

令和4年度個別学力検査等

問題訂正

【 前期日程 理科（物理）】

・問題冊子 13ページ 問3 4行目

（誤）「・・・以下の量を、 R , C_V , T_0 , V_0 のうち必要なものを用いて表せ。」

（正）「・・・以下の量を求めよ。必要であれば、 R , C_V , T_0 , V_0 を用いてよい。」

「理科の解答についての注意」

理学部志願者

- 数学科、化学科、生物科学科生物科学コースを志望する者は、物理、化学、生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。
- 物理学科を志望する者は、物理を必須科目とし、そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。
- 生物科学科生命理学コースを志望する者は、物理と化学の2科目を解答すること。

医学部医学科・医学部保健学科(放射線技術科学専攻・検査技術科学専攻)・歯学部・

薬学部志願者

物理、化学、生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。

医学部保健学科(看護学専攻)志願者

物理、化学、生物の3科目のうちから1科目を選んで解答すること。

工学部・基礎工学部志願者

物理を必須科目とし、そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。

物 理 問 題

(解答はすべて物理解答用紙に記入すること)

[1] 図 1 のように、水平方向に x 軸、鉛直上向きに y 軸をとった平面内における質量 M の物体 A と質量 m の物体 B の運動を考える。物体 A は、 x 軸に平行に固定された棒に沿って滑らかに動くことができる。また、物体 A と物体 B は伸び縮みしない長さ ℓ で質量の無視できる糸でつながれている。糸と鉛直方向とのなす角度 θ [rad] を、図 1 に示すように定義する。物体 A と棒の間の摩擦力は無視でき、また、物体 A および物体 B は質点とみなしてよい。重力加速度の大きさを g とする。

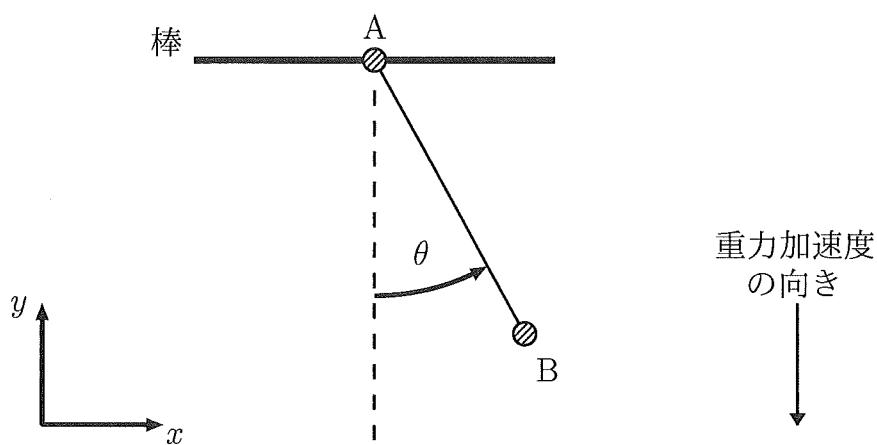


図 1

I. まず、物体 A を棒の一点に動かないように固定する。糸がたるまないように物体 B を持ち上げ、静かに離すと物体 B は振動をはじめた。このとき、以下の間に答えよ。

問 1 以下の文中の空欄に入れるべき式を解答欄に記せ。

糸の角度が θ のとき、糸の張力の大きさを S 、物体 B の加速度の x 成分および y 成分を、それぞれ、 a_x および a_y とするとき、物体 B の運動方程式は、 $ma_x = \boxed{\text{(a)}}$ および $ma_y = \boxed{\text{(b)}}$ と表される。

問 2 $|\theta|$ が十分に小さいとき、物体 B は水平方向にのみ運動すると考えてよい。このとき、問 1 で求めた運動方程式において、 $\sin \theta \approx \theta$ 、 $\cos \theta \approx 1$ と近似し、振動の周期 T を求めよ。

II. 次に、物体 A を棒に沿って動かす。ただし、物体 A の加速度の x 成分が、図 2 に示すように、 $\frac{T}{2}$ ごとに $\pm\alpha$ ($\alpha > 0$) で符号が変わるように物体 A を加減速させながら動かす。ここで、 T は問 2 で求めた周期である。また、時刻 $t = 0$ で糸は鉛直で、物体はいずれも静止しており、このときの物体の位置の x 座標を 0 とする。なお、物体 B の振動の振幅は十分小さく、 $|\theta|$ は十分に小さいとしてよい。このとき、以下の間に答えよ。

