

A, D

平成 26 年度個別学力検査問題
(国際資源学部, 理工学部)

物 理

前 期 日 程

注 意 事 項

- 1 試験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 この問題冊子は 9 ページあります。解答用紙は 1 枚あります。
問題は I から IV まで 4 題あります。ただし、IV は問題 A または B のいずれかを選択して解答しなさい。
試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの乱丁・落丁および解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。
- 3 監督者の指示に従って、解答用紙に受験番号を記入しなさい。
- 4 解答は、解答用紙の該当欄に記入しなさい。
- 5 配付された解答用紙は、持ち帰ってはいけません。
- 6 試験終了後、問題冊子は持ち帰りなさい。

I 次の文章中の空欄①～⑥および⑧、⑨を数式で埋め、⑦には(ア)～(ウ)のうちから正しいものを1つ選び、解答欄に記入しなさい。

図1のように、水平な床の上の点Oから、なめらかで鉛直な壁に向かって水平面より角度 θ の方向に速さ v_0 で質量 m の小球を投げ上げた。その後、小球は壁面上の点Bに垂直にあたり、はねかえってなめらかな床の上の点Cに衝突した。点Bおよび点Cにおける衝突のはねかえり係数(反発係数)を e 、重力加速度の大きさを g とし、空気の抵抗は無視できるものとする。

投げ上げてから壁面に衝突するまでの間にある点Aにおける小球の速度を \vec{v}_1 とし、その水平成分を v_x 、鉛直成分を v_y とすると、小球の速さ v_1 は、 v_x および v_y を用いて $v_1 = (\text{①})$ となる。また、速度 \vec{v}_1 が水平方向となす角 θ_1 と v_x 、 v_y との関係は、 $\sin \theta_1 = (\text{②})$ と表される。小球を投げ上げてから経過した時間を t とすると、小球の鉛直成分 v_y は v_0 、 g 、 t 、 θ を用いて $v_y = (\text{③})$ となる。したがって、小球が壁に到達する時間 t' は v_0 、 g 、 θ を用いて $t' = (\text{④})$ となる。

次に、点Bにおいて小球が壁に衝突する場合を考える。小球が壁に衝突する直前の速さを v_2 、はねかえった直後の速さを v_2' とすると、 v_2' は v_0 、 e 、 θ を用いて $v_2' = (\text{⑤})$ となる。また、この衝突で小球が壁から受けた力積の大きさは v_0 、 m 、 e 、 θ を用いて(⑥)となる。

壁との衝突後、落下した小球は点Cにおいてなめらかな床と衝突し、はねかえった。図2のように、小球が点Cに衝突する直前の速度を \vec{v}_3 、直後の速度を \vec{v}_3' とする。速度 \vec{v}_3 、 \vec{v}_3' の水平成分をそれぞれ v_{3x} 、 v_{3x}' とすると、両者の関係は(⑦ (ア) $v_{3x} < v_{3x}'$ 、(イ) $v_{3x} = v_{3x}'$ 、(ウ) $v_{3x} > v_{3x}'$)となる。また、これらの速度の鉛直成分をそれぞれ v_{3y} 、 v_{3y}' とすると、両者の関係は、 $|v_{3y}'| = (\text{⑧}) |v_{3y}|$ となる。ここで、点Cで衝突した直後の小球の運動エネルギーは、点Oにおいて投げ上げた直後の小球の運動エネルギーの(⑨)倍となる。

