

平成 30 年度
前期日程
理科問題

〔注意〕

1. 問題冊子及び解答用冊子は、試験開始の合図があるまで開いてはいけない。
2. 問題冊子は、物理、化学、生物の順序で1冊にまとめてある。

問題は $\left. \begin{array}{l} \text{物理} \quad 2 \text{ ページから } 12 \text{ ページ} \\ \text{化学} \quad 13 \text{ ページから } 21 \text{ ページ} \\ \text{生物} \quad 22 \text{ ページから } 35 \text{ ページ} \end{array} \right\}$ にある。

ページの脱落があれば直ちに申し出ること。

3. 解答用紙は、物理 3 枚、化学 4 枚、生物 4 枚が一緒に折り込まれている。受験する科目の解答用紙をミシン目に従って切り離すこと。
4. 受験番号は、受験する科目の解答用紙の受験番号欄(1枚につき2か所)に1枚ずつ正確に記入すること。
5. 解答は、1ページの「理科の解答についての注意」の指示に従い、解答用紙の指定されたところに記入すること。
6. 問題冊子の余白は、適宜下書きに使用してもよい。
7. 配付した解答用紙は持ち帰ってはいけない。
8. 問題冊子は持ち帰ること。

「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、水平な地上をまっすぐに走る車を考える。車の前方には、厚みの無視できる高さ h の塀がある。走ってきた車は、ある時点でジャンプをして地面を離れ、最大の高さ h に達し、塀の最上部すれすれを飛び越えた。この様子について、以下の二種類のジャンプの方法を考え、比較しよう。

図1において、車の初期の進行方向である水平右向きを x 軸の正の向きとし、車の質量を m とする。車の大きさは考えず、質点として取り扱う。また、車は地上を水平方向に通常走行している間は、加速することができ、最大の加速度の大きさは a である。宙を運動している間は加速できない。空気抵抗は無視できるものとする。重力加速度を鉛直下向き、大きさ g とする。

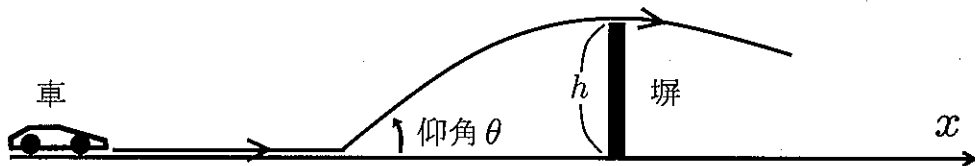


図1

- I. ジャンプ台を使って、塀を越えることを考える。 x 軸上で塀の手前にジャンプ台を置き、車の速さを変えずに速度の向きだけを仰角 $\theta = 45^\circ$ の方向に変えることができるようにする。ジャンプ台の大きさは無視できるものとし、その地点で車はすぐに方向を変えると仮定する。

車が、地上を x 軸の正の向きに等速運動してきた。以下の間に答えよ。

- 問1 ジャンプ台を通過した瞬間から塀の直上に車が達するまでの時間を、 g 、 h を用いて表せ。
- 問2 ジャンプ台に達する前における、車の等速運動の速さを、 g 、 h を用いて表せ。

次に、等速運動ではない状況を考える。車は静止状態から出発し、ジャンプするまでの間、地上で等加速度運動をした。

問 3 塀を越えるためには、車はある最小距離以上は地上を助走せねばならない。この最小距離を、 a , g , h を用いて表せ。

II. ジャンプ台を使わずに、塀を飛び越えることを考える。新しい車を用意した。車は圧縮空気を鉛直下向きに解放することで、瞬間的に鉛直上向きの力積を受けることができるジャンプ機構を持っているものとする。車は同じく質量 m の質点として取り扱う。また、車の質量はジャンプ機構の使用により変化しないものとする。

塀の手前から、地上を x 軸の正の方向に車が等速運動をして走ってきた。塀に近づいたある瞬間にジャンプ機構を用い、車は宙を飛び、塀を飛び越えた。以下の問に答えよ。

問 4 ジャンプ機構を用いたときに車が受けた力積の大きさを、 m , g , h を用いて表せ。

問 5 地上における車の等速運動の速さを v とする。車がジャンプ機構を用いて宙に浮き始めた地点と塀との間の x 軸方向の距離を、 v , g , h を用いて表せ。