物体 A の加速度の x 成分

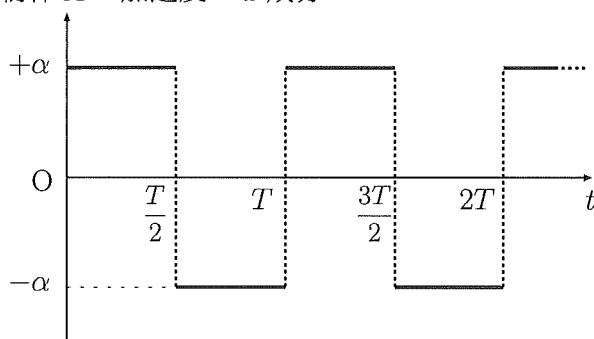


図 2

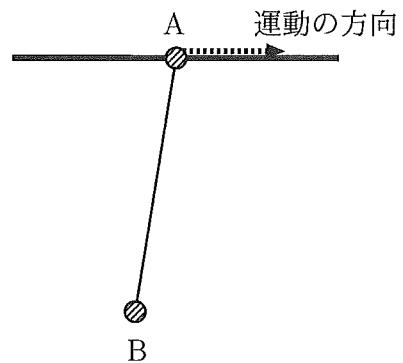


図 3

問 3 時刻 $t = nT$ (n は自然数) における物体 A の x 座標 x_n を求めよ。

問 4 時刻 t が $0 < t < \frac{T}{2}$ の間の運動を考える(図 3)。このとき、以下の文中の空欄に入れるべき式を解答欄に記せ。

物体 A とともに動く非慣性系で物体 B に作用する慣性力の水平成分は、右向きを正として (c) であるので、この非慣性系で、物体 B は初期位置から水平方向に右向きを正として、(d) だけ離れた位置を中心として、周期が T の単振動を半周期だけする。したがって、時刻 $t = \frac{T}{2}$ で、糸の角度 θ は (e) となり、この非慣性系で物体 B は静止する。ただし、角度 θ は図 1 のように定義する。

問 5 時刻 $t = nT$ (n は自然数) における糸の角度 θ_n を求めよ。

問 6 物体 A が図 2 に示す加速度の x 成分をもつためには、物体 A に重力、糸からの張力、棒からの抗力以外に、外力を作用させる必要がある。 $t = \frac{T}{6}$ におけるこの外力の x 成分を求めよ。

III. 次に、物体 A を水平な棒に沿って自由に動けるようにする。糸が鉛直で、物体 A が静止している状態で、物体 B に x 軸の正の向きに大きさ v_0 の速度を与えたところ、糸はたるまことに、また、糸の角度 θ が $-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2}$ のある範囲で、物体 B は振動した。図 4 には、ある時刻における、物体 A および物体 B の運動の様子を点線で示す。ただし、 $|\theta|$ は微小とは限らない。このとき、以下の間に答えよ。

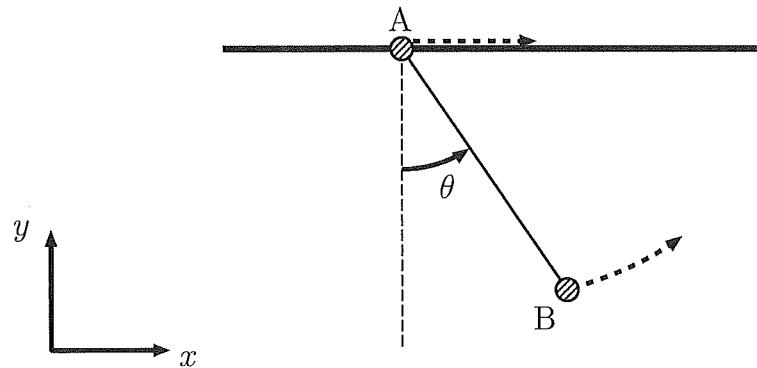


図 4

問 7 物体 B が最高点に達したときの、物体 A の速さを求めよ。

問 8 物体 B の最高点の高さを、物体 B の初期位置を基準として求めよ。

[2] 図1のような回路をブリッジ回路という。いくつかのブリッジ回路に関する問題を考える。ただし、導線の電気抵抗と電源の内部抵抗は、共に無視できるほど小さいものとする。