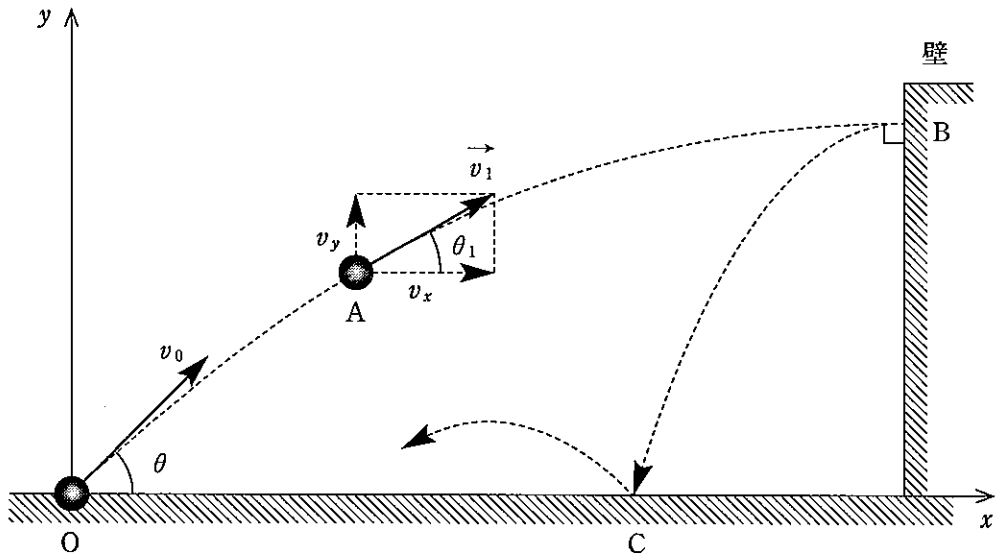


图 1

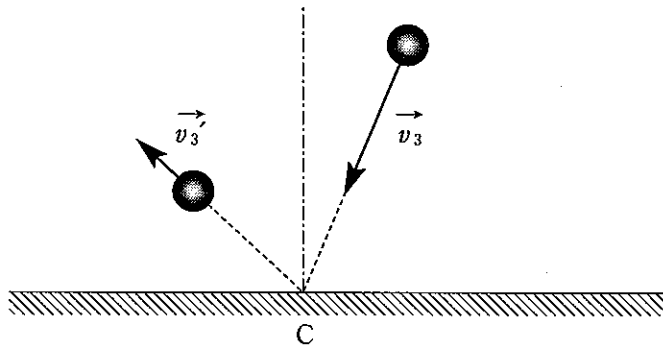


图 2

II 次の文章中の空欄①～⑤, ⑦, ⑩は数式で, ⑥は語句で, ⑧は(ア)～(カ)のうちから正しいものを選び, ⑨は(ア)～(ウ)のうちから正しいものを選び, 解答欄に記入しなさい。

(i) 図1のように, 先端に振動数 f_0 [Hz]の音源が取り付けられている列車が, まっすぐな線路の上を一定の速さ u [m/s]で走っている。線路のすぐわきで静止している観測者が, 音源からの音を聞いている。なお, 音の速さを V [m/s]とし, 風はないものとする。

列車が観測者から離れた位置Oから近づいてくるとき, Oで列車の音源から観測者の方向に出た音波は1秒後には,

$$(\text{①}) \text{ [m]}$$

だけ進み, その位置をQとする。列車が1秒後に到達した位置をPとすると, OP間の距離は,

$$OP = (\text{②}) \text{ [m]}$$

である。このとき, PQ間には(③)個の波が存在し, その波長 λ は

$$\lambda = (\text{④}) \text{ [m]}$$

となる。音の速さは V [m/s]であるから, 観測者が聞く音の振動数 f_1 は,

$$f_1 = (\text{⑤}) \text{ [Hz]}$$

となる。このように, 音源の振動数と異なる振動数の波が観測される現象を(⑥)という。

また, 列車が観測者の前を完全に通過し, 遠ざかるときに観測者が聞く音の振動数 f_2 は

$$f_2 = (\text{⑦}) \text{ [Hz]}$$

となる。列車の通過前後で観測者が聞く振動数の時間的変化を表したグラフとして適当なものは図2の(⑧)である。

(ii) 次に, 先端および後端にそれぞれ振動数 f_0 の音源が取り付けられている列車が, 速さ v [m/s]で走ってきた。観測者は先端と後端の2つの音源からの音によるうなりを聞いた。うなりを聞くのは, 列車が(⑨) (ア)近づいてくるとき, (イ)横を通過しているとき, (ウ)遠ざかるときである。このときに観測される1秒間あたりのうなりの回数は(⑩)回である。

