

2020 年 度

問題冊子

教 科	科 目	ページ数
理 科	物 理	13

検査開始の合図があるまで、問題冊子を開かないこと。

解答の書き方

1. 解答は、すべて別紙解答用紙の所定欄に、はっきりと記入すること。
2. 解答を訂正する場合には、きれいに消してから記入すること。
3. 解答用紙には、解答と選択した選択問題の番号、志望学部及び受験番号のほかは、いっさい記入しないこと。
4. 問題〔Ⅰ〕、〔Ⅱ〕、〔Ⅲ〕、〔Ⅳ〕、〔Ⅴ〕は選択問題である。5つのうち4つを解答すること。5問すべてを解答してはいけない。選択問題〔Ⅰ〕、〔Ⅱ〕、〔Ⅲ〕、〔Ⅳ〕、〔Ⅴ〕のうち、選択した問題の番号を解答用紙(その1)の所定の枠内に記入すること。

注 意 事 項

1. 検査開始の合図の後、すべて(5枚)の解答用紙に志望学部及び受験番号を必ず記入すること。
2. 理科の選択科目は、出願時に選択したものと異なるものについて解答してはいけない。
3. 下書き用紙は、片面だけ使用すること。
4. 検査終了時には、解答用紙を必ずページ順に重ね、机上に置くこと。解答用紙は、解答していないものも含め、すべて(5枚)を回収する。
5. 検査終了後、問題冊子及び下書き用紙は持ち帰ること。

〔選択問題〕

- 〔Ⅰ〕 図1-1に示すように段差のあるなめらかな床があり、上段は曲面と水平面1、下段は水平面2を持つ。水平面2の上に曲面と水平面を持つ質量 $4m$ の台Aが置かれている。曲面につながる床の水平面1と台A上面の水平面は同じ高さとする。水平面1を基準として高さ h の床の曲面上にある質量 m の物体Bを静かに離す。物体Bはなめらかに台Aの上面に乗り移ることができ、台Aは水平面2に沿って動くものとする。物体Bの大きさは無視できるものとし、床、台A、物体Bとの間にはそれぞれ摩擦はないものとする。重力加速度の大きさを g として、以下の問いに答えなさい。なお、図の右方向を正とする。

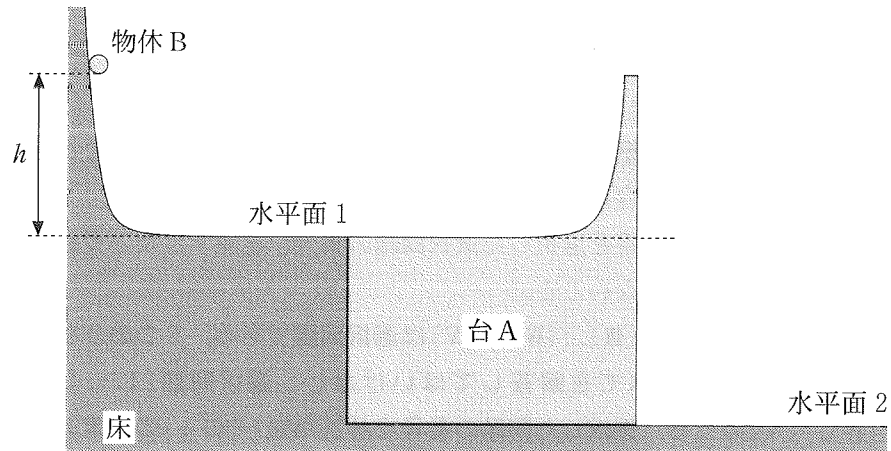


図1-1

- (1) 物体Bが曲面をすべりおり、水平面1に達したとき、物体Bの水平方向の速度を求めなさい。
- (2) 物体Bが台Aに乗り移り、曲面を上って最高点に達した。物体Bが最高点に達したとき、台Aの床に対する水平方向の速度を求めなさい。
- (3) (2)のとき、物体Bの水平面1からの高さを求めなさい。
- (4) 物体Bは台Aで最高点に達した後すべりおり、再度台A上面の水平面に達した。このときの台Aおよび物体Bの床に対する水平方向の速度をそれぞれ求めなさい。