次に、等速運動ではない状況を考える。車は静止状態から出発し、等加速度運動をして、ある瞬間にジャンプ機構を用い、塀を越えた。ジャンプの際の車の運動の方向は、仰角が $\theta = 45^\circ$ になるように設定したとする。

問 6 塀を越えるためには、車はある最小距離以上は地上を助走せねばならない。この最小距離を、 a , g , h を用いて表せ。

Ⅲ. ジャンプ台を使う問3と、ジャンプ機構を使う問6の二つの場合を比較する。

問 7 問3 の結果に比べ、問6 の結果は常に短いことがわかる。すなわち、ジャンプ機構を用いる方が、より短い助走で塀を飛び越えられる。この理由を説明する次の文章中の空欄にふさわしいものを、下の選択肢(あ)～(え)の中からそれぞれ一つずつ選べ。なお、選択肢は重複して使用してよい。

ジャンプの直前と直後で、 は、問6 の場合は保存しているが 問3 の場合は減少している。また、 は、問3 の場合は保存しているが 問6 の場合は増加している。

選択肢

(あ) 車の位置エネルギー

(い) 車の力学的エネルギー

(う) 車の運動量の x 軸方向の成分

(え) 車の 運動量の鉛直上向き方向の成分

問 8 車は塀を飛び越えた後、地面に達した。この様子を表す次の文章中の空欄にふさわしいものを、下の選択肢(あ)、(い)、(う)の中からそれぞれ一つずつ選べ。なお、選択肢は重複して使用してよい。

問6 の場合に塀を越えてから地面に達するまでの時間は、問3 の場合と比較して、。また、問6 の場合に塀の位置から車が地面に達した点までの x 軸方向の距離は、問3 の場合と比較して、。

選択肢

(あ) 増加している

(い) 減少している

(う) 変化していない

〔2〕 以下のような，二種類の回路で起こる現象について考えよう。

- I. 起電力 E の直流電源，自己インダクタンス L のコイル，抵抗値がそれぞれ R_1 ， R_2 の抵抗1，抵抗2，およびスイッチ S をつないだ，図1のような回路がある。抵抗1，抵抗2以外の電気抵抗は無視でき，回路を流れる電流は図1に示した矢印の向きを正とする。初期状態では，スイッチ S は開いており，スイッチ S を開いてからは十分に時間が経過しているとする。以下の問に答えよ。

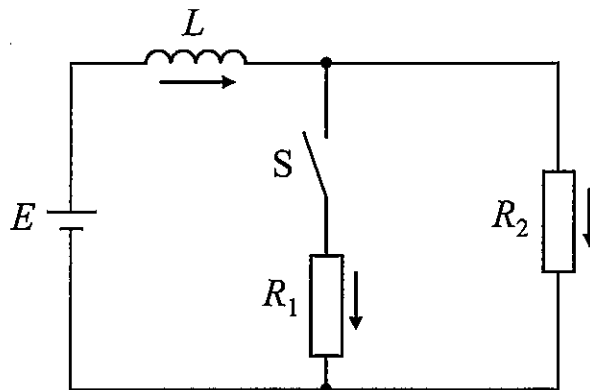


図1

問1 初期状態において，コイルを流れる電流 I_0 を， E ， L ， R_1 ， R_2 のうち必要なものを用いて表せ。

次にスイッチ S を閉じた。このとき，以下の問に答えよ。

問2 スイッチ S を閉じた直後における，抵抗1を流れる電流 I'_0 ，および抵抗1と抵抗2における消費電力の総量 P_0 を，それぞれ E ， L ， R_1 ， R_2 のうち必要なものを用いて表せ。

問3 スイッチ S を閉じた直後の微小時間 Δt の間に，コイルを流れる電流が ΔI_0 だけ変化し，コイルに蓄積されているエネルギーが ΔU_0 だけ変化したとする。このとき， $\frac{\Delta I_0}{\Delta t}$ および $\frac{\Delta U_0}{\Delta t}$ を，それぞれ E ， L ， R_1 ， R_2 のうち必要なものを用いて表せ。