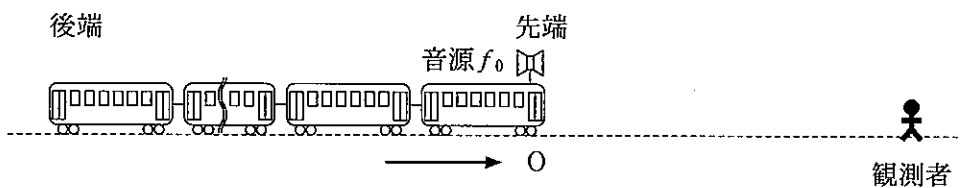
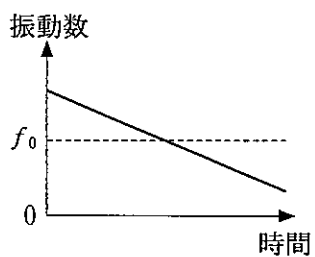
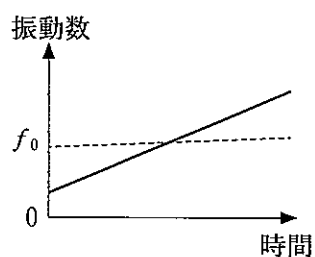


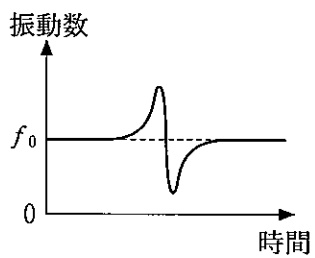
図 1



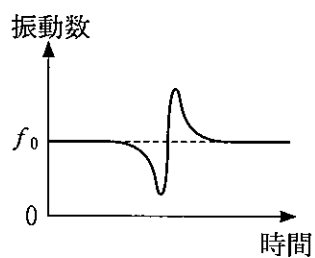
(ア)



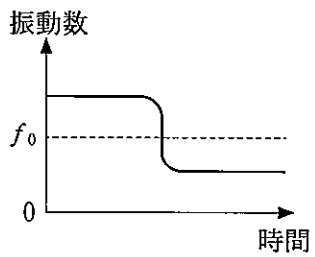
(イ)



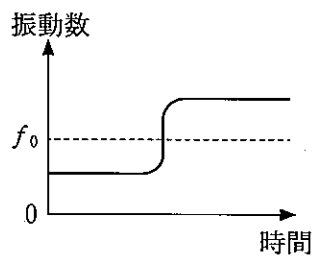
(ウ)



(エ)



(オ)



(カ)

図 2

Ⅲ 次の文章中の空欄①～⑤, ⑦～⑨を数式で埋め, 空欄⑥についてはア～エのうちから正しいものを1つ選び, 解答欄に記入しなさい。

(i) 図1のように, 起電力が E (V)の電池 E , 抵抗値がそれぞれ R_1 (Ω), R_2 (Ω)の抵抗 R_1 , R_2 , 電気容量が C (F)のコンデンサー C_1 , およびスイッチ S_1 , S_2 が接続された回路がある。はじめ S_1 , S_2 は開いており, コンデンサー C_1 には電荷がたくわえられていない。また, 電池の内部抵抗は無視できるものとする。

スイッチ S_1 を閉じたとき, 抵抗 R_1 に流れる電流は E , R_1 , R_2 を用いて(①) [A]となる。また, 抵抗 R_1 の両端の電圧は E , R_1 , R_2 を用いて(②) [V]となる。続いてスイッチ S_1 を閉じたままで, スイッチ S_2 を閉じたところ, コンデンサー C_1 の充電が開始された。ある時間が経過すると, 抵抗 R_1 の両端の電圧が V_1 (V)になった。このとき, コンデンサー C_1 に流れ込む電流は E , V_1 , R_1 , R_2 を用いて(③) [A]となる。十分な時間が経過すると, コンデンサー C_1 の充電が終了した。このとき, コンデンサー C_1 の両端の電圧は E , R_1 , R_2 を用いて(④) [V]となる。また, コンデンサー C_1 にたくわえられた電気量は E , R_1 , R_2 , C を用いて(⑤) [C]となる。