結晶はこの単位格子が x, y, z の 3 次元に周期的に配列したものである。 x 軸方向から見た結晶の原子配列投影図を図 5-4 (b) に示す。この原子配列の金属結晶に対して y 軸方向から③の X 線を入射させた。引き続き X 線の入射方向を yz 面 (紙面) 内で徐々に傾けていくと、図 5-4 (c) に示すように入射 X 線の進行方向から 60° の方向へ強め合った反射 X 線が初めて観測された。

(6) この条件で結晶面 (格子面) の間隔 d を与える式を求めなさい。

(7) この体心立方格子を持つ金属の格子定数 a を求めなさい。

次に、台 A にかえて、図 1-2 に示すように水平な底面とそれに垂直ななめらかな側面をもつ容器状の物体 C を置いた。物体 C の質量は $4m$ とし、内部の深さと底面の幅はともに h とする。床の水平面 1 と物体 C 上面の水平面は同じ高さとする。水平面 1 から高さ h の床の曲面上にある質量 m の物体 B を先ほどと同様に静かに離す。物体 B はなめらかに物体 C の上面に乗り移ることができ、物体 C の内側の側面に向かって飛び出すものとする。物体 B と物体 C の内側の側面との間の反発係数を $\frac{1}{2}$ とし、物体 B と物体 C が衝突した後、物体 C は水平面 2 上を動くものとする。床、物体 B、物体 C との間にはそれぞれ摩擦はないものとし、物体 B と物体 C が衝突したとき、物体 C の側面に沿った方向の力は生じないものとする。以下の問いに答えなさい。

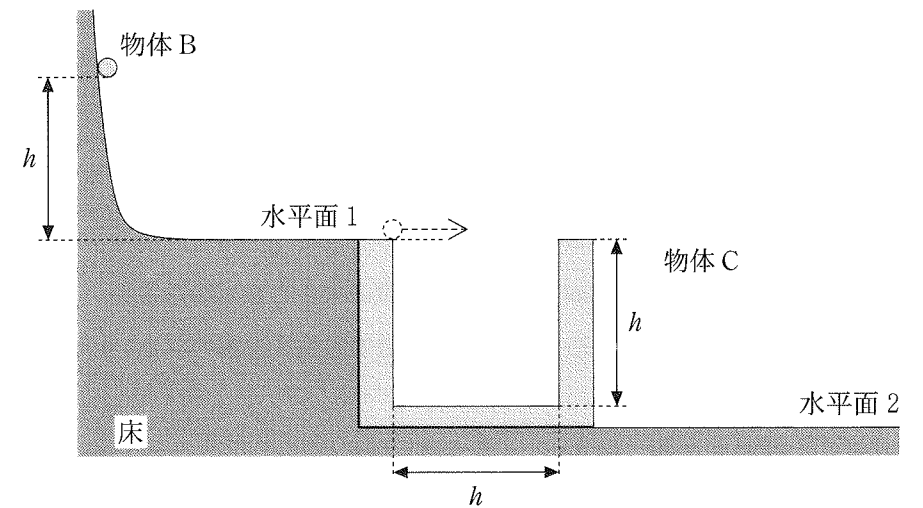


図 1-2

(5) 物体 B が物体 C の上面を飛び出してから、物体 C 内側の側面に最初に到達するまでの時間を求めなさい。

(6) 物体 B が物体 C 内側の側面に最初に衝突した後、底面に衝突するまでの間の物体 C の床に対する水平方向の速度を求めなさい。

(7) 物体 B が物体 C の底面に最初に到達したとき、物体 C が静止状態から水平面 2 の上を進んだ距離を求めなさい。

〔選択問題〕

〔Ⅱ〕 以下の設定AからFにおけるコンデンサーの性質について考える。真空の誘電率を ϵ_0 とし、空気の誘電率はそれに等しいものとする。以下の問いに答えなさい。

設定A：面積 S の金属板を極板とし極板間の距離が d となるように平行においた(コンデンサーA)。極板間に電池を接続し、電圧 V を加えた。十分時間が経過した後、電池を切り離れた。

