2017年度 S①

物　　理

注　意

1. 問題は全部で18ページである。
2. 解答用紙に氏名・受験番号を忘れずに記入すること。(ただし，マーク・シートにはあらかじめ受験番号がプリントされている。)
3. 解答はすべて解答用紙に記入すること。
4. 問題冊子の余白は計算に利用してよい。
5. 解答用紙は必ず提出のこと。この問題冊子は提出する必要はない。

マーク・シート記入上の注意

1. 解答用紙(その1)はマーク・シートになっている。HBの黒鉛筆またはシャープペンシルを用いて記入すること。
2. 解答用紙にあらかじめプリントされた受験番号を確認すること。
3. 解答する記号の ◯ を塗りつぶしなさい。◯で囲んだり╳をつけたりしてはいけない。

解答記入例(解答が 1 のとき)

1	●	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⓪

4. 一度記入したマークを消す場合は，消しゴムでよく消すこと。╳をつけても消したことにならない。
5. 解答用紙をよごしたり，折り曲げたりしないこと。

1 以下の文章を読み，空欄(1)〜(3)，(5)，(6)，(8)，(10)，(12)にあてはまる最も適切な数値を，また空欄(4)，(7)，(9)，(11)，(13)にあてはまる最も適切な式を，それぞれ解答群から選び，**解答用紙(その1)**の該当する解答欄にマークせよ。さらに，空欄(ア)〜(エ)にあてはまる最も適切な式，および問aと問bの解答を，**解答用紙(その2)**の所定の解答欄に記入せよ。

I．図1―1のように，なめらかで水平な地面上を動く物体Aと小球Bがある。Aの質量をM，Bの質量をmとし，AとBのあいだの衝突係数を$e=1$とする。図1―1で示されているように，図の右方向を座標軸の正の方向にとる。最初Aは速度Vで，Bは速度vで動いていた。ただし$V>v>0$である。AとBはある時刻で衝突した。衝突直後のAの速度をV'，Bの速度をv'とすると，運動量保存則は $\boxed{(ア)}$ と表される。また衝突前後の物体Aからみた小球Bの速度は，それぞれ$v-V$，$v'-V'$であるが，これらのあいだには $\boxed{(イ)}$ という関係式が成り立つ。

ここで物体Bの質量が物体Aの質量に比べて非常に小さい場合を考える。この場合，運動量保存則(ア)に$\dfrac{m}{M}\fallingdotseq 0$という近似を適用して，$V'$は$V$のみを用いて $\boxed{(ウ)}$ と表される。すると，v'はvとVを用いて $\boxed{(エ)}$ と表される。

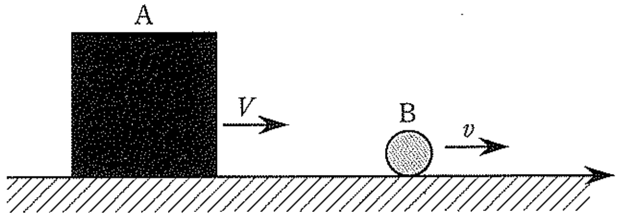

図1―1

Ⅱ．図1―2のように，なめらかで水平な地面上を動く台車Cがある。台車Cの質量をMとする。台車のなめらかで水平な床の上には，小球Dが置かれている。小球Dの質量をmとする。ただし，小球Dの質量は台車Cの質量に比べて非常に小さく，$\dfrac{m}{M} \fallingdotseq 0$という近似が成り立つものとする。

台車Cおよび小球Dは紙面の左右方向にのみ運動するものとする。図の右方向を座標軸の正の方向にとる。台車の床の前方の位置Pおよび後方の位置Qには床面に対して垂直な壁があり，小球Dがこれらの壁と衝突する場合の衝突係数は$e = 1$とする。