(ii) 図2のように, 抵抗 r , 電気容量がそれぞれ $2C$ (F), C (F)のコンデンサー C_2 , C_3 とスイッチ S_3 が接続された回路がある。はじめ S_3 は開いている。コンデンサー C_2 にはあらかじめ電荷がたくわえられており, その両端の電圧は V_2 (V)であった。一方, コンデンサー C_3 には電荷はたくわえられていない。この状態でスイッチ S_3 を閉じた。その直後の抵抗 r の両端の電圧は(⑥ ア)0, (イ) $\frac{V_2}{3}$, (ウ) $\frac{V_2}{2}$, (エ) V_2 (V)となる。十分な時間が経過した後, コンデンサー C_3 の両端の電圧は V_2 を用いて(⑦) [V]となる。電荷がコンデンサー C_2 から C_3 に移動したことにより, コンデンサー C_2 が失った静電エネルギーは V_2 , C を用いて(⑧) [J]となる。また, 抵抗 r に発生したジュール熱は V_2 , C を用いて(⑨) [J]となる。

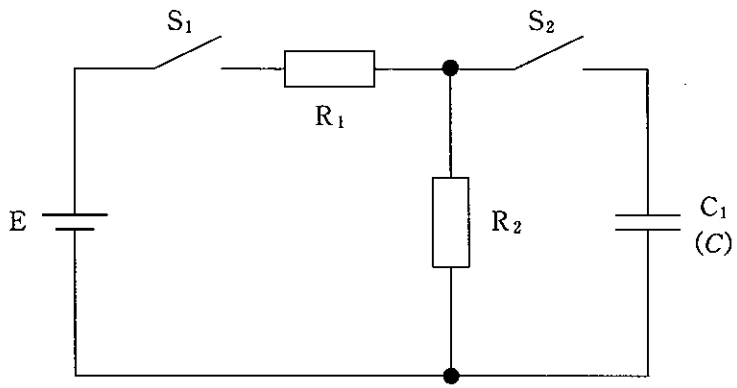


图 1

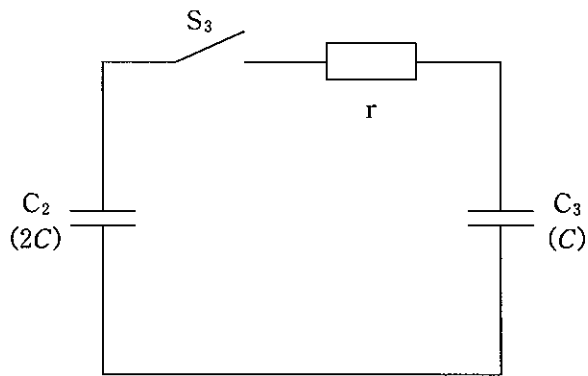


图 2

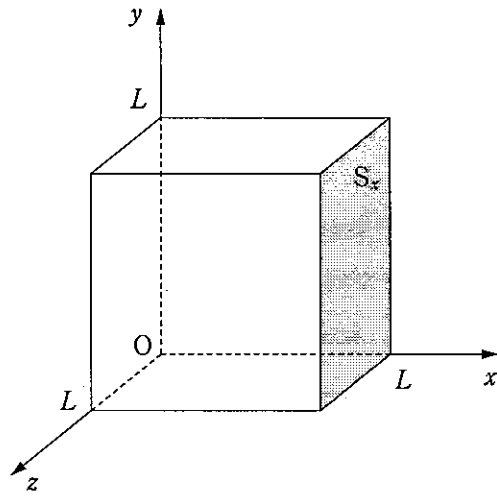
IV 問題Aと問題Bのいずれかを選択して解答しなさい。なお、解答欄にある、選択した問題の記号Aまたは記号Bを○で囲みなさい。

《問題A》

次の文章中の空欄①～⑦を数式で埋め、解答欄に記入しなさい。

図のように1辺の長さが L の立方体の容器の中に質量 m の単原子分子 N 個からなる理想気体が入っている。いま容器の中の温度を T とし、アボガドロ定数を N_A 、気体定数を R とする。気体の物質量 n は $n = (\text{①})$ [mol]であり、この n を用いれば容器内の気体の圧力 p は $p = (\text{②})$ となる。

