

令和6年度個別学力試験問題

物 理

(理 工 学 部)

解答時間 90分

配 点 200点

注意事項

1. 解答開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
2. 問題は **1** から **4** まであります。
3. 問題中の物理量は特にことわらない限り国際単位系(SI)を使って表されています。
4. 受験番号を解答用紙の所定の欄に記入してください。
5. 解答は解答用紙の指定された解答欄に記入してください。
6. 問題冊子及び解答用紙の印刷不鮮明、ページの落丁及び汚損等に気付いた場合は、手を挙げて監督者に知らせてください。
7. 問題冊子及び計算用紙は持ち帰ってください。

- 1 図1—1のように、質量がともに m のおもり A と B が、質量の無視できる固い棒で連結されて、鉛直面内を滑らかに回転できるように、床の上に固定された支持台の上に取り付けられている。おもり A から回転軸までの距離は $2a$ 、おもり B から回転軸までの距離は a である。おもり B と回転軸を結ぶ線分が鉛直方向上向きとなす角を θ とする。すなわち、おもり B が回転軸の真上にあるときを $\theta = 0$ とする。支持台の高さはじゅうぶんにあるため、おもりが床などに衝突することはない。また、空気抵抗は無視できる。重力加速度の大きさを g として、あとの問いに答えなさい。

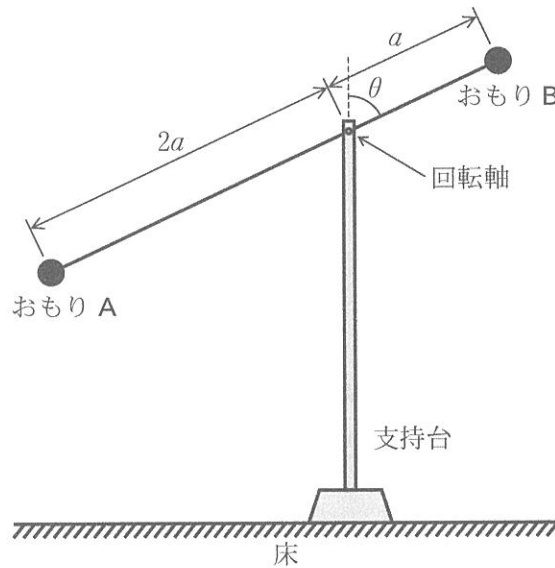


図1—1

問 1 連結された2つのおもりの位置エネルギーの和が最も大きくなるときと、最も小さくなるときとで、位置エネルギーの和はどれだけ変化するか、その大きさを答えなさい。

問 2 おもりと棒が一方方向に回転し続けるとき、おもり A の速さの最大値は少なくともいくらより大きくなければならないかを答えなさい。

おもり B に力を加えて $\theta = \theta_0$ ($0 < \theta_0 \leq \frac{\pi}{2}$) で静止するようにしたところ、そのときの力は鉛直下向きに F_0 であった。その後、直ちに力を加えるのをやめた。

問 3 F_0 の大きさを答えなさい。

問 4 力を加えるのをやめてから棒が鉛直 ($\theta = 0$) になるまでの間において、おもり B の速さを角度 θ の関数として求めなさい。

θ_0 がじゅうぶんに小さいとき、2つのおもりは単振動をする。この単振動について調べるために、図1—2のように、棒からそれぞれのおもりに対して、鉛直上向きに一定の力が働くと考えた。この力の大きさは、おもりAでは F_A 、おもりBでは F_B とする。

問 5 F_A と F_B は内力である。物体の形状が変化しないとき、物体の内力が物体全体に対してする仕事は0である。このとき、 F_A と F_B の間に成り立つ関係式を答えなさい。