- I. 図1の回路において、抵抗1, 2, 3, 4の抵抗値が、それぞれ R_1 [Ω], R_2 [Ω], R_3 [Ω], R_4 [Ω] であるとする。検流計Gに電流は流れていらないものとする。直流電源の電圧の大きさを E [V] とする。このとき、以下の間に答えよ。

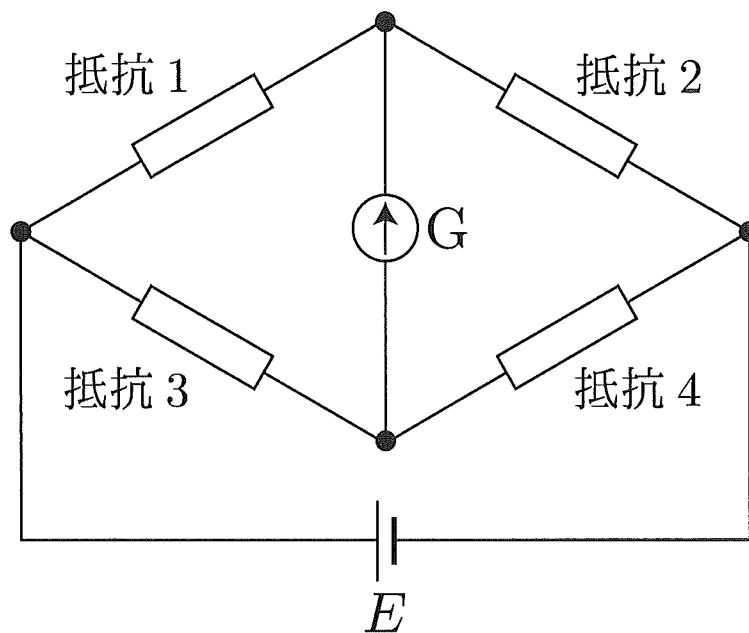


図1

問1 抵抗1に加わる電圧の大きさ V_1 [V] と、抵抗2に加わる電圧の大きさ V_2 [V] の比 $\frac{V_2}{V_1}$ を、 E , R_1 , R_2 , R_3 のうち、必要なものを用いて表せ。

問2 R_4 [Ω] を、 R_1 , R_2 , R_3 を用いて表せ。

II. 単一の抵抗に加わる電圧と流れる電流との間の関係を、電流-電圧特性という。電流-電圧特性が直線で表せない抵抗のことを非直線抵抗という。図1の回路が非直線抵抗を含む場合について考える。

図1の回路において、抵抗1は非直線抵抗X、抵抗2、3はそれぞれ抵抗値が R_2 [Ω]、 R_3 [Ω]の抵抗、抵抗4は非直線抵抗Yであるとする。非直線抵抗Xおよび非直線抵抗Yの電流-電圧特性は未知であるとする。検流計Gに電流は流れていらないものとする。直流電源の電圧の大きさを E [V]とする。このとき、以下の間に答えよ。

問3 抵抗1に加わる電圧の大きさを V_X [V]、抵抗1を流れる電流の大きさを I_X [A]とする。抵抗2にオームの法則を適用することによって、 I_X [A]を V_X 、 E 、 R_2 を用いて表せ。

問4 $E = 4.0$ V、 $R_2 = 1.0$ Ω、 $R_3 = 2.0$ Ωとする。このとき、以下の(a)、(b)の2つの場合について、それぞれ答えよ。

(a) 非直線抵抗Xとして、図2の(あ)に示される電流-電圧特性を持つ非直線抵抗を用いた場合を考える。このとき、 V_X [V]、および、抵抗4に加わる電圧の大きさ V_Y [V]を、それぞれ有効数字2桁で求めよ。

