

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)～(7)の問に答えよ。

- (1) 密度と太さが一様な長さ 1.0 m の棒の一端に重さ 100 g のおもり A をつるしたところ、40 cm の位置で釣り合った(図 1 (a))。もう一端に別のおもり B をつるしたところ、この端から 40 cm のところで釣り合った(図 1 (b))。おもり B は何 g か。
- (2) 抵抗値が 1.0 Ω , 2.0 Ω , 4.0 Ω , 8.0 Ω , 16.0 Ω , 32.0 Ω , 64.0 Ω , 128 Ω , 256 Ω , 512 Ω の抵抗をすべて並列につないだときの合成抵抗を有効数字 2 桁で答えよ。
- (3) 100 V 電源に単独で接続したときに 20 W, 40 W, 60 W, 100 W, 500 W の消費電力の電球を図 2 のように接続した。このとき消費電力が最大となる電球はどれか。A, B, C, D, E の記号で答えよ。抵抗の温度変化は考えなくてよい。
- (4) 以下の文章から正しいものを選び記号で答えよ。
- A. ${}^9_4\text{Be} + \alpha \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$ は反応の前後で電荷が保存しないので、実際には起きない反応である。
 - B. 発電所までの距離が近ければ、高電圧で送電するよりも大電流で送電する方が電力損失の割合が小さくなる。
 - C. 運動の第 1 法則により、地表付近での自由落下の加速度はほぼ一定であることが導かれる。
 - D. 気体の圧力は、これを閉じ込める容器の形によらず、無重力下ではどこでも一定で内面に垂直である。
 - E. 薄い金属円板に電荷を与えたとき、表面の電場は中心で強く、円周上で弱い。
- (5) 図 3 に示すように、フラスコの口に取り付けたガラス管から鈴をつるし、底に少量の水を入れた。この装置を使い、音が伝わるには媒質が必要であることを実験的に示すことができる。その方法と理由を簡潔に述べよ。
- (6) 原子核の結合エネルギーを核子 1 個あたり 8.0 MeV とする。この値は、結合エネルギー 400 kJ/mol の化学結合 1 個あたりの何倍か。有効数字 1 桁で答えよ。
アボガドロ定数を $6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$ 、電気素量を $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ とする。
- (7) 摩擦のない水平面上に x - y 直交座標系をとり、原点に質量 1 kg の物体を置いた。この物体に、4 N の力を x 方向に 2 秒間加え、その後、力を加えずに 2 秒間経過した後、 y 方向に 6 N の力を 3 秒間加えた。原点を出発してから 10 秒後の物体の位置座標 (a, b) [m] を求めよ。

図 1

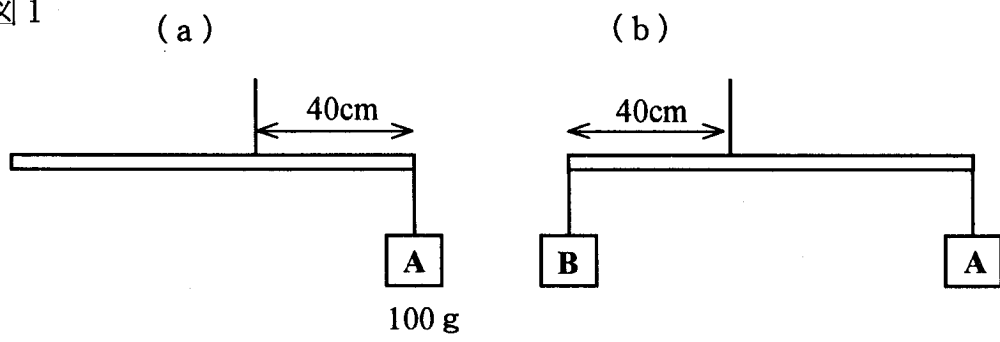


図 2

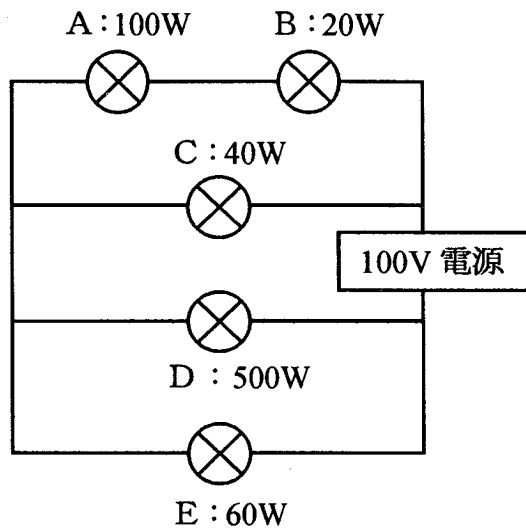
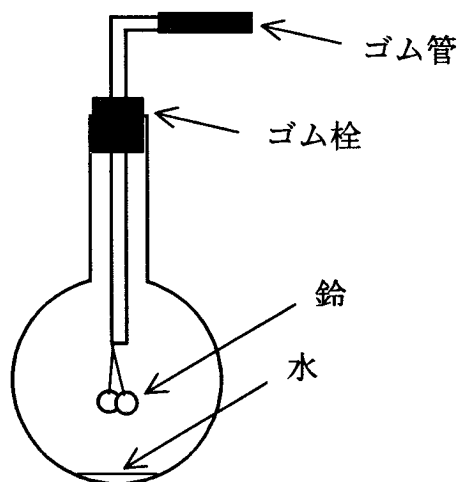