問 6 この単振動の周期を求めなさい。

問 7 単振り子などでは振り子の振れが小さいとき、その周期は振幅に無関係に決まる。この性質を何と呼ぶか答えなさい。

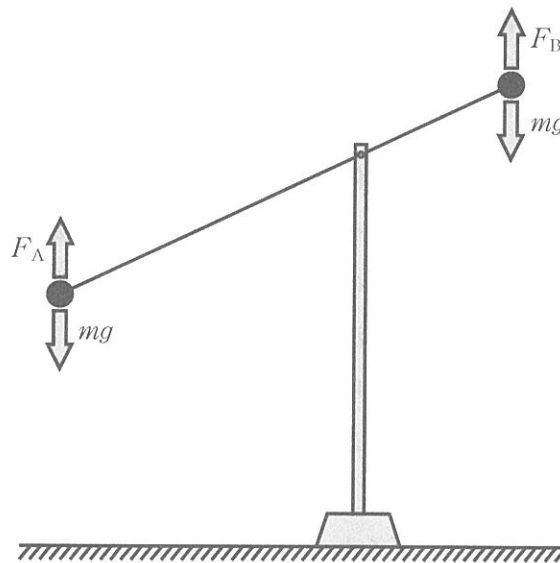


図1—2

2 半導体に関する以下の問いに答えなさい。

問 1 次の文章中の空欄(ア)～(コ)に当てはまる語句を書きなさい。

電流を担う自由電子が金属に比べてはるかに少数しか含まれていない物質を半導体という。その代表はケイ素(Si)である。半導体は、低温では抵抗率が大きく電気を通しにくいですが、温度が上がると固体中を移動できる電子などが生じ電気を通すようになる。このような半導体を(ア)半導体という。一方、微量の不純物を含み、(ア)半導体と比べて常温でも電気を通しやすくしたものを(イ)半導体という。4個の価電子をもつSiは、電子を互いに共有した共有結合によって結晶をつくる。Siにヒ素(As)やリン(P)などの5個の価電子をもつ不純物を微量混合すると、価電子が1個余る。この余った電子は結晶内を動き回ることができ、おもな電流の担い手となる。電流の担い手を(ウ)という。電子が(ウ)としてはたらく半導体を(エ)半導体という。Siにホウ素(B)やアルミニウム(Al)などの3個の価電子をもつ不純物を微量混合すると、価電子が不足して電子のない所ができる。これを(オ)という。(オ)が(ウ)としてはたらく半導体を(カ)半導体という。

(エ)半導体と(カ)半導体をそれぞれひとつずつ貼り合わせ、その両側に電極を取り付けたものを(キ)といい、その接合部分を(ク)接合という。(ク)接合に電圧を加えると、加える電圧の正・負の向きによって流れる電流に大きな差があり、電流が流れる向きを順方向、電流がほとんど流れない向きを逆方向という。このような、一方向にしか電流を流さない性質を(ケ)作用という。(キ)に順方向電圧を加えて電流を流すと光を発するものがある。このような素子を(コ)という。

問 2 図2-1のような、抵抗、ダイオード、電池、スイッチを接続した回路がある。ダイオードの電流-電圧の特性曲線は図2-2のグラフのようになっている。電池には内部抵抗はないものとする。

- (1) スイッチSをa側に入れたときに抵抗Rに流れる電流を求めなさい。
- (2) スイッチSをa側に入れたときにダイオードDで消費される電力を求めなさい。
- (3) スイッチSをb側に入れたときに抵抗Rに流れる電流を求めなさい。

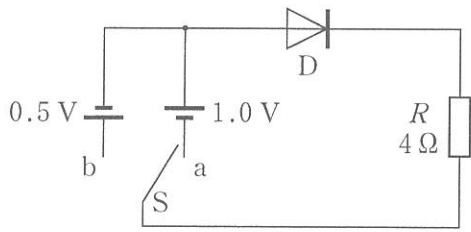


図 2-1

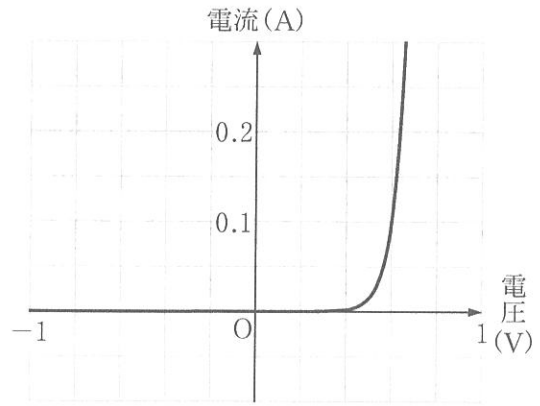


図 2-2

問 3 図 2-3 のような、周期 T 、振幅 V_0 の交流電源にダイオードと抵抗を接続した回路がある。点 b に対する点 a の電圧が図 2-4 のような時間変化を示すとき、抵抗 R に加わる電圧の時間変化を最もよく表すグラフを図 2-5 の①～⑥のうちからひとつ選びなさい。