- (1) 極板間の電場の強さを求めなさい。
- (2) 正に帯電した極板上の電気量を求めなさい。

設定B：設定Aの後、図2-1のように、極板間に面積 S 、厚さ xd の金属Mを極板と平行に入れた。ただし $0 < x < 1$ とする(コンデンサーB)。

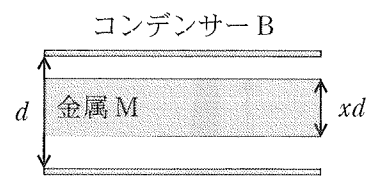


図2-1

- (3) 金属M中での電場の強さを求めなさい。
- (4) 金属Mの面積 S の上面に現れた電気量の大きさを求めなさい。
- (5) 極板間の金属Mが存在しない部分の電場の強さを求めなさい。

設定C：設定Aの後、図2-2のように、極板間に面積 S 、厚さ d 、比誘電率 ϵ_r の誘電体を極板と平行に入れた(コンデンサーC)。

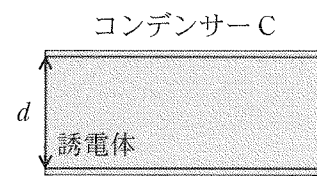


図2-2

- (6) 誘電体表面には極板と異種の電荷が現れる。この現象を何というか答えなさい。
- (7) 極板間の電場の強さを求めなさい。

設定D：コンデンサーA, B, Cを、いったん完全に放電した後、この順で直列に接続し、両端に電圧 V_0 を加えた。

- (8) コンデンサーCの両端の電位差を求めなさい。

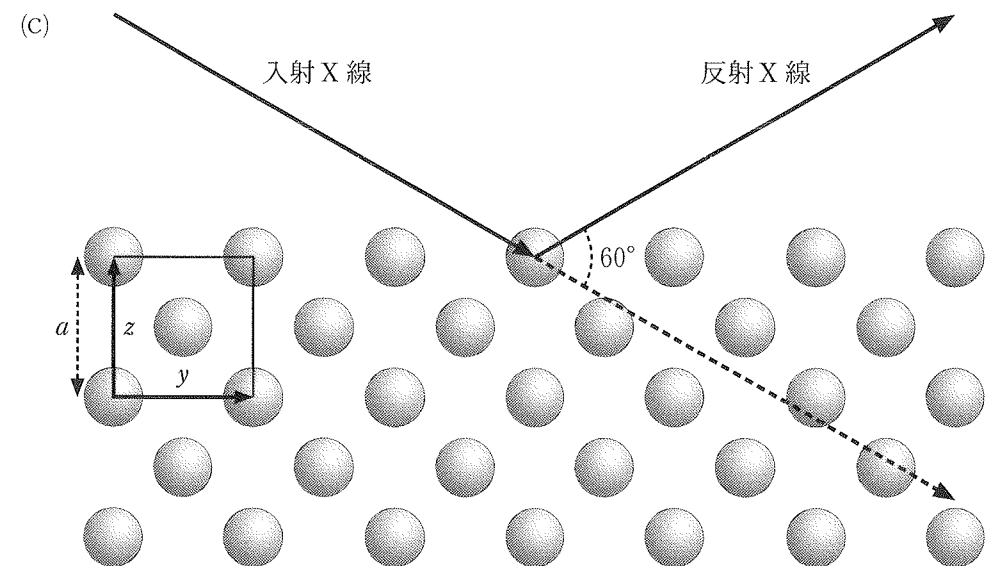
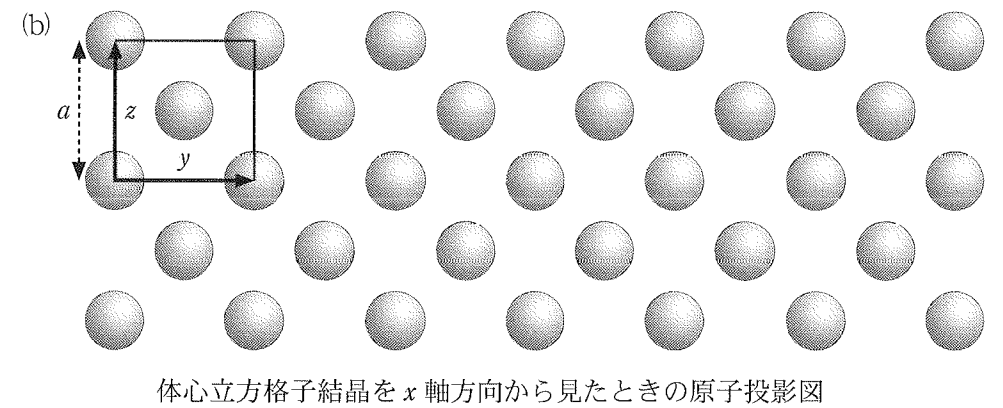
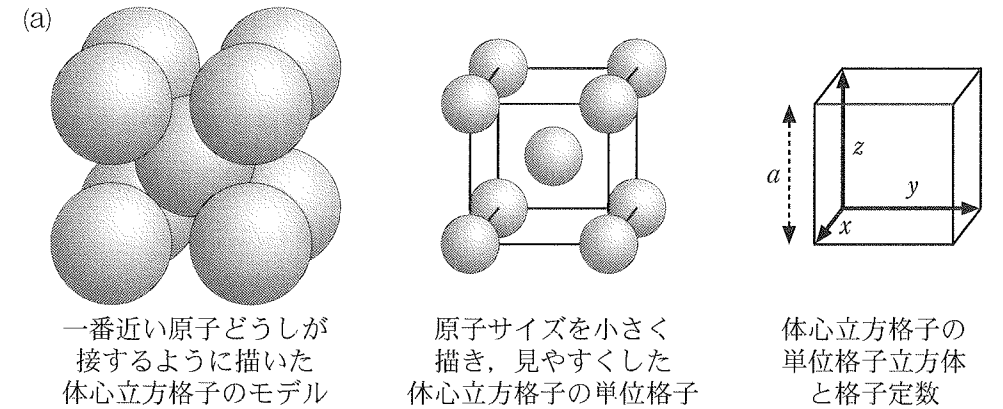