II. 図1における抵抗2をネオン管に置き換え、図2のような回路を作製した。このとき、ネオン管以外の素子はすべて置き換える前と同じ性質を持つものとする。ネオン管では、端子間の電圧が定数 V_N より低いときに電流は流れないが、端子間の電圧が上昇し、 V_N に達すると電流が流れて発光し始める。ここでは簡単化するため、発光中の端子間の電圧は常に V_N であり、ひとたび発光を開始すると電流がゼロになるまで発光し続けるものとする。また、ネオン管の電気容量は無視できるほど小さいものとする。初期状態（時刻 $t=0$ ）ではスイッチ S は開いており、 $E < V_N$ のため回路に電流は流れていない。時刻 $t = T_0$ ($T_0 > 0$) にスイッチ S を閉じ、十分に時間が経過したところ、コイルを流れる電流は一定値 I_1 となった。電流は図2に示した矢印の向きを正とし、以下の問に答えよ。

問 4 I_1 を求めよ。また、このときコイルに蓄積されているエネルギー U_1 を求めよ。ただし、解答には、 E 、 L 、 R_1 のうち必要なものを用いよ。

その後、時刻 $t = T_1$ においてスイッチ S を開いたところ、ただちにネオン管が発光をはじめ、しばらく光り続けた後、時刻 $t = T_2$ において発光が停止した。

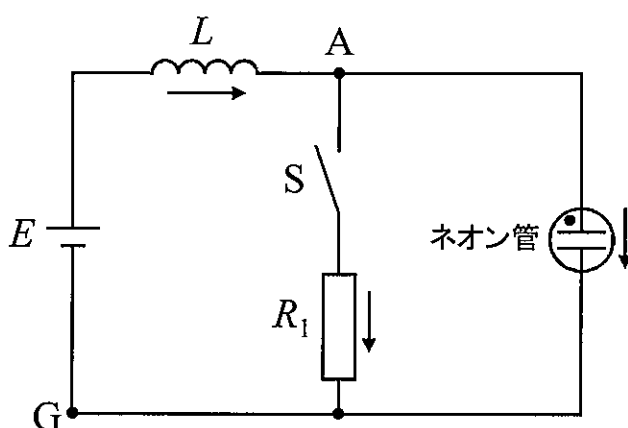


図2

問 5 発光中のネオン管を流れる電流が、微小時間 Δt の間に ΔI だけ変化したとする。 $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ を、 E, L, R_1, V_N のうち必要なものを用いて表せ。

問 6 $\frac{\Delta I}{\Delta t} = \alpha$ (α は定数) と表されるとき、ネオン管を流れる電流は、 $I = \alpha t + \beta$ (β は定数) となる。このことを用いて、時刻 t ($T_1 < t < T_2$) における I を、 E, L, I_1, V_N, t, T_1 のうち必要なものを用いて表せ。

問 7 ネオン管の発光が停止する時刻 T_2 を、 E, L, I_1, V_N, T_1 のうち必要なものを用いて表せ。

問 8 図 3 はコイルを流れる電流と、G 点に対する A 点の電位の時間変化を描いたグラフである。図の領域 1, 2, 3 それぞれにおいて、最も適切なグラフの概形を (あ), (い), (う) の中から選んで答えよ。