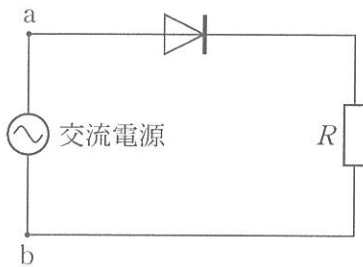


図 2-3

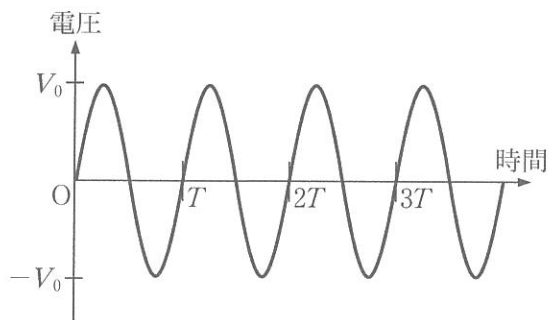


図 2-4

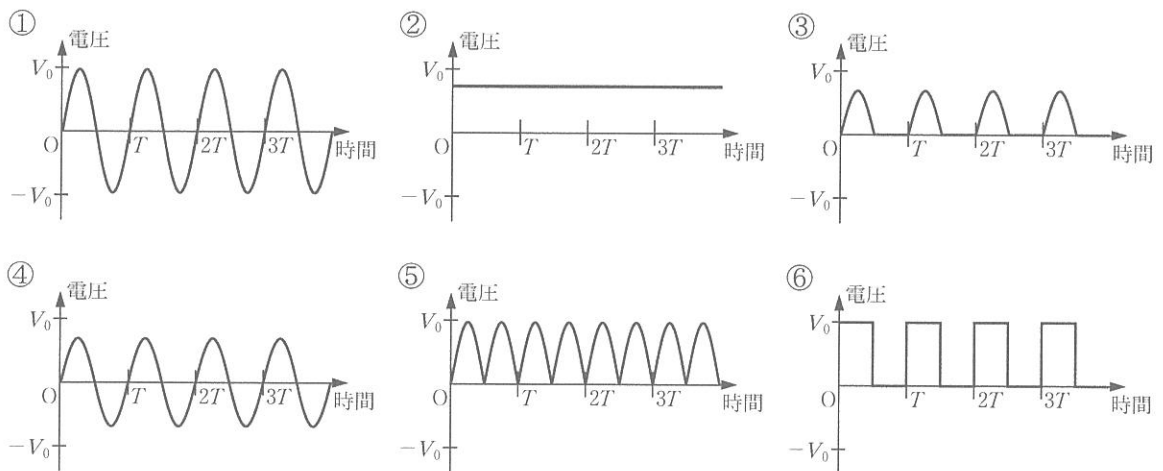


図 2-5

問 4 半導体にある一定以上のエネルギーの光が当たると、半導体を構成する原子から電子が離れ、電流の担い手となる自由電子が発生する。この現象を利用して光エネルギーを直接電気エネルギーに変える半導体素子が太陽電池である。いま、ある半導体で自由電子を発生させるのに必要なエネルギーを $5.4 \times 10^{-19} \text{ J}$ とすると、この半導体に自由電子を発生させる光の波長 λ が取りうる範囲を式で書きなさい。その際、数値は有効数字 2 桁とし、単位もあわせて示しなさい。光の速さ $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ 、プランク定数 $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ とする。

次のページにも問題があります。

3 地球の表面付近で岩盤の破壊が起こると、生じた振動が波として周囲に伝わる。これを地震波といい、地震波が到達すると観測者は揺れを感じる。地震波は、光や音波などと同様に、異なる性質の層の境界面で反射・屈折する。地震波の伝達経路を考慮することで、地層の厚さや地球内部の構造を知る手がかりを得ることができる。断りがない限り層内は均質であり、層の境界面は滑らかであると仮定して、あとの問いに答えなさい。

問 1 性質の異なる 2 つの地層(上層と下層)が水平構造をとっている。上層を速さ v で進行する地震波が入射角 α で下層に侵入したとき、屈折角は β であった。

(1) 下層を伝わる地震波の速さを、 v 、 α 、 β のうち必要なものを用いて表しなさい。

問 2 複数の観測地点で揺れをはじめて測定した時刻と震源(地震が起こった地点)までの距離を測定することで、地下構造を推定することができる。その方法の一つである屈折法地震探査の考え方を用いて、図 3—1 に示すような水平二層構造をとる層 1 の厚さ d を調べたい。観測地点および震源 S は地表面にあり、簡単のため、図 3—1 には観測地点は O_1 と O_2 の 2 箇所のみを示す。層 1 と層 2 の中を伝わる地震波の速さをそれぞれ V_1 、 V_2 ($V_1 < V_2$) として、あとの問いに答えなさい。

