

平成26年度
物理学科 AO選抜 課題探求試験問題
物理学（100点）
平成26年2月1日（土） 9:00 — 11:30

注意事項

1. 指示があるまでは、問題冊子ならびに解答冊子を開かないこと。
2. 問題冊子1部、解答冊子1部が配布されていることを確認すること。
3. 「はじめ」の指示があったら、解答を始める前に、まず問題冊子に表紙1枚に続いて白紙1枚、その後に問題用紙が10枚、解答冊子に解答用紙が6枚あることを確認し、全ての解答用紙に受験番号と氏名を記入すること。
4. 解答は問題ごとに所定の解答用紙に記入すること。解答に際しては、最終的な答えだけでなくその答えに至る筋道も丁寧に記入すること。解答用紙の裏を用いても良い。
5. 「おわり」の指示があったら、ただちに鉛筆を置くこと。
6. 試験終了後、解答冊子は回収するが、問題冊子は持ち帰って良い。

問題1 (35点)

1A

図1-1のように、台車の壁にブロックが接触した状態で、台車とブロックが速さ v で水平面上を右向きに等速直線運動している。台車の質量を M 、ブロックの質量を m 、重力加速度を g とし、以下の問に答えよ。ただし、速度や力の右向きを正の向きとし、空気抵抗は無視できるものとする。

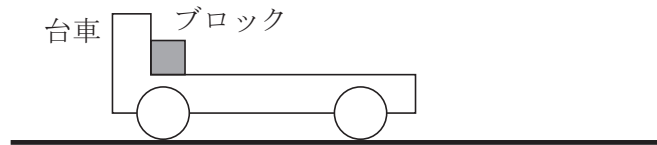


図 1-1

- (1) 運動している台車に負の向きの一定の力を加えた。台車の上面がなめらかで摩擦を無視できるとき、ブロックはどのように運動するか。理由と共に80字以内で答えよ。
- (2) 問(1)で台車にかけた力の大きさを F とする。台車に力をかけはじめてから、台車の速さが0になるまでの時間 t_1 を求めよ。
- (3) 上面が荒い別の台車を用いて、同様の実験を行った。台車に負の向きに一定の力 F を加えると、ブロックは台車の上で動き始めた。力 F を加え始めてから、台車の速度が正の向きに $\frac{v}{2}$ になるまでの時間 t_2 を求めよ。ただし、時間 t_2 が経過するまでに、ブロックは台車から落下しなかったとし、ブロックと台車の動摩擦係数を μ とする。

1B

図1-2のように、垂直な壁に沿って鉛直下向きに速さ v で等速直線運動する板がある。板は常に水平に保たれている。板が高さ l に達したとき、高さ h (ただし $h < l$) から質量 m の小球を静かに離した。重力加速度を g 、床と小球のはね返り係数 (反発係数) を e として、以下の間に答えよ。ただし、小球の大きさ、および空気抵抗は無視できるものとする。

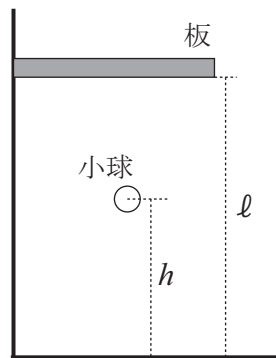


図 1-2

- (1) 観察を続けると、小球と板が衝突するよりも前に、小球は床に衝突した。板の速さ v の上限を h, l, g を用いて表せ。
- (2) さらに観察を続けると、床に初めて衝突した小球は鉛直上向きにはね返り、上昇中に板と衝突した。板の速さ v の下限を h, l, g, e を用いて表せ。

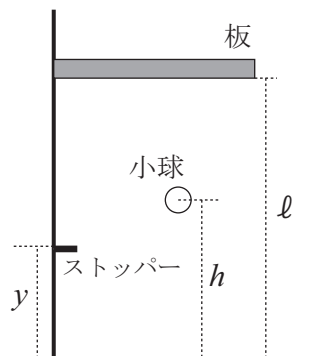


図 1-3

- (3) 図1-3のように、高さ y (ただし、 $y < h < l$) の位置にストッパーを取り付け、問(1)の条件を満たす速さで板を鉛直下向きに等速

直線運動させながら同様の実験を行った。観察を続けると、板は下降中に小球と衝突することなく、ストッパーによって静止し、壁の高さ y の位置に水平に固定された。その後、床と初めて衝突してはね返った小球は、鉛直方向に上昇中に、固定された板と衝突した。このあと、小球が鉛直下向きに落下しはじめるときの、小球の力学的エネルギーを求めよ。ただし、固定された板と小球のはね返り係数を e とする。