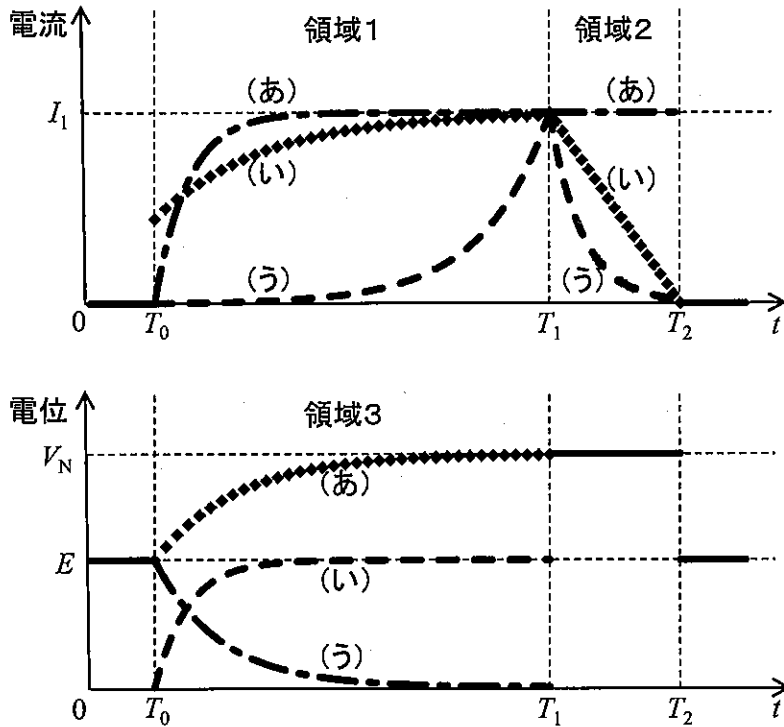


図 3

問 9 次の文章中の空欄にふさわしいものを、下の選択肢 (あ)～(お)の中からそれぞれ一つずつ選べ。なお、選択肢は重複して使用してよい。

ネオン管が発する光の明るさは、ネオン管を流れる電流に比例するものとする。コイルのインダクタンス L を2倍にしてネオン管を発光させたとき、元の場合と比べ、 明るさで光り始め、その発光時間は 長さであった。

選択肢

(あ) 4倍の

(い) 2倍の

(う) 同じ

(え) 2分の1の

(お) 4分の1の

〔3〕以下のA, 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. 水素原子の線スペクトルは、電子と原子核（陽子）の間に働く力に関する基礎的な情報を与える。この力の性質を詳しく調べるため、以下では一つの水素原子内にある電子と原子核の間にはたらく力のみを考え、ボーアの仮説に従って、電子が原子核の位置を中心とした円運動をすると考えよう。プランク定数を h 、電子の質量を m 、原子核の質量を M 、電子の電荷の大きさ（電気素量）を e 、真空中のクーロンの法則の比例定数を k_0 、万有引力定数を G とする。

ボーアの量子条件とは、電子が原子核を中心として半径 r の円運動をしていると仮定した際に、電子の軌道の一周の長さが電子のド・ブROI波長の自然数倍であるという条件のことである。速さ v で運動している電子のド・ブROI波長は $\lambda = \frac{h}{mv}$ で与えられる。以下の問に答えよ。

問 1 ボーアの量子条件から、電子の速さ v を、 h 、 m 、 r 、および自然数 n を用いて表せ。

問 2 水素原子内で、電子は原子核からクーロン力を受ける。円運動の運動方程式とボーアの量子条件から、電子の軌道半径 r が求まる。最小の軌道半径（ボーア半径）を、 k_0 、 m 、 e 、 h を用いて表せ。

問 3 電子と水素原子核の間には、万有引力も働いているはずである。ニュートンの万有引力とクーロン力の大きさの比 s は、 $s = \frac{GMm}{k_0e^2}$ と与えられる。クーロン力に加えてニュートンの万有引力も考慮したとき、最小の軌道半径は、万有引力を考慮しないときに比べて何倍になるか。 s を用いて表せ。

実は、物体間の距離がおよそ 0.1 ミリメートルよりも短い場合には、ニュートンの万有引力の法則は実験的に確認されていない。そこで、万有引力の法則に修正が必要な可能性を探ってみよう。力の大きさ F が式 (1) のように距離 r の 3 乗に反比例する仮想的な修正万有引力の法則を考える。

$$F = G' \frac{Mm}{r^3} \quad (1)$$

力は常に引力であるとし、修正万有引力定数 G' は正であるとする。ただし、問 2 のボーア半径において、修正万有引力の大きさはクーロン力の大きさに比べて十分小さいものとする。

問 4 このとき、ボーアの量子条件を用いて最小の軌道半径を求めると、問 2 の結果に比べて $(1 - \delta)$ 倍になった。正の定数 δ を、 h , m , M , G' , k_0 , e のうち必要なものを用いて表せ。

問 5 式 (1) で表される修正万有引力の法則は、通常のニュートンの万有引力の法則とは異なっている。(この違いは空間次元数の変化に対応していることが知られている。) そこで、ある距離 R を境に、長距離 ($r > R$) では通常の万有引力の法則であるが、近距離 ($r < R$) では修正万有引力の法則 (1) になっていると考えよう。これらの法則の間に矛盾がないためには、距離 $r = R$ においてそれぞれの法則が同じ大きさの力を与える必要があるため、次の式が成立するとしよう。

$$G \frac{Mm}{R^2} = G' \frac{Mm}{R^3}$$

例として $R = 1 \times 10^{-4}$ メートルと仮定する場合に、問 3 で導入した s の観測値が $s \doteq 4 \times 10^{-40}$ であることと、問 2 の最小軌道半径がおよそ 5×10^{-11} メートルであることを用いて、問 4 の δ の値を有効数字 1 桁で求めよ。