最初，小球DはPとQから等距離の点Sに置かれており，台車Cおよび小球Dは地面に対して静止していた。

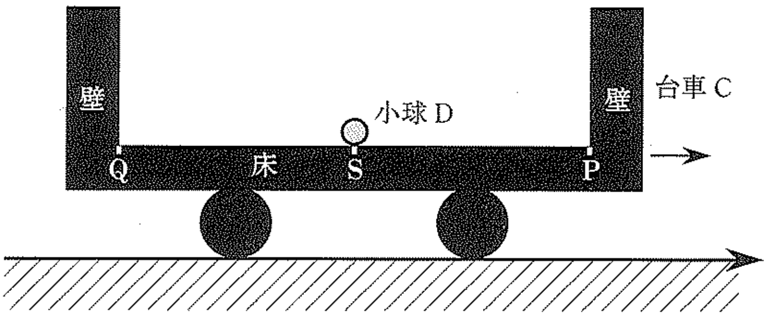

図1―2

（Ⅱ—1）　まず，時刻 $t=0$ において，台車に対して力積を与える場合を考える。その結果，台車は $t>0$ では地面から見て速度 $V_0(>0)$ で動くものとする。台車が動き出した直後，地面から見た小球Dの速度 v_0 は，$v_0=\boxed{\quad(1)\quad}\times V_0$ である。

時刻 $t=T_1$ において，小球Dは台車の壁に初めて衝突した。衝突直後における小球Dの地面から見た速度 v_1 は $\boxed{\quad(2)\quad}\times V_0$ である。その後，小球Dはふたたび台車の壁に衝突した。衝突した時刻 T_2 は，$T_2=\boxed{\quad(3)\quad}\times\boxed{\quad(4)\quad}$ と表される。この衝突直後の小球Dの地面から見た速度 v_2 は $\boxed{\quad(5)\quad}\times V_0$ である。

問a　時刻 $t=0$ から $t=5T_1$ までの小球Dの運動の様子を示すグラフを，横軸を時刻 t，縦軸を台車Cから見た小球Dの位置として，**解答用紙(その2)**の図1—3に描け。

(1)，(2)，(3)，(5)の解答群

① 1	② 2	③ 3	④ 4	⑤ −1
⑥ −2	⑦ $\frac{1}{2}$	⑧ $\frac{3}{2}$	⑨ $-\frac{1}{2}$	⓪ 0

(4)の解答群

① v_0	② v_1	③ $\frac{v_0 v_1}{V_0}$	④ T_1	⑤ $\frac{v_0}{V_0}T_1$
⑥ $(\frac{v_0}{V_0})^2 T_1$	⑦ $\frac{v_0 v_1}{V_0^2}T_1$	⑧ $\frac{v_0}{v_1}T_2$	⑨ $\frac{v_0}{V_0}T_2$	⓪ 0

（Ⅱ—2） 一方，時刻 $t=0$ から台車 C に力を与えて，台車 C を等加速度運動させる場合を考える。加速度の値を $a(>0)$ とする。このとき，時刻 t における台車の速度 V は，$V=$ $\boxed{(6)}$ $\times$ $\boxed{(7)}$ と与えられる。

時刻 $t=T_3$ において，小球 D は台車の壁に初めて衝突した。衝突直後の小球 D の地面から見た速度 v_3 は，$v_3=$ $\boxed{(8)}$ $\times$ $\boxed{(9)}$ である。その後，小球 D はふたたび 1 回めと同じ台車の壁に衝突した。衝突した時刻 T_4 は，$T_4=$ $\boxed{(10)}$ $\times$ $\boxed{(11)}$ と表される。この衝突直後の小球 D の地面から見た速度 v_4 は，$v_4=$ $\boxed{(12)}$ $\times$ $\boxed{(13)}$ となる。

問 b 時刻 $t=0$ から $t=5T_3$ までの小球 D の運動の様子を示すグラフを，横軸を時刻 t，縦軸を台車 C から見た小球 D の位置として，**解答用紙(その 2)**の図 1—4 に描け。

(6)，(8)，(10)，(12)の解答群

① 1	② 2	③ 3	④ 4	⑤ -1
⑥ -2	⑦ $\frac{1}{2}$	⑧ $\frac{3}{2}$	⑨ $-\frac{1}{2}$	⓪ 0

(7)，(9)，(11)，(13)の解答群

① t	② t^2	③ at	④ at^2	⑤ T_3
⑥ T_3^2	⑦ aT_3	⑧ aT_3^2	⑨ $\frac{t^2}{T_3}$	⓪ $\frac{at^2}{T_3}$