(b) 非直線抵抗Xと非直線抵抗Yとして、図2の(あ)、(い)、(う)、(え)に示される電流-電圧特性を持つ非直線抵抗のいずれかを、それぞれ用いた場合を考える。非直線抵抗Xと非直線抵抗Yの電流-電圧特性として、最も適した組み合わせを答えよ。解答においては、それを(あ)、(い)、(う)、(え)から一つずつ選ぶこと(例:「X:(い)、Y:(あ)」)。なお、「X:(い)、Y:(い)」のように、XとYについて同じ選択肢を選んでもよい。

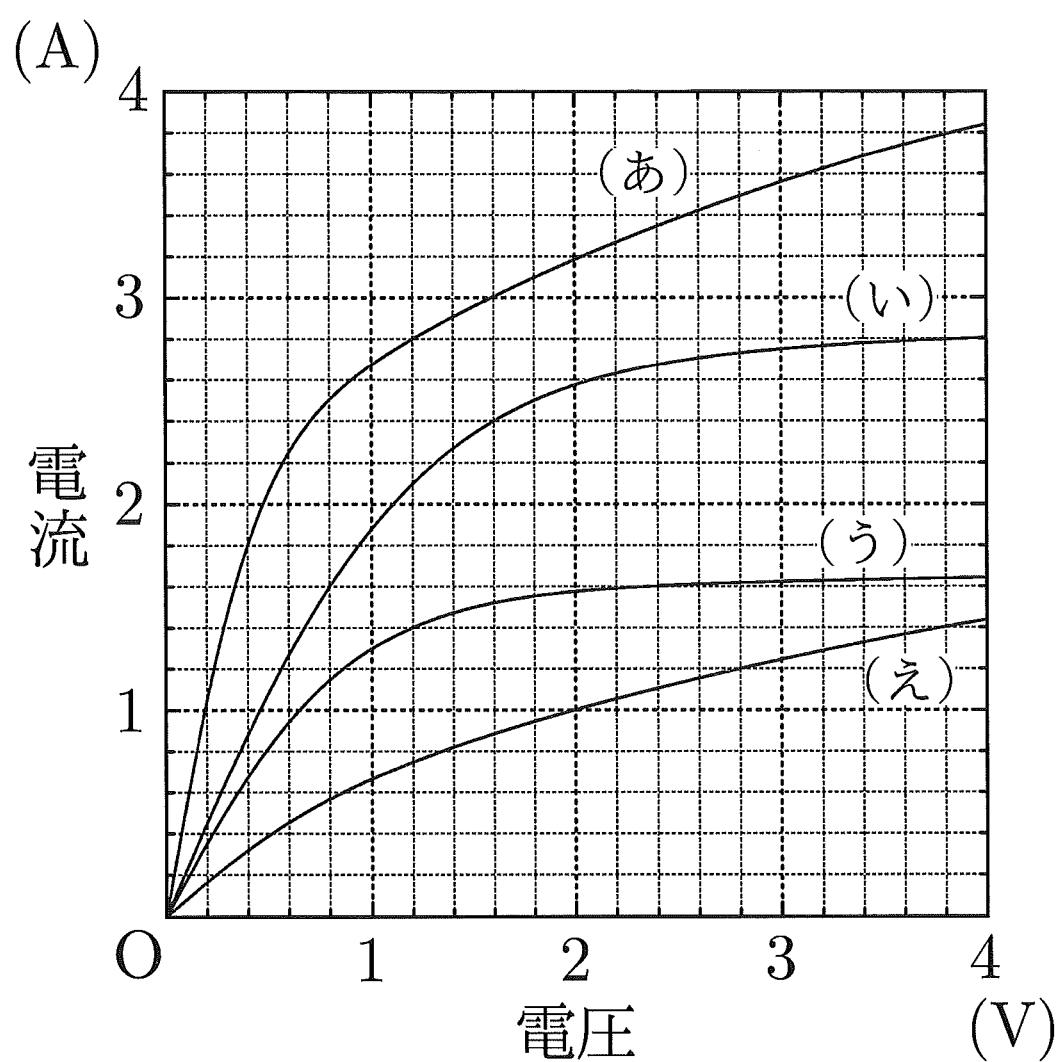


図 2

III. さらに、図 3 の回路について考える。交流電源の電圧は、最大値が E_0 [V]、角周波数が ω [rad/s] であり、点ウを基準とした点アの電位は、時刻 t [s]において $E_0 \cos(\omega t)$ となる。抵抗 5, 6 の抵抗値を R [Ω]、コンデンサの電気容量を C [F]、コイルの自己インダクタンスを L [H] とする。交流電流計は、交流電流の大きさを測定できる装置である。測定の結果、あらゆる時刻において常に、点イと点エの間には電流が流れていなかった。このとき、以下の間に答えよ。なお、図 3 における矢印の向きを電流の正の向きとする。また、実数 $\alpha, \beta, \gamma, \theta$ に対して成り立つ、以下の公式を、必要に応じて用いてよい。