B. 図1のように、ピストンを備えた断面積 S のシリンダー容器 A の中に、球形の密閉容器 B が入っている。容器 A は圧力 P 、絶対温度 T 、密度（単位体積当たりの質量） ρ の理想気体 X で、容器 B は圧力 P 、絶対温度 T 、密度 $\frac{\rho}{2}$ の理想気体 Y で、それぞれ満たされている。今、容器 B は浮力によって容器 A の上面まで上昇している。容器 A のピストンは、外力や容器内外の圧力差によって滑らかに動くものとし、外力が加わっていない初期の状態では端から距離 L の位置にあるものとする。気体 Y を除いた容器 B 自体の質量は M であり、その壁面の厚さは十分薄く無視できるが、壁面は変形しない材質でできており、容器 B の容積は常に一定値 V であるとする。なお、容器 A は一定圧力 P 、一定温度 T の大気中に置かれているものとし、容器 A、B ともにその壁面は十分よく熱を伝えるものとする。重力加速度の大きさを g として以下の間に答えよ。浮力を発生させる圧力差は、シリンダー内の圧力に比べて十分小さいものとする。

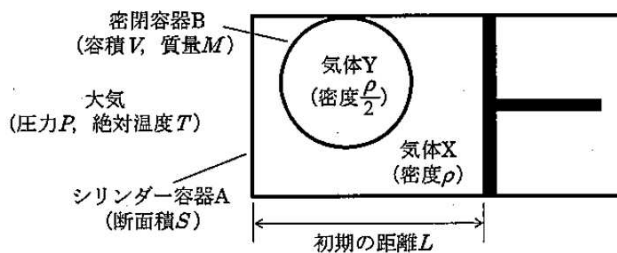


図 1

- 問 6 容器 B にはたらく浮力の大きさを、 ρ 、 V 、 M 、 g のうち必要なものを用いて表せ。
- 問 7 容器 B が容器 A の上面まで上昇していることから、 M はいくら未満と考えられるか。 ρ 、 V 、 g のうち必要なものを用いて表せ。
- 問 8 外力を加えて、容器 A のピストンを初期の位置から一方向にゆっくりと移動させると、端からの距離 L' の位置を過ぎたところで、容器 B がゆっくりと下降し始めた。ピストンが端からの距離 L' の位置にあるときの気体 X の密度を ρ' とするとき、 ρ' を、 ρ 、 V 、 M 、 g のうち必要なものを用いて表せ。

以下の問9～問11では、容器Bの質量を $M = \frac{V\rho}{4}$ として答えよ。

問9 問8における L' を、 L 、 V 、 S を用いて表せ。

問10 外力を加えて、容器Aのピストンをゆっくりと元の位置（端からの距離 L ）まで戻したところ、容器Bは再び容器Aの上面まで上昇した。このとき、気体Xの温度は T であった。その後、容器A全体を断熱材で覆い、熱の出入りを無くした。ピストンには外力を加えない状態で、容器Aに内蔵されているヒーターによって気体Xをゆっくりと加熱したところ、ピストンはなめらかに移動し、気体Xの温度が絶対温度 T' を超えたところで容器Bが再び下降し始めた。 T' を、 T を用いて表せ。

問11 問10において気体Xの温度が T' となったとき、容器B内の気体Yの圧力 P' を、 P を用いて表せ。

問12 次の文章中の空欄にふさわしいものを、下の選択肢(あ)、(い)、(う)の中からそれぞれ一つずつ選べ。

問8では、容器A内外で温度差が生じない条件の下で、外力によりピストンを移動させている。ピストンをゆっくり引いた場合には、容器Aの外部 ため、容器A内の気体Xの温度は一定に保たれ、気体分子の平均速度は一定に保たれる。しかし、気体Xの体積が増加することで、気体分子が容器壁面に衝突する頻度が少なくなり、圧力は減少することになる。一方で問10では、容器A内外で圧力差が生じない条件の下で、気体Xを加熱してピストンを移動させている。このとき、加熱によって容器A内の気体Xの ため、体積が増加しても圧力は一定に保たれている。

(a) の選択肢

- (あ) に内部から熱量が流出する
- (い) から内部に熱量が流入する
- (う) と内部で熱量の流出入はない

(b) の選択肢

- (あ) 内部エネルギーが増加する
- (い) 内部エネルギーが減少する
- (う) 内部エネルギーは変化しない