<余　　白>

<余　　　白>

2 この問題はⅠとⅡにわかれている。各問の前文をよく読んで解答すること。

Ⅰ．空欄(14)〜(17)にあてはまる最も適切な式，または数値をそれぞれの解答群より選び，**解答用紙（その１）**の該当する記号をマークせよ。

図２—１は一定の断面積 s_1〔m^2〕を持つ物質Ａのまっすぐな棒について，図２—２のように棒の長さ方向に平行に流した直流電流 I と，長さ ℓ〔m〕の間で測定された電圧 V の関係である。

図２—１より，物質Ａの棒の長さ ℓ〔m〕の間の抵抗 R_A は $\boxed{(14)}$〔Ω〕であることが読み取れる。物質Ａの抵抗率 ρ_A は $R_A \times \boxed{(15)}$〔Ωm〕と表せる。また，物質Ａで作られた断面積が s_2〔m^2〕の別の棒の長さ ℓ'〔m〕の間の抵抗は $R_A \times \boxed{(16)}$〔Ω〕と見積もることができる。抵抗率が物質Ａよりちょうど４倍大きい物質Ｂの一様な断面積 s_1〔m^2〕の棒の長さ ℓ〔m〕の間の抵抗は $\boxed{(17)}$〔Ω〕と計算できる。

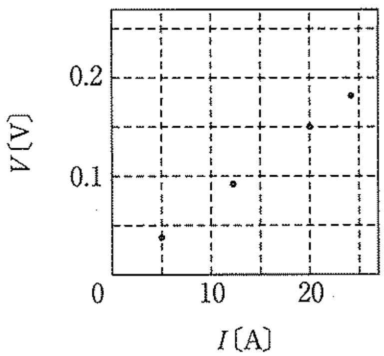

図２—１

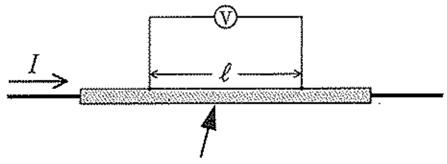

図２—２

(14), (17)の解答群

① 0.3　② 0.030　③ 0.003　④ 13.3　⑤ 133

⑥ 0.75　⑦ 0.075　⑧ 0.0075　⑨ 0.019　⓪ 0.0019

(15), (16)の解答群

① $\frac{s_1 \ell}{s_2 \ell'}$　② $\frac{s_1 \ell'}{s_2 \ell}$　③ $\frac{s_2 \ell}{s_1 \ell'}$　④ $\frac{s_2 \ell'}{s_1 \ell}$　⑤ $\frac{s_1}{s_2}$

⑥ $\frac{s_2}{s_1}$　⑦ $s_1 \ell$　⑧ $\frac{\ell}{s_1}$　⑨ $\frac{s_1}{\ell}$　⓪ $\frac{1}{s_1 \ell}$

Ⅱ．空欄(18)，(19)にあてはまる最も適切な語句をそれぞれの解答群より選び，**解答用紙**(**その1**)の該当する記号をマークせよ。空欄(ア)～(カ)については**解答用紙**(**その3**)に適切な式または数値を記せ。

以下のコイルと物質C，Dで作られた細い棒を含む図2－3に示した回路を考える。コイルは半径r〔m〕，長さℓ〔m〕のソレノイド状で1m当たりn回巻かれたものである。物質C，Dで作られた棒以外の導線，コイルおよび接続部の電気抵抗は極めて小さく無視できるとする。物質C，Dの細い丸棒はともに一様な断面積s_3〔m^2〕を持ち，長さがℓ〔m〕で，d〔m〕の距離を隔てて互いに平行な位置に固定されている。なお$\ell \gg d$である。物質C，Dの棒の抵抗率はそれぞれ温度によらず0.001Ωm，0.004Ωmで，コイル内を含め回路の周囲の透磁率をμとする。なお，コイル以外の回路のインダクタンスは無視できるほど小さい。

スイッチS_1，S_2，S_4，S_5が開いており，S_3が閉じているとき，a−b間の抵抗は $\boxed{\text{(ア)}}$ 〔Ω〕である。このあと，S_4，S_5を閉じ，直流電源よりI_1〔A〕の電流を流した。このとき物質C，Dで作られた棒の間には $\boxed{\text{(18)}}$ が働き，その大きさは単位長さ当たり $\boxed{\text{(イ)}}$ 〔N〕である。