図5-4

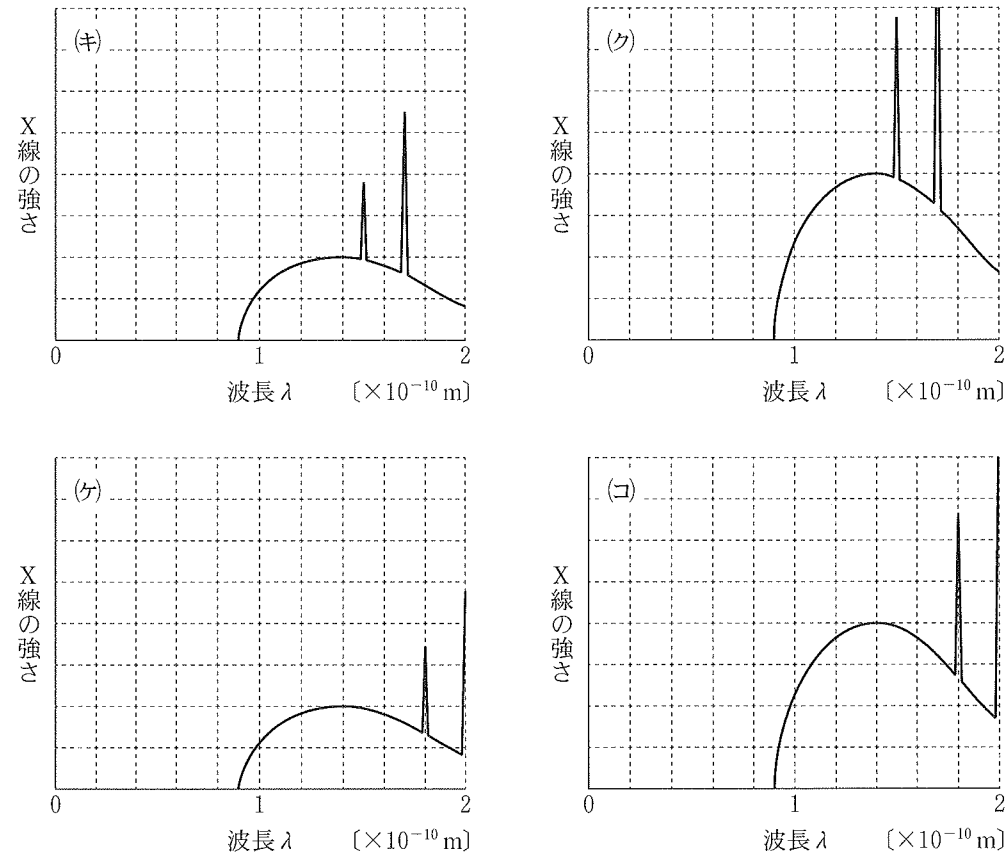


図 5-3 (前ページからの続き)