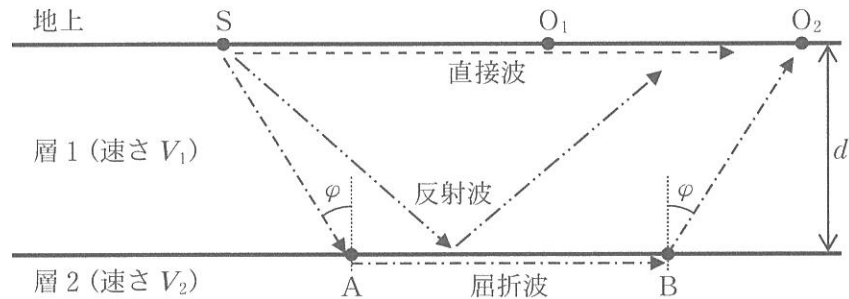


図 3—1

(2) 観測地点 O_1 (震源 S からの距離 l_1) では、震源 S から層 1 の中を直進して届く直接波がはじめに到達する。観測地点 O_1 で、地震発生から揺れを感じるまでの時間を、 l_1 、 d 、 V_1 、 V_2 のうち必要なものを用いて表しなさい。

(3) 層 1 の中を進行する地震波の一部は層の境界面で反射する(反射波)。反射波と直接波が届く順番について述べた文章(ア)~(オ)から適切なものを選びなさい。

- (ア) どの観測地点においても、直接波は反射波より遅れて届く。
- (イ) どの観測地点においても、反射波は直接波より遅れて届く。
- (ウ) 震源 S からじゅうぶんに離れている観測地点では、直接波は反射波より遅れて届く。
- (エ) 震源 S にじゅうぶんに近い観測地点では、直接波は反射波より遅れて届く。
- (オ) 層の厚さによって、直接波と反射波の届く順番は異なる。

- (4) 層1の中を進行する地震波は屈折して層2の中に侵入する。入射角 φ が臨界角であるとき、 φ 、 V_1 、 V_2 の関係式を書きなさい。
- (5) 地震波が層1の中を進行し、層1から層2に臨界角 φ でA点に侵入して層2の中を進行し、途中で層1にB点から角度 φ で戻って観測地点に届く地震波を屈折波と呼ぶ。観測地点 O_2 (震源からの距離 l_2)で、地震発生から屈折波が届くまでの時間を、 l_2 、 d 、 V_1 、 V_2 のうち必要なものを用いて表しなさい。
- (6) 層2の中の地震波の伝わる速さが層1より速い場合、ある観測地点より先では直接波より屈折波の方がはやく届く。直接波と屈折波が同時に届く観測地点の震源からの距離を l として、層1の厚さ d を、 l 、 V_1 、 V_2 を用いて表しなさい。

問 3 地球内部の地殻やマントルは固体であり、地表から深度が大きくなると密度が徐々に大きくなるため、地震波の伝わる速さが連続的に大きくなる。

- (7) 地表付近の地点 S' で生じた地震波の伝わる経路として適切なもの(矢印)を図3-2の①~⑤から選びなさい。

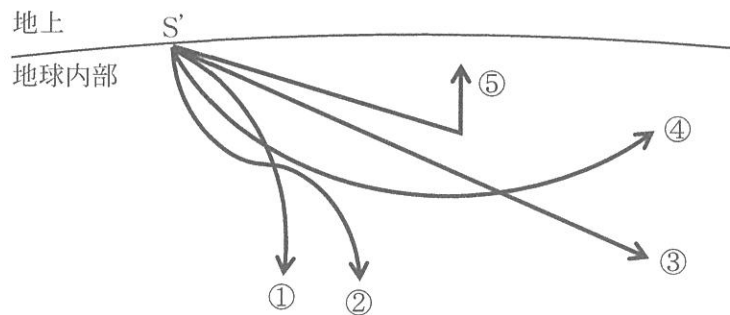


図 3-2

4 図4-1に示されるシリンダ内は、ピストンで仕切られ、左側をA室、右側をB室とし、A室とB室には気体定数 R の単原子分子の理想気体が満たされている。A室はスターリングエンジンに類似した構造で、外部から常に加熱と冷却がなされ、満たされている気体の温度を制御する仕組みが内蔵される。この熱機関は、A室とB室の圧力の違いがピストンを動かす仕事を発生させ、ピストンから動力が取り出される。往復動するピストンの漏れは無いものとする。A室は状態①から状態②、状態③、状態④を経て再び状態①に戻る周期的な変化を行う。その変化を図4-2の pV 線図に示す。B室には外部に通じる通気口とそれを開閉するバルブがある。この熱機関について、設問の文章および図に記載の記号を用いて、以下の問いに答えなさい。なお本設問において、記号で示される数値は全て0もしくは正の数とし、ピストンの摩擦やクランク機構の損失は無視できるものとする。