図 3



II 次の文章の から に適切な数式や数値を記入し、問に答えよ。

ロケットは、燃料を燃焼させてガスを噴射することで推進力を得る。質量 M のロケット本体に質量 m の燃料が積まれ、静止座標系に対して速度 \vec{V}_0 で運動している。このとき、全ての燃料が極めて短い時間に爆発的に燃焼してガスが放出された。静止座標系に対するガスの速度は $\vec{V}_0 - \vec{v}$ であった。静止座標系に対するロケットの速度 \vec{V}_1 は である。

加速する前のロケット本体の運動エネルギーは \vec{V}_0 を用いると であり、加速後のロケット本体の運動エネルギーは \vec{V}_1 を用いると である。したがって、運動エネルギーの変化は \vec{V}_0 と \vec{v} を用いると である。

さて、半径 R 、質量 M_G の球形物体と質量 M (ただし $M \ll M_G$) の質点の間に働く万有引力 F は、万有引力定数を G 、球形物体の中心から質点までの距離を r (ただし $r > R$) とすれば、 $F =$ である。したがって、万有引力は無限遠方まで作用し、質点 M は球形物体から逃げ出せないように思えるが、実際はちがう。 r が無限大のとき位置エネルギーがゼロになるように位置エネルギーの基準を選べば、球形物体と質点間の位置エネルギー U は、両者の距離が r のとき、 $U =$ である。したがって、球形物体に対する質点の相対速度を \vec{V} とおくと、 $|\vec{V}| \geq$ のとき、質点 M は球形物体から離れて無限遠方へ行くことができる。このための最小の速度を脱出速度という。地表の重力加速度を 10 m/s^2 、地球の半径を 6400 km とすれば、地表での脱出速度は、 m/s である。

問 星 S は未知の星であり、質量や半径に関する正確な値はわかっていない。そこで、ロケットに乗って未知の星 S の探索に向かった。このとき、燃料はごくわずかしかなかったのに、ロケットが脱出速度以下で星 S に向かって航行している可能性があることがわかった。このままでは星 S の引力に捕獲されてしまうかもしれない。わずかな望みを託して星 S の引力から脱出を試みるとき、下記の中で成功する可能性が最も高い方法と、失敗する可能性が最も高い方法を選び、理由を付けて説明せよ。ただし、星 S の半径は小さいので、ロケットが星 S に衝突する可能性は無視できるとする。

- ① なにもしないでそのまま星 S の引力に従う。
- ② ロケットの向きはそのまま、直ちに燃焼ガスを噴射する。(図1)
- ③ 直ちにロケットの向きを90度回転させ、燃焼ガスを噴射する。(図2)
- ④ 直ちにロケットの向きを180度回転させ、燃焼ガスを噴射する。(図3)
- ⑤ 星 S に十分に近接するのを待って、ロケットの向きはそのまま、燃焼ガスを噴射する。
- ⑥ 星 S に十分に近接するのを待って、ロケットの向きを90度回転させ、燃焼ガスを噴射する。
- ⑦ 星 S に十分に近接するのを待って、ロケットの向きを180度回転させ、燃焼ガスを噴射する。

図 1

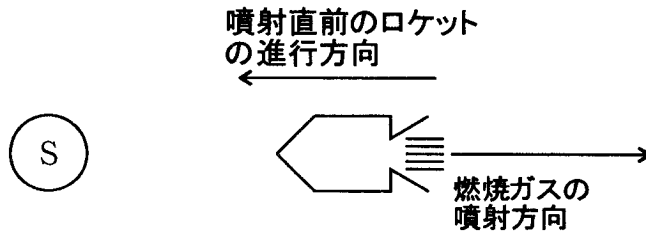


図 2

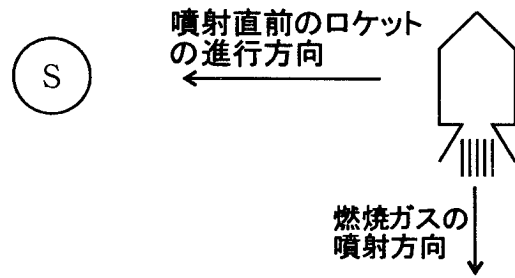
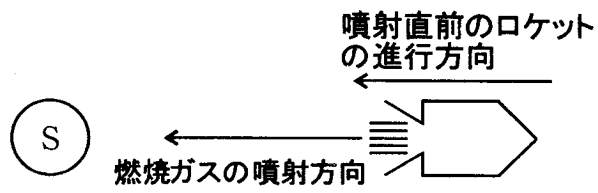