フィラメント電流を I_f に戻すと、陽極と陰極の間に流れる電流も I_0 に戻った。その状態から高電圧電源の電圧を V_0 より高くした。

(5) このとき、X線スペクトルはどのようなになるか。最適なスペクトルの図を図 5-3 (ア)~(コ)の中から 1 つ選びなさい。

フィラメント電流を I_f 、高電圧電源の電圧を V_0 、陽極と陰極の間の電流を I_0 として、X線スペクトルを図 5-2 の分布に戻した。ここで③ 1.7×10^{-10} m の波長の X 線を用いて体心立方格子を持つ金属結晶の X 線回折実験を行った。

体心立方格子の基本構造(単位格子)を図 5-4 (a)に示す。この単位格子立方体の一辺の長さは格子定数 a と呼ばれる。

設定 E : コンデンサー A, B, C を並列に接続し、両端に電圧 V_E を加えた。

(9) コンデンサー C の正に帯電した極板上の電気量を求めなさい。

設定 F : 設定 A においてコンデンサー A の極板間に加えた電圧が 20 V であったとする。このコンデンサーを図 2-3 のように抵抗、電流計、スイッチをリード線で接続した。スイッチを閉じ、このときから時間 20 s ごとに電流の値を測定したところ、表の結果を得た。

(10) 表の結果から、コンデンサーの電気容量を求めなさい。ただし、その導出過程も答えなさい。

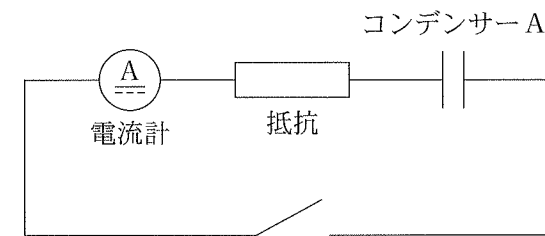


図 2-3

表

時刻 [s]	0	20	40	60	80	100	120	140	160
電流 [μ A]	80	50	30	20	12	6	2	0	0

〔選択問題〕

〔Ⅲ〕 可視光範囲で連続な波長分布を持つ白色光を考える。図3-1のように白色光が空気に接する膜厚 d の薄膜に角度 θ で入射している。薄膜の底面で反射した光(経路 $ABB'C$)と薄膜の上面で反射した光(経路 $A'B'C$)が干渉する。ただし、入射光は平面波であり、その波面は線分 AA' と平行である。また、白色光は、空気中では速さ v で伝わり、薄膜中では速さ av ($a < 1$, a は光の波長によらず一定とする)で伝わるものとして、以下の問いに答えなさい。

- (1) 空気に対する薄膜の屈折率 n_{12} を求め、 θ を用いずに答えなさい。
- (2) 薄膜の底面で反射した光(経路 $ABB'C$)と薄膜の上面で反射した光(経路 $A'B'C$)の光路差を、 d, n_{12}, θ を用いて表しなさい。
- (3) 膜の底面で反射した光(経路 $ABB'C$)と膜の上面で反射した光(経路 $A'B'C$)が強め合う条件を満たす光の波長 λ_k を、正の整数 k ($k = 1, 2, 3, \dots$) および、 d, n_{12}, θ を用いて表しなさい。

白色光の可視光波長範囲は図3-2に示すとおり、 $3.8 \times 10^{-7} \sim 7.8 \times 10^{-7} \text{ m}$ であることが知られており、図中に示す色で知覚される。

以下の問いでは、 $a = 0.8, \theta = 0^\circ$ として答えなさい。

- (4) $d = 1.0 \times 10^{-7} \text{ m}$ のとき、反射光が強め合うための条件を満たす正の整数 k の値をすべて求めなさい。
- (5) $d = 4.0 \times 10^{-7} \text{ m}$ のとき、反射光が強め合う波長に対応する色を、図3-2に示された色を用いてすべて答えなさい。