$$\alpha \cos \theta + \beta \sin \theta = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \cos(\theta + \gamma) \quad \left(\cos \gamma = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}, \sin \gamma = -\frac{\beta}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} \right)$$

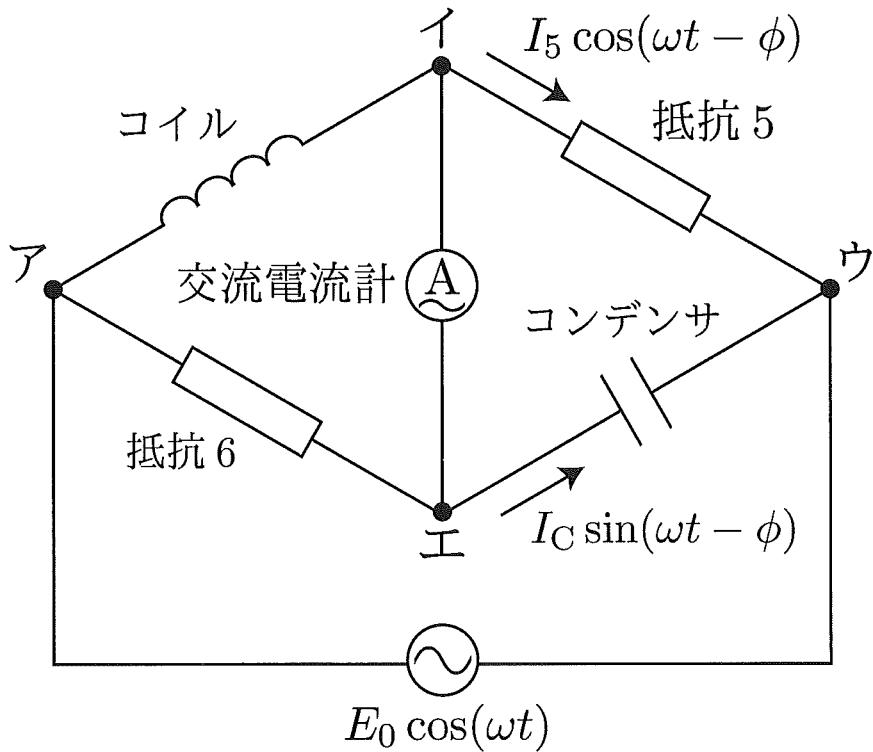


図 3

問 5 抵抗 5 を流れる電流を、その最大値 I_5 [A] と、交流電源の電圧との位相差 ϕ を用いて、 $I_5 \cos(\omega t - \phi)$ と表す。このとき、以下の文中の空欄 (a)~(d) に入るべき式を解答欄に記入せよ。ただし、(a), (b) については I_5 , ω , R , L のうち必要なものを用いて表し、(c), (d) については E_0 , ω , R , L のうち必要なものを用いて表せ。

点ウを基準とした点イの電位は (a) $\cos(\omega t - \phi)$ と表され、点イを基準とした点アの電位は (b) $\sin(\omega t - \phi)$ と表される。これらの和が、交流電源の電圧 $E_0 \cos(\omega t)$ と等しい。よって、 $I_5 =$ (c) [A], $\tan \phi =$ (d) であることがわかる。

問 6 コンデンサを流れる電流は $I_C \sin(\omega t - \phi)$ と表せる。 I_C [A] を、 I_5 , ω , R , C のうち必要なものを用いて表せ。

