R—3 Ⓐ

理　科

15：00～17：30

解 答 上 の 注 意

1. 試験開始の合図があるまで，この問題紙を開いてはならない。
2. 問題紙は55ページある。このうち，「物理」は2～11ページ，「化学」は12～28ページ，「生物」は29～47ページ，「地学」は48～55ページである。
3. 「物理」，「化学」，「生物」，「地学」のうちから，あらかじめ届け出た2科目について解答せよ。各学部・系・群・学科・専攻の必須科目(◎印)と選択科目(○印)は下表のとおりである。

学部・系・群・学科・専攻	総合入試					学部別入試								
	理系					医学部						歯学部	獣医学部	水産学部
							保健学科							
科目	数学重点選抜群	物理重点選抜群	化学重点選抜群	生物重点選抜群	総合科学選抜群	医学科	看護学専攻	放射線技術科学専攻	検査技術科学専攻	理学療法学専攻	作業療法学専攻			
物理	○	◎	○	○	○	◎	○	◎	○	○	○	○	○	○
化学	○	○	◎	○	○	○	○	○	◎	○	○	○	○	○
生物	○	○	○	◎	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	○
地学	○	○	○	○	○									○

4. **受験する科目のすべての解答用紙には，受験番号および座席番号(上下2箇所)を，監督者の指示に従って，指定された箇所に必ず記入せよ。**
5. 解答はすべて解答用紙の指定された欄に記入せよ。
6. 必要以外のことを解答用紙に書いてはならない。
7. 問題紙の余白は下書きに使用してもさしつかえない。
8. 下書き用紙は回収しない。

◇M11(185—102)

物　　理

1　以下の文中の $\boxed{(1)}$ ～ $\boxed{(9)}$ に適切な数式を入れよ。また，$\boxed{(あ)}$ には選択肢から最も適切なものを一つ選べ。

はじめに，図1のようなレールに沿った小球の運動を考える。レールは，水平面からの高さ h〔m〕の点Sから，なめらかな斜面に沿って水平面上の点Aに至り，半径 a〔m〕の円形ループを1周して点Aの右に位置する水平部に続いている。レールの右端の点Wには，レールと垂直な壁が固定されている。この壁と小球とのはねかえり係数を e($0 < e < 1$)とする。ただし，円形ループを含むレール全体は同一の鉛直平面内にあるとみなせる。また，レールと小球との摩擦，空気の抵抗，小球の大きさは無視できるとし，重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とする。

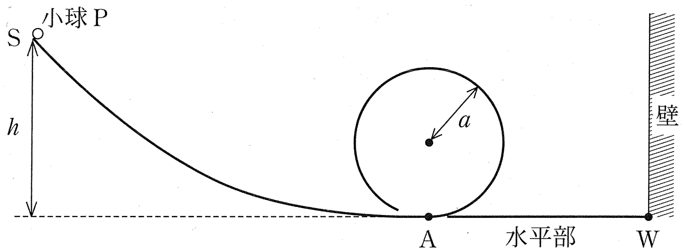


図1

問1　質量 m〔kg〕の小球Pをレール上の点Sに静かに置くと，この小球はレールに沿って動き始めた。小球Pがレール上の点Aにはじめて到達したとき，その速さは $\boxed{(1)}$〔m/s〕である。その後，小球Pがレールから離れることなく円形ループを1周し，点Aの右の水平部に到達するためには，点Sの高さ h は条件 $h \geqq \boxed{(2)}$〔m〕を満たす必要がある。この条件を満たす点Sから動き始めた小球Pは，円形ループを1周した後，点Wで壁と垂直に衝突した。その直後の小球Pの速さは $\boxed{(3)}$〔m/s〕となる。さらに，小球Pは左向きに進み，レールから離れることなく円形ループを1周して左側の斜面に到達した。その後，小球Pは再び斜面を下降し，円形ループを経由して壁に衝突した。小球Pがこのような斜面と壁との間の運動を繰り返し，壁と n 回(n は正の整数)衝突した後に斜面に戻るためには，小球のはじめの高さ h は条件 $h \geqq \boxed{(4)}$〔m〕を満たす必要がある。

問 2　図 2 のように，円形ループ，レールの水平部と壁を取り除き，小球 P と同じ質量 m〔kg〕の小球 Q と，質量の無視できる長さ h〔m〕の伸び縮みしない糸からなる単振り子を，点 A からの高さ h〔m〕の位置にある固定点 O から鉛直につるし，小球 Q を点 A に静止させた。図 2 の直線 OA と直線 OB の長さは等しく，ともに h[m]である。