- (4) このとき、X線スペクトルはどのようなになるか。最適なスペクトルの図を図5-3(ア)~(カ)の中から1つ選びなさい。

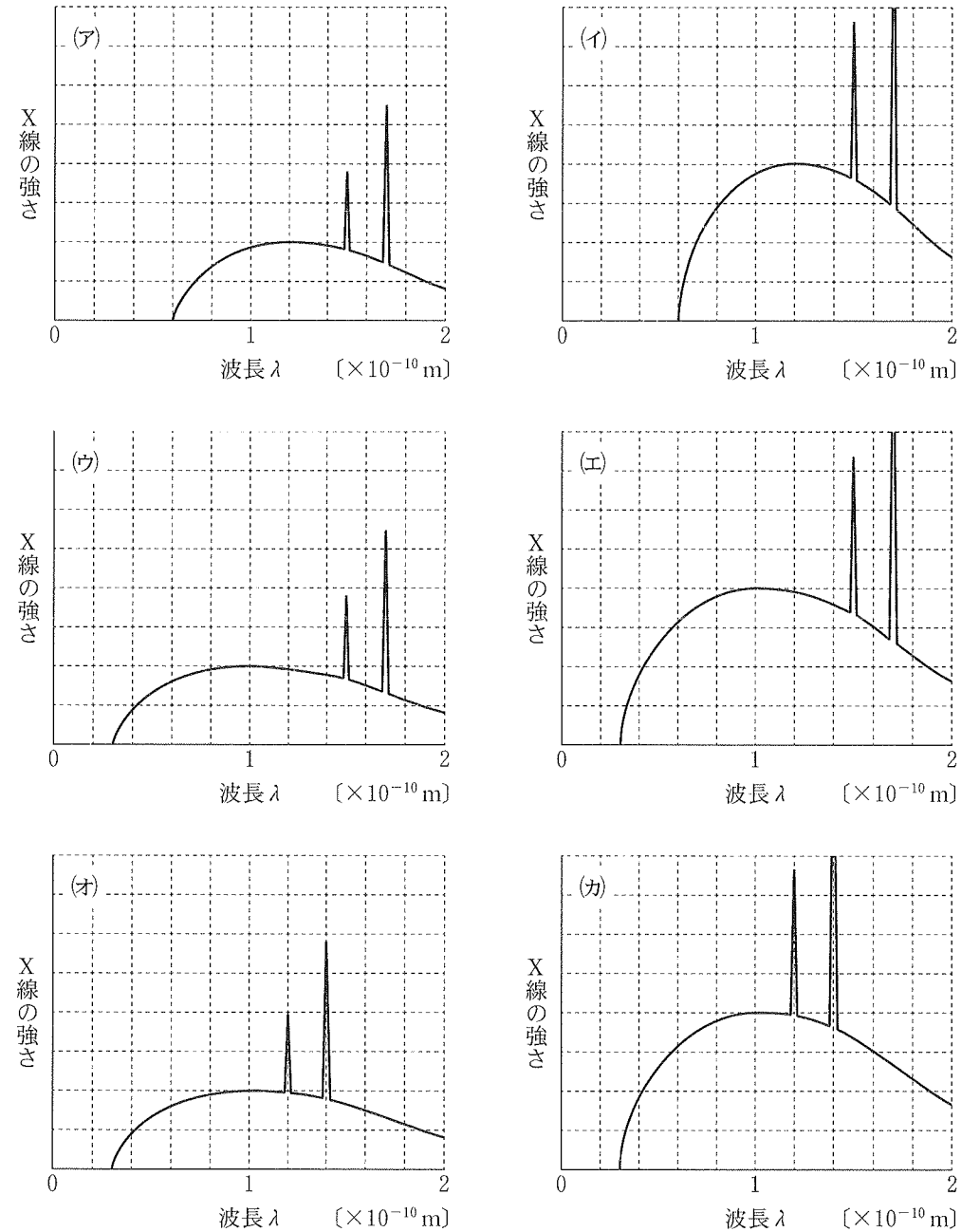


図5-3 (次ページへ続く)

〔選択問題〕

〔V〕 図5-1に示す陽極ターゲットを金属ニッケルとした真空管を用いてX線を発生させる。以下の問いに答えなさい。フィラメント電源の電圧は高電圧電源Vの電圧よりはるかに低く、陰極と陽極の間の電位差への影響は無視できる。必要であれば、電気素量 1.6×10^{-19} C、真空中の光速 3.0×10^8 m/s、プランク定数 6.6×10^{-34} J・sの値を用いること。