問 7 C [F] を ω , R , L のうち必要なものを用いて表せ。

[3] 以下のAとBの両方の問題に解答せよ。なおAとBは独立した内容の問題である。

A. 図1のような固定されたシリンダー内に、なめらかに動く2つのピストンがある。ピストンで仕切られたシリンダー内の各領域を、左から部屋A、部屋B、部屋Cとよぶ。部屋Aと部屋Bをピストン1、部屋Bと部屋Cをピストン2が仕切る。部屋Aと部屋Cの中にあるヒーター H_A とヒーター H_C を用いて、それぞれの部屋の内部にある気体を加熱することができる。シリンダー、ピストン、ヒーターをあわせて装置とよぶことにする。装置の熱容量は無視できる。

この装置のピストンを、外部から動かしたり固定したりすることができる。ピストンがヒーターにぶつからない範囲で動く場合について考える。各部屋にはそれぞれ1モルずつ、同一の理想気体が入っている。この理想気体の定積モル比熱を C_V 、定圧モル比熱を C_p とする。気体定数を R とする。

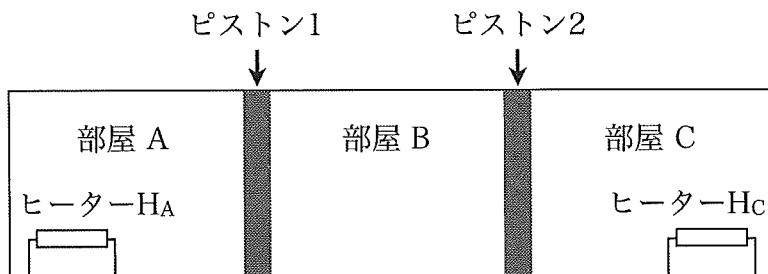


図1

I. この装置を絶対温度 T_0 の環境に置いて、順番に以下の操作をする。はじめ、部屋A、B、Cの気体の体積はいずれも V_0 であった。装置は外部に熱を通すものとする。以下の間に答えよ。

図2に、絶対温度 T が一定である1モルの理想気体の圧力と体積の関係を示す。解答にあたっては、図2の斜線部の面積が $RT \log \frac{V_2}{V_1}$ であることを用いてよい。ここでの $\log x$ は、 $\log_e x$ である。 $e (= 2.71828 \dots)$ は無理数であり、 e を底とする対数を自然対数という。

問1 まず、ピストン2を固定した状態でピストン1を十分にゆっくりと右に動か

し、部屋 A の気体の体積が $\frac{4}{3}V_0$ となったところでピストン 1 を固定した。このときの、部屋 B の気体の圧力 p_B を、 R , T_0 , V_0 を用いて表せ。

問 2 問 1 の操作によってピストン 1 が部屋 B の気体にした仕事 W_B を、 R , T_0 , V_0 のうち必要なものを用いて表せ。

問 3 問 1 で最後にピストン 1 を固定した状態からピストン 2 を十分にゆっくりと左に動かし、部屋 C の気体の体積が $\frac{4}{3}V_0$ となったところでピストン 2 を固定した。問 1 の操作を始める前からここにいたるまでの変化について、以下の量を R , C_V , T_0 , V_0 のうち必要なものを用いて表せ。

(a) 3 つの部屋内にある気体の内部エネルギーの増加量の総和 ΔU

(b) 装置から外部に放出された熱の総量 Q

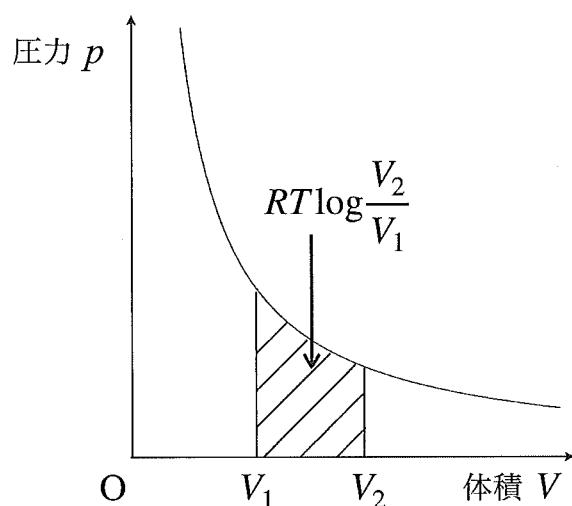


図 2

II. ふたたび、各部屋の気体の体積が V_0 、絶対温度が T_0 である状態から操作を始める。これ以降は装置を断熱材で覆い、シリンダーの外壁を通した外部との熱のやりとりが起きないものとする。2つのピストンは固定されていない。ピストンは熱を通さない素材でできており、部屋の間での熱のやりとりはないものとする。このときの装置と気体の状態を状態（あ）とする。