- (4) 問(3)で小球が固定された板に衝突し、落下しはじめてから初めて床に衝突するときの小球の速さを求めよ。

問題 2 (35 点)

2A

図 2-1 のように、抵抗値 R の抵抗と自己インダクタンス L のコイルを直列接続した回路を考え、点 A の電位を V_L とする。回路の電圧と電流を、それぞれ、 V と I とする。微小時間 Δt の間の電流変化 ΔI と V_L の間には、 $V_L \Delta t = L \Delta I$ という関係が成立する。

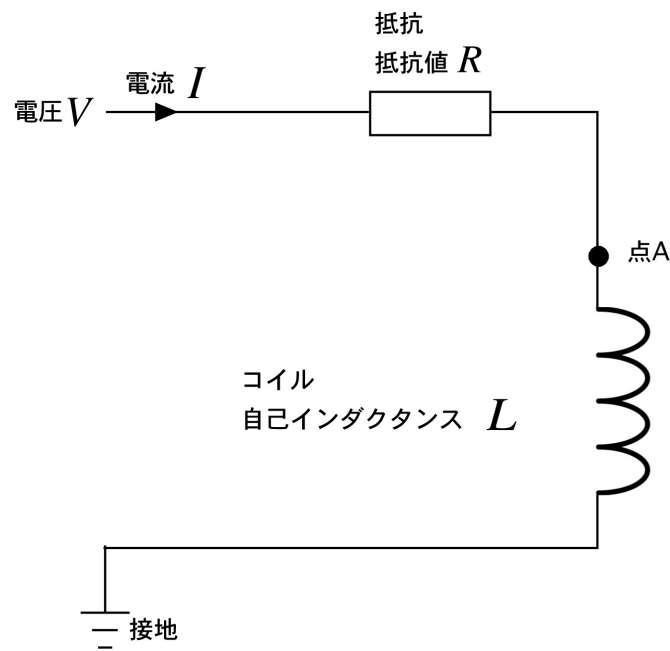


図 2-1

図 2-2 のように、電流 I が時間 t とともに変化する場合を考え、

$$I = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ \frac{1}{2} I_0 (1 + \cos(\frac{\pi(t-T)}{T})) & 0 \leq t \leq 2T \\ 0 & 2T < t \end{cases}$$

とする。ここで、 I_0 と T は、定数である。

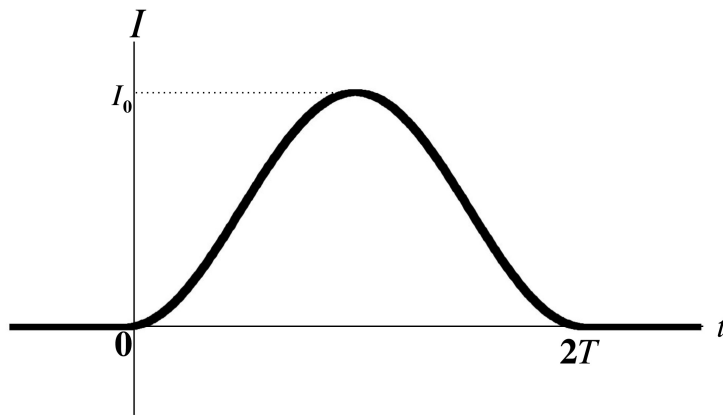


図 2-2

- (1) 時刻 $0 < t < 2T$ において、コイルにたくわえられるエネルギー U_L を I_0 , L , T , t を使って表しなさい。
- (2) 時刻 $0 < t < 2T$ における抵抗の両端の電位差 V_R を求めなさい。
- (3) 時刻 $t = T$ における回路の電圧を V_1 、時刻 $t = 2T$ における回路の電圧を V_2 とする。 V_1 , V_2 を求めなさい。
- (4) 時刻 $0 < t < 2T$ において、 V_L は時間とともに、変化する。 V_L と t の関係を解答用紙のグラフ用紙に書きなさい。ただし、グラフ用紙で、 V_m は、 V_L の大きさの最大値を表す。

2B

図2-3のように、コンデンサーA、コンデンサーB、内部抵抗で構成される回路がある。コンデンサーAの電気容量は C である。回路の端子1と端子2には、抵抗値 R の外部抵抗と電池が取り付けられている。電池の起電力は、 V ($V > 0$) である。電池の内部抵抗は無視でき、 V は一定に保たれる。