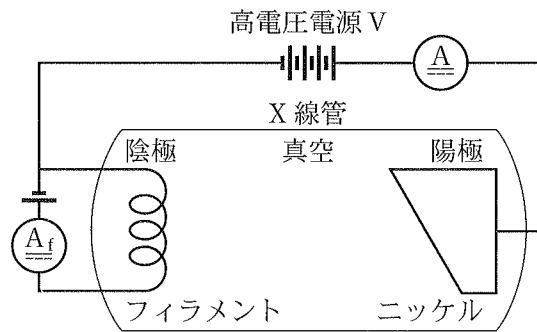


図5-1

(1) 1895年にX線を発見して、第1回ノーベル物理学賞を受賞した人物の名前を答えなさい。

フィラメントに電流 I_f を流し、高電圧電源Vで V_0 の電圧をかけたところ、陽極と陰極の間に I_0 の電流が流れ、ニッケルターゲットからX線が放出された。X線の強さと波長の関係(スペクトル)を調べたところ図5-2の結果を得た。①最短波長 0.6×10^{-10} mからの滑らかな分布に加え、② 1.5×10^{-10} mと③ 1.7×10^{-10} mに鋭いピークを持つX線の波長分布となっていた。

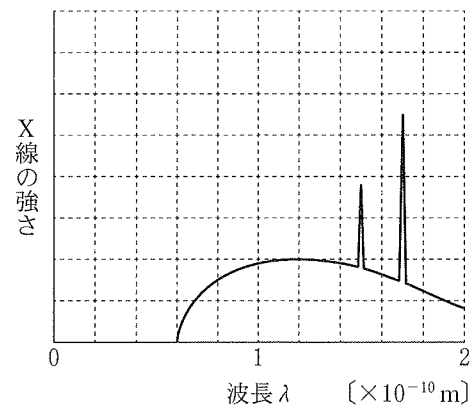


図5-2

(2) (a) ①の滑らかな分布のX線, (b) ②③の鋭いピークのX線の名称を答えなさい。
 (3) このときの高電圧電源の電圧 V_0 の値を求めなさい。

高電圧電源の電圧を V_0 に保ったまま、フィラメント電流を I_f から増やすと陽極と陰極の間の電流も I_0 より増加した。

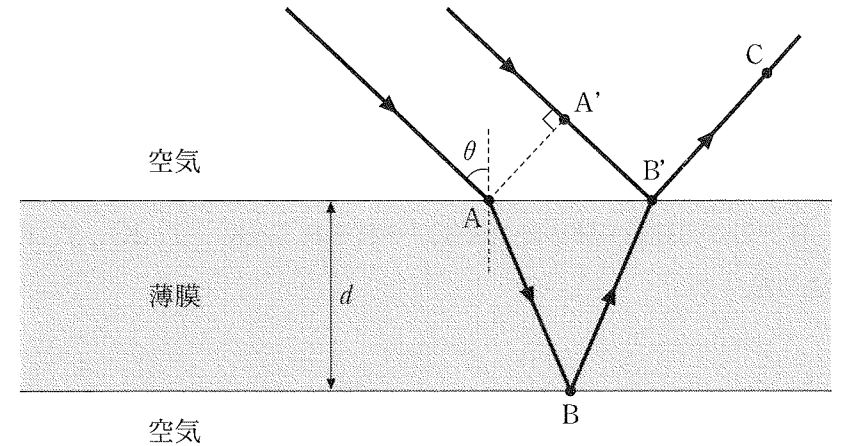


図3-1

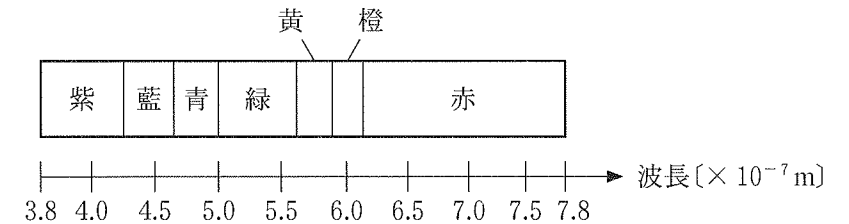


図3-2

〔選択問題〕

〔IV〕 n [mol] の理想気体を体積 V [m³] の容器に封入し、図4のような定圧変化と断熱変化を組み合わせたサイクル $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ を考える。ここで、図4の縦軸はこの理想気体の圧力 p [Pa]、横軸は体積 V [m³] を表し、状態 A , B , C , D でのこの理想気体の絶対温度がそれぞれ T_A [K], T_B [K], T_C [K], T_D [K] であった。