図 3



Ⅲ 以下の文章の空欄 ～ に入る適切な語句を選択肢から選び解答欄に記入せよ。
 また、 ～ の空欄には数値または数式を入れよ。

金属の近くに電荷を置くと、金属のもつ自由電子が移動し、電場を打ち消すように金属表面に電荷が分布する。この現象を とよび、このとき金属は にある。また、金属内に空洞があるとき、その内部には外部から が侵入しないので、ラジオを で包むと放送が聞こえなくなる。

いっぽう、電位差を与えるような装置である を金属に接続すると、金属内部に電場が発生し、電流が流れ続ける。

長さ L 、断面積 S の金属円柱の両端に電位差 V を与えたときの電流 I について考察する。電場は円柱の中心軸に平行で、内部では一様とみなしてよい。電流密度 J を $J = \frac{I}{S}$ で定義すると、金属内の電場 E と J との間には、比例関係

$$J = \sigma E \quad (1)$$

が成り立つ。この関係をオームの法則とよび、比例係数 σ は導電率とよばれる。

通常、電気回路で使うオームの法則

$$V = RI \quad (2)$$

は式 (1) を変形して得られる。すなわち、金属円柱内での電場は $E = \frac{V}{L}$ であるから、式 (1) を $V = \text{①}$ と変形し、 $R = \text{②}$ とおけば、式 (2) が得られる。 $\rho = \frac{1}{\sigma}$ を抵抗率ともよぶ。

電流を金属中の自由電子の運動から解釈してみよう。金属中で熱運動する自由電子は、箱に閉じこめられた気体分子の熱運動と同じく、でたらめな運動を行う。したがって、一定時間に断面積 S を通過する互いに反対向きの電子の個数は等しいから、電流は 0 である。ところが、金属内に電場があるときには、個々の電子は金属中で散乱されながら、全体として電場と 向きに動いていく。そのときの速度をドリフト速度とよぶ。単位体積あたりの自由電子の個数を n 、ドリフト速度を v_D 、電子の電荷を $-e$ とすると、電流密度は $J = -nev_D$ で表される。

例として、断面積 1.0 mm^2 の銅線に 1 A の電流が流れているときの電子のドリフト速度を求めてみよう。1 個の銅原子が 1 個の自由電子を供出し、銅の密度を 9.0 g/cm^3 、原子量 63、アボガドロ定数 $6.0 \times 10^{23} / \text{mol}$ 、電気素量 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ とすると、 $v_D = \text{③} \text{ m/s}$ となり、人が歩く速さよりもずっと遅いことが分かる。

次に、ドリフト速度の意味を考える。熱運動する多数の電子は一定時間 τ ごとに金属イオンや不純物原子と衝突し に散乱されるものと仮定すると、散乱直後の平均速度は 0 である。金属内の電場 E は、質量 m 、電荷 $-e$ の電子に加速度を与える。散乱後、時間 τ だけ加速されると電子の平均速度は に達するが、そこで再び散乱されて平均速度は 0 に戻る。したがって、このモデルによれば、金属中の電子の平均速度、すなわち、ドリフト速度は $v_D = -\frac{eE\tau}{2m}$ となり、 $\sigma = \text{⑤}$ が得られる。熱運動する電子の速さはドリフト速度に較べて何桁も大きいので、

時間 τ は電場によってほとんど変化しない。したがって、以上の議論から導電率は 固有の値であることが予想できる。

温度の上昇とともに原子の振動が激しくなると、 τ が すると考えられるから、抵抗率が增大するはずである。抵抗率の温度変化は 測定に応用される。

【選択肢】 (50音順)

圧力 アルミホイール イオン化 同じ 温度 音波 逆の 金属円柱 減少
コイル 勾配電位 後方 最高 最低 磁場 消磁 振動 垂直な
静電位 静電誘導 前方 増大 ダイオード 単調変化 抵抗 電磁誘導
電池 電場 電離作用 等電位 等方的 物質 変化 ポリエチレンフィルム
密度 無関係な 無機物 誘電体フィルム