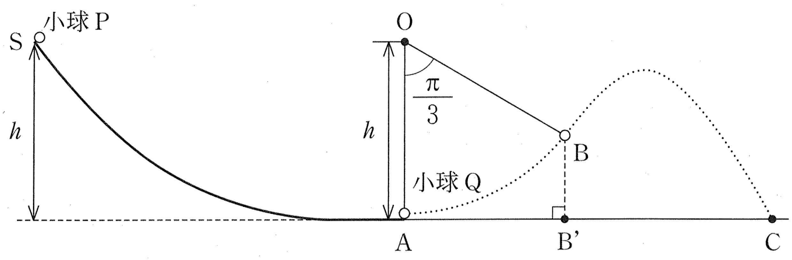


図 2

点 S に静かに置かれた小球 P は，レール上を運動し，点 A に静止している小球 Q と弾性衝突した。衝突直後の小球 Q の速さは $\boxed{\quad(5)\quad}$〔m/s〕となる。その後，小球 Q は点 O を中心とする半径 h〔m〕の円弧を描いて運動するが，糸と鉛直下向きとのなす角が図 2 のように $\frac{\pi}{3}$ rad になったところで，小球 Q を糸から切り離した。糸から切り離された瞬間の小球 Q の位置を点 B とする。この点での小球 Q の速さは $\boxed{\quad(6)\quad}$〔m/s〕である。

糸から切り離された後，小球 Q は重力のみを受け $\boxed{\quad(あ)\quad}$ を行う。このため，小球 Q は放物線を描いて運動する。小球 Q が点 B から放物線の最高点まで移動するのにかかる時間は $\boxed{\quad(7)\quad}$〔s〕であり，最高点の水平面からの高さは $\boxed{\quad(8)\quad}$〔m〕となる。この後，小球 Q は水平面上の点 C に落下した。小球 Q が点 B から点 C に至るまでに水平方向に移動した距離(図 2 における B'C 間の距離)は $\boxed{\quad(9)\quad}$〔m〕となる。

$\boxed{\quad(あ)\quad}$ の選択肢：

(ア)　水平方向に等速運動，鉛直方向に等速運動

(イ)　水平方向に等速運動，鉛直方向に等加速度運動

(ウ)　水平方向に等加速度運動，鉛直方向に等速運動

(エ)　水平方向に等加速度運動，鉛直方向に等加速度運動

2 以下の文中の $\boxed{(1)}$ ～ $\boxed{(8)}$ に適切な数式を入れよ。また，$\boxed{(あ)}$ と $\boxed{(い)}$ には選択肢から最も適切なものをそれぞれ一つ選べ。

図1のように，断熱材でできたシリンダーを鉛直に立て，その中に1 molの単原子分子理想気体(気体A)を入れて，鉛直方向になめらかに動く断面積S〔m^2〕のピストンで封じ込める。このピストンは2重になっており，内側のピストンは質量M〔kg〕の熱移動が可能な材質で，外側のピストンは質量が無視できる断熱材でできている。また，内側のピストンの熱容量は無視できる。気体定数をR〔J/(mol·K)〕，アボガドロ定数をN_A〔1/mol〕，重力加速度の大きさをg〔m/s^2〕とし，外気の圧力と温度をそれぞれp_0〔Pa〕，T_0〔K〕とする。

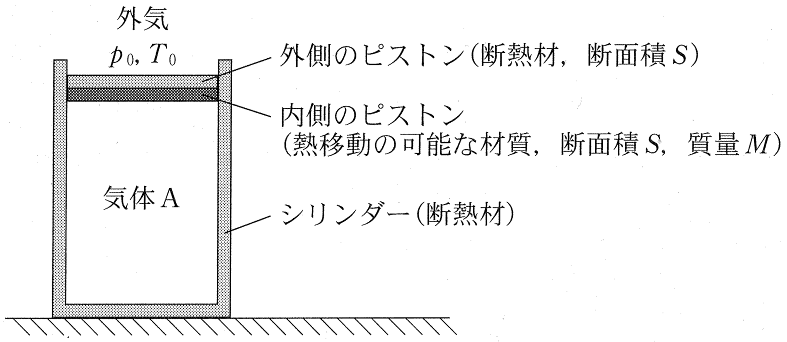


図1

問 1　はじめ，気体 A の温度は外気と同じ温度 T_0〔K〕であった。このときの気体 A の圧力，体積をそれぞれ p_1〔Pa〕，V_1〔m^3〕とすると，p_1 は M，S，g，p_0 を用いて $\boxed{\quad(1)\quad}$〔Pa〕，V_1 は p_1，T_0，R を用いて $\boxed{\quad(2)\quad}$〔m^3〕と表される。また，気体分子 1 個の運動エネルギーの平均値は N_A，T_0，R を用いて $\boxed{\quad(3)\quad}$〔J〕と表される。ここで，ピストンをゆっくり押し下げ，気体 A を体積が V_A〔m^3〕になるまで圧縮したところ，その圧力が p_A〔Pa〕になった。このときの断熱変化では(圧力)×(体積)$^{\frac{5}{3}}$ が一定であることを使うと，p_A は p_1，V_1，V_A を用いて $\boxed{\quad(4)\quad}$〔Pa〕と表され，体積が V_A に圧縮された状態における気体 A の内部エネルギーは，T_0，V_1，V_A，R を用いて $\boxed{\quad(5)\quad}$〔J〕と表される。