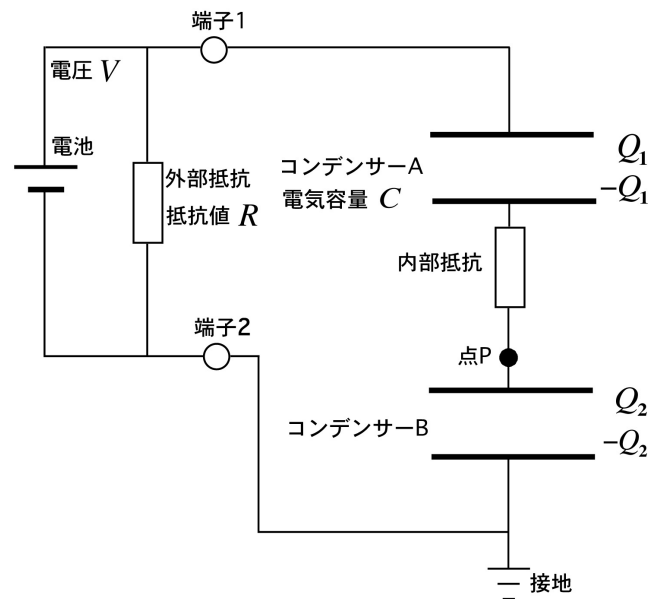


図2-3

コンデンサーBは、図2-4に示すように、広い平行電極板で構成されている。電極間は、真空であり、真空の誘電率を ϵ_0 とする。2枚の電極板の面積を S 、間隔を d とする。コンデンサーBの電気容量は $\frac{\epsilon_0 S}{d}$ と表される。

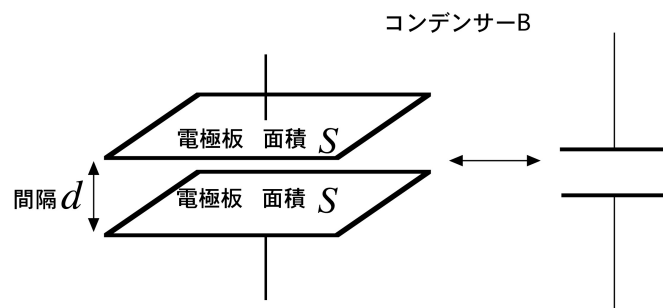


図2-4

電荷 Q ($Q > 0$) を回路の点 P を通じて導入した。十分に時間が経過したのち、図 2-3 のように、コンデンサー A の端子 1 側の電極板の電荷は Q_1 になり、コンデンサー B の内部抵抗側の電極板の電荷は、 Q_2 になった。コンデンサー B の電極板間には、間隔を狭くさせようとする力がはたらく。この問題では、 Q は一定であり、 $Q = Q_2 - Q_1$ が成立している。コンデンサー B の電極板間隔は外部の力で変化させることができる。電極板間隔が $d = d_0$ のとき $Q_1 = 0$ である。

- (1) 電池の起電力 V を Q_1 , Q_2 , C , S , d , ϵ_0 を使って表しなさい。
- (2) Q_1 を、 V , Q , C , S , d , ϵ_0 を使って表しなさい。
- (3) d_0 を C , V , Q , S , ϵ_0 の中から必要なものを選んで表しなさい。
- (4) 電極板間隔が $d = d_0$ のときコンデンサー A とコンデンサー B に蓄えられるエネルギーの和 U_0 を、 Q , V を使って表しなさい。

つぎに、外部からの力により電極板間隔 d を $d = d_0$ から $d = 2d_0$ へ、ゆっくりと、増加させた。電極板間隔を増加させるのに、この力がした仕事を W ($W > 0$) とする。電極板間隔が $d = 2d_0$ のとき、 Q_1 は $Q_1 \neq 0$ なので、電極板間隔を増加させる間に端子 1、端子 2 に電流が流れる。電池の起電力 V が一定なので、外部抵抗に流れる電流は電極板間隔を増加させる間も一定に保たれ、外部抵抗の発熱で消費される電力は一定に保たれる。

- (5) 電極板間隔が $d = 2d_0$ のときの Q_1 を C , V , Q を使って表しなさい。

外部から仕事 W が加えられ電極板間隔が $d = d_0$ から $d = 2d_0$ に増加した結果、2つのコンデンサーに蓄えられたエネルギーは、 U_0 から U_1 に変化した。間隔増加の間、内部抵抗には電流が流れる。その間に、内部抵抗の発熱によって消費されるエネルギーを U_R とする。仕事 W とエネルギー U_1 , U_0 , U_R の間には、 $W > (U_1 - U_0) + U_R$ の関係があり、等号は成立しない。