続いて直流電源から流す電流をゼロにし，スイッチS_1を閉じ，S_3を開けた後，直流電源より流す電流をゼロからI_1〔A〕に増やした。十分に時間が経過したあとのコイルの内部の磁場は $\boxed{\text{(ウ)}}$ 〔A/m〕である。コイルの自己インダクタンスをL〔H〕とすると，I_1〔A〕の電流が流れているときコイルに蓄積されているエネルギーは $\boxed{\text{(エ)}}$ 〔J〕である。

次にスイッチS_2を閉じたところ，電源からの電流I_1〔A〕は全てコイルに流れたままであった。このとき，a−b間の電位差は $\boxed{\text{(オ)}}$ 〔V〕である。続いて，電源から流す電流をI_1〔A〕から徐々にゼロまで小さくする過程を考える。まず，電源から流す電流を微小量ΔIだけ減らしたとき，コイルの両端に微小な $\boxed{\text{(19)}}$ が生じbの電位がaよりもわずかに高くなり，S_2を通って電流ΔIが流れる。この過程を繰り返し，直流電源から流す電流をゼロにした後も，コイルを流れる電流はI_1〔A〕のままであった。これは電源からの電流の供

給がない状態でもコイルを流れる電流が一定に保たれることを意味し，エネルギーがコイルに蓄えられ，また，コイル内部の磁場は変化しない。このような回路は電気抵抗がゼロの超伝導体を用いた電磁石に広く用いられている。

次にスイッチ S_4，S_5 を開き，さらにスイッチ S_3 を閉じた後，S_2 を開いたところ，やがてコイル内部の磁場がゼロになった。S_2 を開いてからC，Dの棒より生じた熱は合わせて $\boxed{\text{(カ)}}$ 〔J〕である。

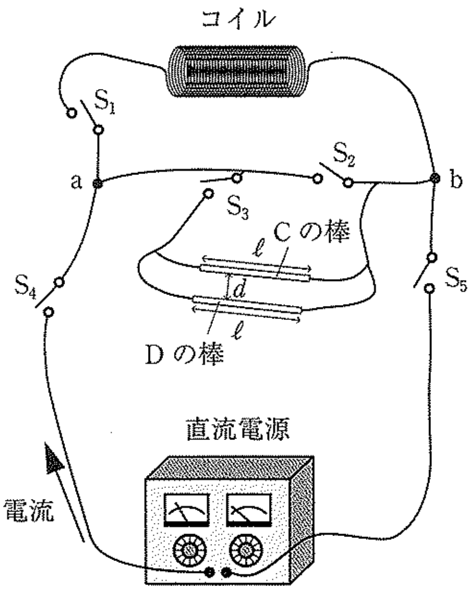

図2―3

(18)，(19)の解答群

① 遠心力	② 斥力	③ 向心力	④ 引力
⑤ 摩擦力	⑥ 誘導起電力	⑦ 垂直抗力	⑧ 圧力
⑨ 電流	⓪ 振動		

<余　　　白>

<余　　白>

3 以下の文章を読んで空欄(1)〜(5)に入る正しい式を**解答用紙(その3)**の該当する欄に記入しなさい。また，空欄(ア)〜(エ)に入る最も適切な語句または式を文章の後にあるそれぞれの解答群から選び，その記号を**解答用紙(その3)**の該当する欄に記入しなさい。

図3―1のように1辺の長さがLの正方形の平面上に質量mの単原子分子が，N個ある。単原子分子は他の分子とは衝突せず平面上のみを自由に運動できるが，平面を囲んでいる壁A，B，C，Dとは弾性衝突する。壁はx軸，またはy軸に平行とし，壁と単原子分子の間に摩擦は働かない。また重力の影響は無視できるものとする。