次に、この容器内における気体分子の運動について考えよう。ただし、壁面はなめらかで気体分子は壁と完全弾性衝突をするが、分子どうしの衝突はないものとする。1つの分子の速度を \vec{v} とし、その大きさを v 、速度の x 、 y 、 z 成分の大きさをそれぞれ v_x 、 v_y 、 v_z とすると、図に示した壁 S_x に、1つの分子が単位時間あたりに衝突する回数は(③)となる。この間に壁 S_x が受ける力積より、1つの分子が壁 S_x に及ぼす平均の力の大きさ \bar{f} は $\bar{f} = (\text{④})$ となる。ここで N 個の分子について、 v 、 v_x 、 v_y 、 v_z の2乗の平均をそれぞれ $\overline{v^2}$ 、 $\overline{v_x^2}$ 、 $\overline{v_y^2}$ 、 $\overline{v_z^2}$ とすれば、壁 S_x が受ける圧力 p は、 L 、 m 、 N 、 $\overline{v_x^2}$ を用いて $p = (\text{⑤})$ となる。ところで、多数の気体分子の運動は乱雑で向きによる違いがないため、どの方向に対しても平均値が等しくなり、 $\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}$ が成り立つ。つまり、気体分子は容器のどの壁にも同じ大きさの圧力を及ぼしており、(⑤)の圧力 p は L 、 m 、 N 、 $\overline{v^2}$ を用いて $p = (\text{⑥})$ と表すことができる。ここで(②)と(⑥)は等しいことから、気体分子1個の平均運動エネルギーは、 T 、 N_A 、 R を用いて $\frac{1}{2} m \overline{v^2} = (\text{⑦})$ となる。



《問題B》

次の文章中の空欄①、⑤、⑥を語句で、②～④は数式で、⑦は数値で埋め、解答欄に記入しなさい。

ボーアは、正電荷で質量の集中した原子核の周りを静電気力によって束縛された軽い電子(質量 m 、電荷 $-e$)が円軌道を回り続ける原子構造を考えたが、その際に以下の大胆な仮説をたてた。仮定(1) 量子条件 電子は以下の条件を満たす場合にのみ円軌道上に存在して、電磁放射によってエネルギーを失って原子核に引き寄せられない。このような特別な状態を(①)と呼ぶ。電子が速さ v で半径 r の円軌道を運動するとき、プランク定数 h と正の整数 n を用いて量子条件は、 $2\pi r n = \frac{nh}{mv}$ と表される。この条件で許される円軌道は軌道半径などがとびとびの値になる。 n を量子数といい、(①)またはそのエネルギー E_n をエネルギー準位という。仮定(2) 振動数条件 電子がエネルギー準位 E_n からそれよりも低いエネルギー準位 $E_{n'}$ に移るときにのみ振動数 ν の光を放出するが、これらのエネルギーと振動数の間には $E_n - E_{n'} = h\nu$ の関係がある。

次に、水素原子の原子核である陽子を周回する電子の運動を分析しよう。電子は、陽子(電荷 e)から静電気力定数 k_0 のクーロン力を受けて、半径 r の円軌道を速さ v で回ると考える。速さ v を用いて遠心力を表すと、力のつり合いの式(②)=(③)がえられる。量子条件より v を消去すると、電子の n 番目の円軌道の半径は $r_n =$ (④)となる。また、電子のエネルギー E_n については $E_n = -\frac{Rhc}{n^2}$ が得られる。ここで、 R はリュードベリ定数、 $R = \frac{2\pi^2 k_0^2 m e^4}{ch^3} = 1.1 \times 10^7 [\text{m}^{-1}]$ であり、 c は光の速さである。 $n = 1$ のエネルギー準位の状態を基底状態、 $n = 2, 3, \dots$ などに対応する状態を(⑤)という。

仮定(2)の振動数条件より、原子から放出される光の振動数を求めて、水素原子の線スペクトルを説明することにボーアは成功した。電子が $n = 3$ の軌道から $n = 2$ の軌道に移るときに放出する光は可視光であり、(⑥)系列の H_α 線である。仮定(2)の式 $E_n - E_{n'} = h\nu$ とリュードベリ定数 R の値を用いて、その H_α 線の波長を有効数字 2 桁で計算すると(⑦) [m]となる。