- (6) 仕事 W は、2つのコンデンサーのエネルギー変化 $U_1 - U_0$ と内部抵抗で消費されるエネルギー U_R 以外に何に使われたのか、エネルギー差 ΔU を $\Delta U = W - (U_1 - U_0) - U_R$ として、150字以内で説明しなさい。

問題 3 (30 点)

3A

n モルの単原子分子の理想気体を考える。この気体の体積 V と圧力 P を図 3-1 の実線の平行四辺形に沿って十分ゆっくり $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ と変化させる。以下では気体定数を R とする。

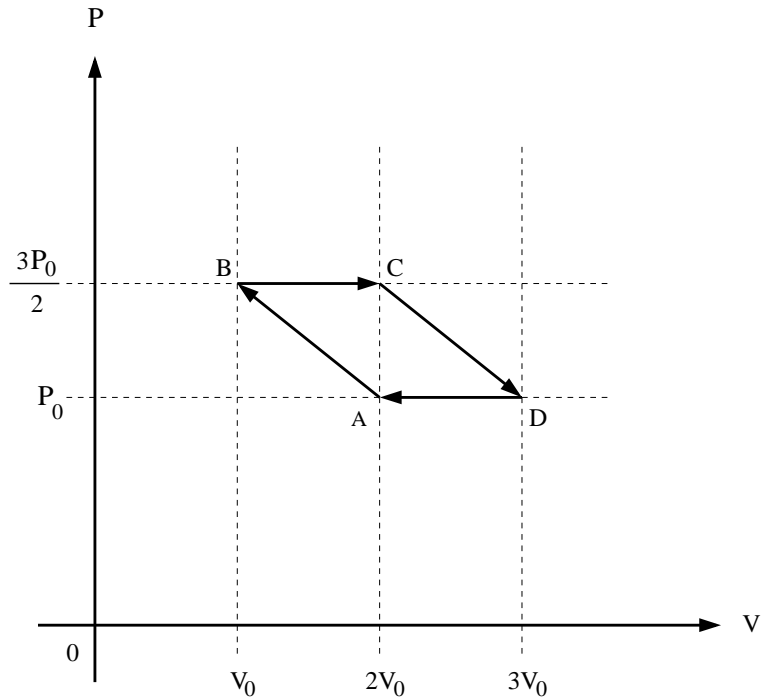


図 3-1

- (1) A、B、C、D の各状態における温度、 T_A 、 T_B 、 T_C 、 T_D を求めよ。
- (2) 図の $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ の変化を通してこの気体が外部にする仕事を求めよ。
- (3) $A \rightarrow B$ の過程で気体が外部とやりとりする熱の総量を求めよ。ただし、外部へ放出する向きを正とする。
- (4) 図 3-1 の変化に対応した気体の体積 V と温度 T の間の関係式を求めよ。さらにその概形を描け。ただし、状態 A、B、C、D が図のどこにあたるかを示すこと。
- (5) 図 3-1 の変化全体を通して気体が到達する最高の温度を求めよ。

3B

振動数が f [Hz] の音を発する音源からの音を、離れた場所にいる観測者が観測する。以下では、音速を c [m/s] とする。

- (1) 音源も観測者も静止している場合の音の波長を単位も含めて求めよ。
- (2) 次に、観測者は静止しており、音源が速さ v [m/s] (ただし $v < c$) で観測者に近づく場合を考える。ドップラー効果の公式によれば、この場合に観測者が聞く音の振動数は

$$\frac{c}{c-v} f \text{ [Hz]}$$

になる。この式の導出を解答枠内でわかりやすく解説せよ。

- (3) 今度は、音源は静止しており、観測者が速さ v [m/s] (ただし $v < c$) で音源に近づく場合を考える。再びドップラー効果の公式によれば、この場合に観測者が聞く音の振動数は

$$\frac{c+v}{c} f \text{ [Hz]}$$

となる。この式の導出を解答枠内でわかりやすく解説せよ。

- (4) 最後に、上の問(3)と同じ条件で観測者の動く向きと同じ向きに風速 w [m/s] (ただし $0 < w < v$) の風が吹いている場合を考える。この場合に観測者が聞く音の振動数を求めよ。