まず、ヒーター H_A を用いて部屋 A の気体をゆっくりと加熱したところ、2つのピストンがゆっくりと動き始めた。加熱をやめてから十分に時間が経ち、2つ

のピストンが静止したときの装置と気体の状態を、状態（い）とする。さらに、ヒーター H_C を用いて部屋 C の気体をゆっくりと加熱したところ、2つのピストンがゆっくりと動き始めた。加熱をやめてから十分に時間が経ち、2つのピストンが静止したときの装置と気体の状態を、状態（う）とする。状態（う）において、部屋 A, B, C の気体の体積比は $4:1:4$ になっていた。以下の間に答えよ。

解答にあたっては、 p を理想気体の圧力、 V を理想気体の体積とすると、断熱過程において pV^γ が一定に保たれることを用いてよい。ただし、 $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$ である。

問 4 状態（う）における部屋 B の気体の絶対温度 T_B を、 γ , T_0 のうち必要なものを用いて表せ。

問 5 ヒーター H_A が部屋 A の気体に与えた熱を Q_1 、ヒーター H_C が部屋 C の気体に与えた熱を Q_2 とする。 $Q_1 + Q_2$ を γ , C_V , T_0 を用いて表せ。

問 6 状態（い）における部屋 A, B, C の気体の体積を、それぞれ V_A , V_B , V_C とする。 $V_A : V_B : V_C$ を、最も簡単な整数の比で表せ。

B. X線は可視光や紫外線よりも波長の短い光であり、加速した電子を物質の表面に照射すると発生する。

I. 図1のような装置を使用して、X線を発生させる場合について考える。ただし、フィラメントの電源の電圧 V_0 は、高圧電源の電圧 V に対して十分に小さい。

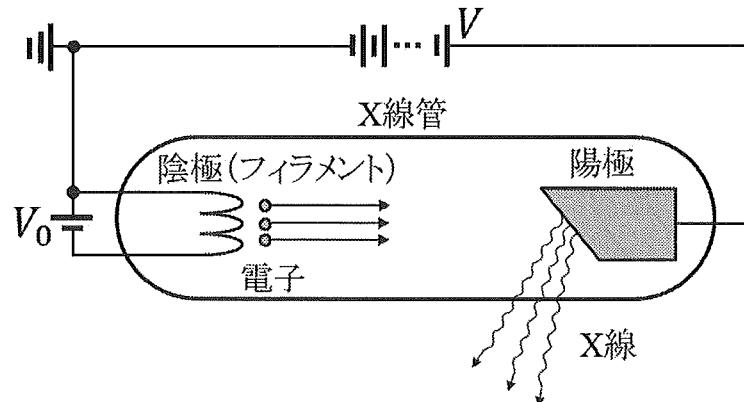


図 1

陰極・陽極間に高電圧 V を加えるとX線が発生し、発生するX線の波長とその強度の関係(X線波長スペクトル)は、図2のようになる。連続X線と、特定の波長に強い強度をもつ固有X線(特性X線)が発生することがわかる。電子の質量を m 、電子の電荷を $-e$ 、プランク定数を h 、光の速さを c として、以下の間に答えよ。