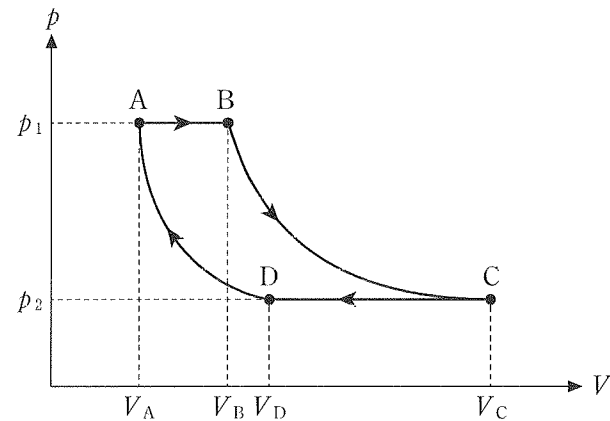


図4

サイクル $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ の状態変化は以下の過程で行われた。

- ・状態 A から状態 B へは、圧力 p_1 [Pa] を一定に保ったまま、ゆっくりと体積を V_A [m³] から V_B [m³] へ膨張させた。
- ・状態 B から状態 C へは、容器外部との熱のやりとりをさせずにゆっくりと体積 V [m³] と圧力 p [Pa] をそれぞれ (V_B, p_1) から (V_C, p_2) へ変化させた。
- ・状態 C から状態 D へは、圧力 p_2 [Pa] を一定に保ったままゆっくりと体積を V_C [m³] から V_D [m³] へ収縮させた。
- ・状態 D から状態 A へは、容器の外部との熱のやりとりをさせずにゆっくりと体積 V [m³] と圧力 p [Pa] をそれぞれ (V_D, p_2) から (V_A, p_1) へ変化させた。

以下の問いに答えなさい。ただし、気体定数を R [J/(mol·K)]、定積モル比熱を C_V [J/(mol·K)] とし、断熱変化の下ではこの理想気体はポアソンの法則に従い、 γ を定数として pV^γ が一定に保たれるものとする。

- (1) 状態 A から状態 B への変化の過程でこの理想気体がした仕事 $W_{A \rightarrow B}$ [J] を、理想気体が外部にする仕事を正として n, R, T_A, T_B を用いて表し、答えなさい。
- (2) 状態 A から状態 B への変化の過程でこの理想気体が外部とやりとりした熱量 $Q_{A \rightarrow B}$ [J] を、理想気体が外部から受け取った熱量を正として n, R, C_V, T_A, T_B を用いて表し、答えなさい。
- (3) 状態 B から状態 C への変化の過程でこの理想気体が外にした仕事 $W_{B \rightarrow C}$ [J] を、理想気体が外部にする仕事を正として n, C_V, T_B, T_C を用いて表し、答えなさい。
- (4) 状態 C から状態 D への変化の過程でこの理想気体がした仕事 $W_{C \rightarrow D}$ [J] を、理想気体が外部にする仕事を正として $n, R, p_1, p_2, T_A, T_B, \gamma$ を用いて表し、答えなさい。(T_C および T_D は指定の変数に書き換えなさい。)
- (5) 状態 C から状態 D への変化の過程で理想気体が外部とやりとりした熱量 $Q_{C \rightarrow D}$ [J] を、理想気体が外部から受け取った熱量を正として $n, R, C_V, p_1, p_2, T_A, T_B, \gamma$ を用いて表し、答えなさい。(T_C および T_D は指定の変数に書き換えなさい。)
- (6) 状態 D から状態 A への変化の過程でこの理想気体がした仕事 $W_{D \rightarrow A}$ [J] を、理想気体が外部にする仕事を正として $n, R, C_V, p_1, p_2, T_A, \gamma$ を用いて表し、答えなさい。(T_D は指定の変数に書き換えなさい。)
- (7) サイクル $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ を通じて、この理想気体が外部にした仕事の総和(正味の仕事) $W_{A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A}$ [J] を、 $n, R, C_V, p_1, p_2, T_A, T_B, \gamma$ を用いて表し、答えなさい。(T_C および T_D は指定の変数に書き換えなさい。)
- (8) サイクル $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ の熱効率 e を p_1, p_2, γ を用いて表し、答えなさい。