まずx方向の速度の成分がv_xの1つの単原子分子を考える。このとき，$t_x = \dfrac{2L}{|v_x|}$で表される時間はこの単原子分子が一度，壁Aに衝突してから次に $\boxed{(ア)}$ に衝突するまでの時間である。この単原子分子が壁Aに衝突すると，壁は単原子分子から大きさが $\boxed{(1)}$ の力積を壁に垂直外向きに受ける。ある時間t_0の間にこの単原子分子から壁Aが受ける垂直外向きの力積の合計は $\boxed{(2)}$ となる。壁Aがこの単原子分子から受ける垂直外向きの力の平均を$\overline{f}$とすると，$\overline{f}t_0 = \boxed{(2)}$ なので，$\overline{f} = \boxed{(3)}$ となる。

次にN個の単原子分子の運動について考える。また全単原子分子についてのv_x，$v_x{}^2$の平均をそれぞれ$\overline{v_x}$，$\overline{v_x{}^2}$と表し，速度のy方向の成分v_y，および$v_y{}^2$についても同様とする。壁Aが全単原子分子から受ける壁に垂直外向きの力$N\overline{f}$は $\boxed{(4)}$ と表すことができる。これより壁Aが，全単原子分子から受ける単位長さ当たりの垂直外向きの力の大きさqが $\boxed{(5)}$ と求まる。

x軸方向もy軸方向も同等なので，$\overline{v_x} = \overline{v_y}$，$\overline{v_x{}^2} = \overline{v_y{}^2}$が成り立つ。一方，絶対温度$T$では各方向の運動エネルギーの平均と$T$の間には

$\dfrac{1}{2}m\overline{v_x{}^2} = \dfrac{1}{2}m\overline{v_y{}^2} = \dfrac{1}{2}kT$の関係が成り立つ。ここで$k$はボルツマン定数である。$q$はすべての壁で等しいので，上で求めた関係を使うと平面上のN個の単原子分子からなる系ではqについて $\boxed{(イ)}$ が成り立つ。アボガドロ定数N_Aを使うと，気体定数Rは$R = kN_A$と表される。これより平面上のnモルの単原

子分子からなる系では q について $\boxed{\text{(ウ)}}$ が成り立つ。また各方向の運動エネルギーの平均と絶対温度の関係から平面上の n モルの単原子分子の内部エネルギーは $\boxed{\text{(エ)}}$ となる。

q は壁が単原子分子から受ける単位長さあたりの壁に垂直外向きの力の大きさなので，通常の気体の圧力に対応する量である。したがって $\boxed{\text{(イ)}}$ ，および $\boxed{\text{(ウ)}}$ は平面上の単原子分子理想気体の状態方程式である。

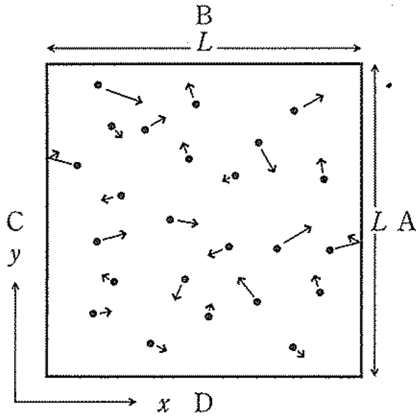

図3—1

空欄(ア)〜(エ)の各々に入るもっとも適切な語句または式の選択肢

(ア) ① 壁A　② 壁B　③ 壁C　④ 壁D　⑤ どれかの壁

(イ) ① $q=\frac{1}{2}NkT$　② $q=NkT$　③ $q=2NkT$

④ $qL=\frac{1}{2}NkT$　⑤ $qL=NkT$　⑥ $qL=2NkT$

⑦ $qL^2=\frac{1}{2}NkT$　⑧ $qL^2=NkT$　⑨ $qL^2=2NkT$

(ウ) ① $q=\frac{1}{2}nRT$　② $q=nRT$　③ $q=2nRT$

④ $qL=\frac{1}{2}nRT$　⑤ $qL=nRT$　⑥ $qL=2nRT$

⑦ $qL^2=\frac{1}{2}nRT$　⑧ $qL^2=nRT$　⑨ $qL^2=2nRT$

(エ) ① $\frac{1}{2}nT$　② nT　③ $\frac{3}{2}nT$　④ $2\,nT$

⑤ $\frac{1}{2}nRT$　⑥ nRT　⑦ $\frac{3}{2}nRT$　⑧ $2\,nRT$

<余　　白>

<余　　白>

<余　　　白>