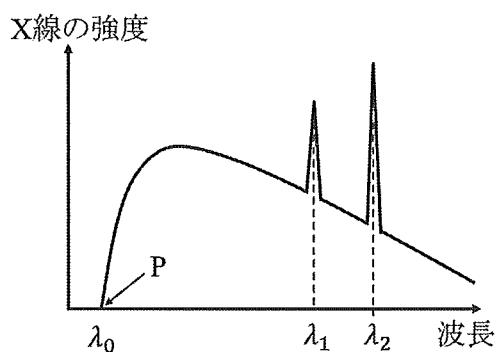


図 2

問 7 図2に示されている点Pの波長(最短波長) λ_0 を h , c , m , e および V のうち必要なものを用いて表せ。

II. 図 3 のような原子モデルを使って、原子番号が Z ($10 < Z \leq 18$) の原子が放出する固有 X 線を考える。中心に電荷 $+Ze$ を持つ原子核があり、そのまわりを電子が等速円運動している。

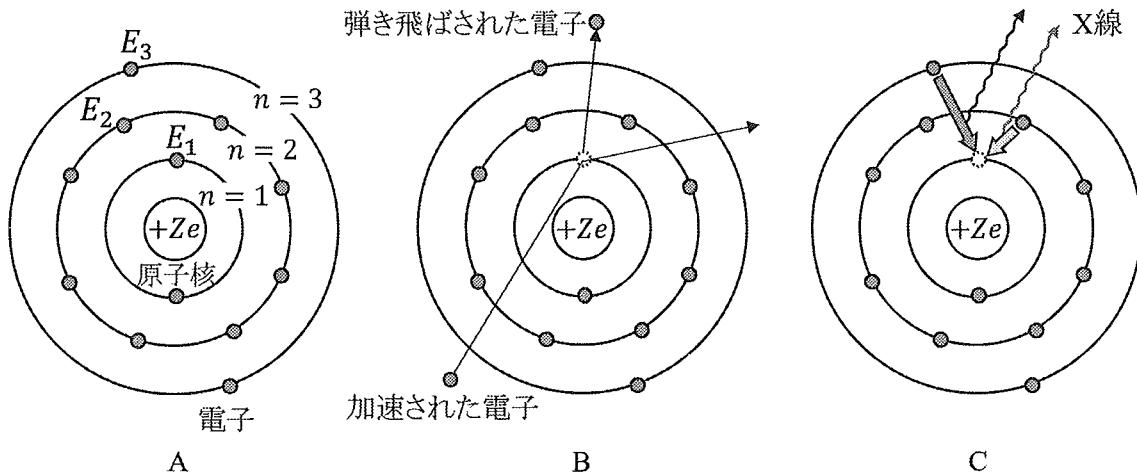


図 3

軌道上の電子は、次の量子条件にしたがう。

量子条件 原子内の電子は、円軌道の周の長さが物質波の波長の n 倍 (n は正の整数) であるときに、定常状態として安定に存在できる。

円軌道上の電子は、図 3A のように、定まった個数 ($n = 1$ の軌道には 2 個, $n = 2$ の軌道には 8 個, ...) だけ、低いエネルギー準位から状態を占めていく。同一 (n 番目) の軌道にある電子は、同じエネルギー準位 E_n をもつとする ($E_n < 0$)。円軌道にある電子には、原子核との間にクーロン力がはたらき、他の電子から力は受けないとする。ただし、 $n \geq 2$ の軌道にある電子からは、より内側の軌道にある電子の数の分だけ、原子核の電荷を打ち消すように見えるため、クーロン力は補正を受ける（例えば、図 3A の $n = 2$ の軌道にある電子からは、原子核の電荷が $+(Z - 2)e$ 見える）。

固有 X 線は、次の振動数条件にしたがって放出される。

振動数条件 図 3B のように、加速された電子が原子内の電子を弾き飛ばしたとき、図 3C のように、外側の軌道の電子がより内側の軌道に移って、エネルギー準位差に対応する振動数の X 線が放出される。

軌道上の電子の速さは、光の速さ c より十分に遅いとして、以下の間に答えよ。

- 問 8 図 3A の $n = 3$ の軌道の半径を r_3 としたとき、クーロン力と遠心力のつり合いの関係から、 r_3 を、 h , m , e , Z , 真空中のクーロンの法則の比例定数 k_0 を用いて表せ。
- 問 9 図 3A のエネルギー準位 E_2 , E_3 を、水素原子 ($Z = 1$) の基底状態の電子のエネルギー準位 E_H と Z のみを使ってそれぞれ表せ。ただし、クーロン力による位置エネルギーは無限遠をゼロ（基準）とする。
- 問 10 図 2 に示されている固有 X 線の 2 つのピークは、図 3C のように、電子が $n = 2$ から $n = 1$ と、 $n = 3$ から $n = 1$ の軌道へ移るときに放出される X 線に対応する。固有 X 線が放出される直前には、 $n = 1$ の軌道にある電子の数は 1 個であることに注意して、固有 X 線の波長 λ_2 を、 E_H , Z , h , c を使って表せ。