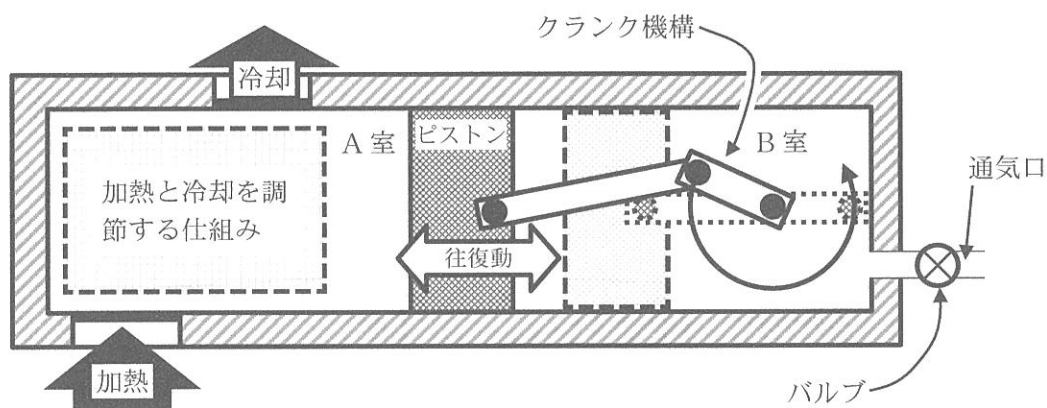


図4-1

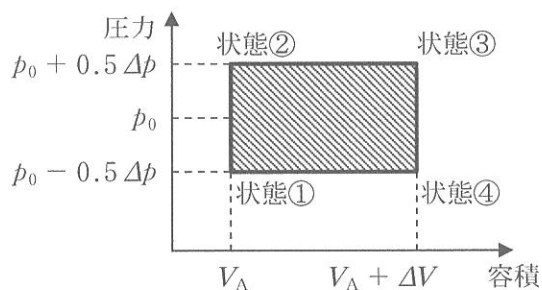


図4-2

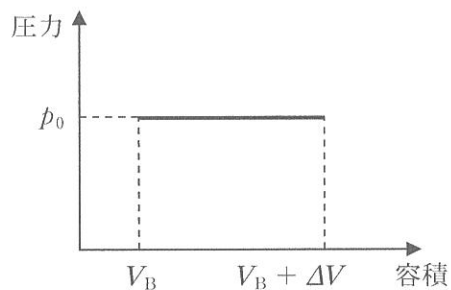


図4-3

問 1 まず通気口を開くと、B 室の圧力は図 4—3 が示すように p_0 で一定となる。このとき、

(1)~(5)について答えなさい。

- (1) 状態①における A 室の温度が均一に T であると仮定して、A 室の気体のモル数を示しなさい。
- (2) A 室の気体について、状態①に対する状態③の内部エネルギーの比を求めなさい。
- (3) 状態①から状態②、状態③、状態④を経て、再び状態①に戻る間に、A 室の気体がピストンにする正味の仕事を示しなさい。
- (4) 状態①から状態②、状態③、状態④を経て、再び状態①に戻る間に、B 室の気体がピストンにする正味の仕事を示しなさい。
- (5) ピストンの移動方向に垂直な断面積を S とすると、状態②から状態③に変化する過程で、ピストンの移動距離は $\Delta V/S$ で表される。このとき、「状態①から状態②を経て状態③にいたる過程」と「状態③から状態④を経て状態①にいたる過程」について、A 室と B 室の圧力差がピストンになす仕事を示しなさい。

問 2 次に、B 室の圧力の最小値が $p_0 - 0.5 \Delta p$ となるように B 室の通気口を閉じ、B 室の気体を断熱変化させる。断熱変化では $pV^{(5/3)}$ が一定となる。また、A 室は図 4—2 のサイクルを維持する。このとき、(6)と(7)について答えなさい。

- (6) 状態②における B 室の気体の圧力 ($p_0 - 0.5 \Delta p$) と体積 ($V_B + \Delta V$)、状態③における B 室の気体の体積 V_B を用いて、「A 室が状態②から状態③にいたる間に、B 室の気体がなされる仕事」を表しなさい。
- (7) 外部からの力を必要とせずに、A 室の加熱と冷却を調節するだけでピストンを運動させ続けるには、「A 室が状態②から状態③にいたる過程」で A 室の圧力が B 室の圧力以上を維持し、「A 室が状態④から状態①にいたる過程」で A 室の圧力が B 室の圧力以下を維持する必要がある。このとき、最小の体積 V_B を求めなさい。