に示された水蒸気圧のグラフを書き、水蒸気圧が1.5気圧になるときの温度を求めよ。
- ② 円筒容器内の水の高さとガラス管内の水の高さが等しく h_1 になるように温度 T_1 の水と気体Gが入っている。このときの気体Gの分子数 [mol] を、 h_1 を含む式で表せ。ただし、温度 T_1 のときの水蒸気圧を P_{w1} とする。
- ③ 温度 T_2 に加熱したときの円筒容器内の水の高さを a 、ガラス管内の水の高さを h_2 、水蒸気圧を P_{w2} として、気体Gの分子数 [mol] を、 h_2 と a を含む式で表せ。 ρ を水の密度とすると、このときの円筒容器内の気体の圧力（水蒸気圧と気体Gの圧力の和）は $P_A + \rho g(h_2 - a)$ である。
- ④ $S \ll B$ の条件下で $a = h_1$ として、 h_2 を、 T_1 と T_2 を含み a を含まない式で表せ。
- ⑤ 水を用いた場合の方が油の場合よりもガラス管内を液体が高く上昇することを示せ。ただし、水と油の密度は等しいと仮定し、 $S \ll B$ の条件下で $a = h_1$ 、 $T_1 = 290 \text{ K}$ 、 $T_2 = 370 \text{ K}$ とする。油の蒸気圧をゼロとして近似してよい。

温度 [K]	水蒸気圧 [kPa]	油の蒸気圧 [Pa]
270	0.4848	5.144×10^{-8}
290	1.9192	5.269×10^{-6}
310	6.2282	2.080×10^{-4}
330	17.205	4.136×10^{-3}
350	41.647	4.935×10^{-2}
370	90.453	3.987×10^{-1}
390	179.48	2.374
410	330.15	11.10

表1