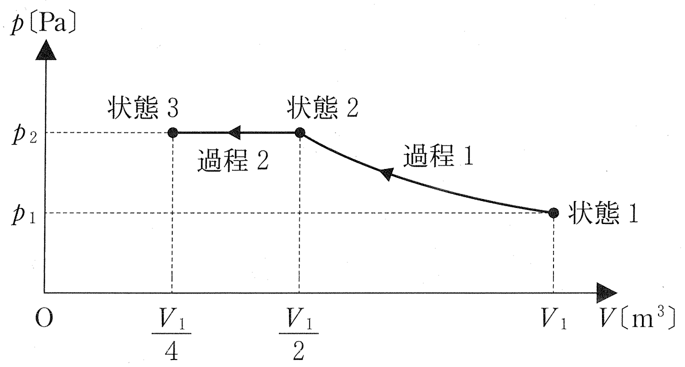
つぎに，外側の断熱材でできたピストンを外し，気体 A をはじめの状態(圧力 p_1，体積 V_1，温度 T_0)に戻した。その後，気体 A の温度が一定に保たれるようにピストンをゆっくり押し下げ，気体 A を体積が V_A になるまで圧縮した。このときの気体 A の圧力は $\boxed{\quad(4)\quad}$ と $\boxed{\quad(あ)\quad}$ 。

$\boxed{\quad(あ)\quad}$ の選択肢：

(ア)　比べて大きい　　(イ)　等しい　　(ウ)　比べて小さい

問 2 シリンダー内の物質を気体・液体間の状態変化が起こる 1 mol の物質(物質 B)に換え，質量 M〔kg〕の熱移動が可能な材質でできたピストンで封じ込める。以下では，物質 B の温度が常に外気と同じ T_0〔K〕に保たれるとして，その状態変化について考える。

はじめ，物質 B はすべて気体の状態にあり，その圧力と体積はそれぞれ p_1〔Pa〕，V_1〔m^3〕であった。この状態を「状態 1」とする。ここでピストンをゆっくり押し下げ，図 2 に示すように，物質 B の体積を $\frac{V_1}{2}$ まで変化させたところ，その圧力は p_2〔Pa〕になった。この状態を「状態 2」とし，状態 1 から状態 2 への状態変化の過程を「過程 1」とする。過程 1 においては，物質 B はすべて気体のままであった。ここで，物質 B がすべて気体のときには理想気体の状態方程式に従うものとする。状態 2 での圧力 p_2 を理想気体の状態方程式から求め，p_1 を用いて表すと $\boxed{\quad(6)\quad}$〔Pa〕となる。過程 1 の間に物質 B(気体)が外部からされた仕事の大きさを $p-V$ 図上の面積で表すと，これに対応する領域は $\boxed{\quad(い)\quad}$ の灰色の部分になる。



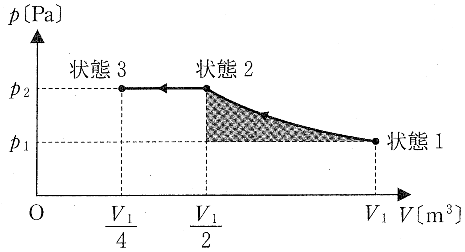
温度 T_0 における物質 B の $p-V$ 図

図 2

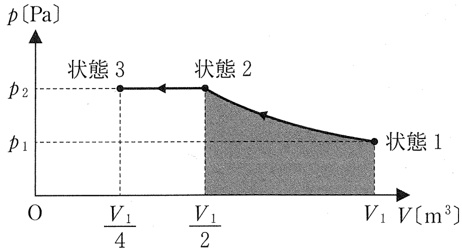
さらにピストンをゆっくり押し下げていくと，物質Bは体積が$\dfrac{V_1}{2}$より小さくなったところで，その一部が液体になりはじめた。そのままピストンをゆっくり押し下げ，物質Bを体積が$\dfrac{V_1}{4}$になるまで圧縮した。このときの物質Bの状態を「状態3」とし，状態2から状態3への状態変化の過程を「過程2」とする。過程2においては，物質Bの圧力は一定であり，気体と液体とが共存している。過程2で物質Bが外部からされた仕事の大きさは，p_2，V_1を用いて $\boxed{\quad(7)\quad}$ 〔J〕と表される。また，物質Bの内部エネルギーは，状態2から状態3への変化に伴ってE〔J〕$(E > 0)$だけ減少した。以上より，過程2で物質Bから外部に放出された熱量は，p_2，V_1，Eを用いて $\boxed{\quad(8)\quad}$ 〔J〕となることがわかる。

$\boxed{\quad(い)\quad}$ の選択肢：

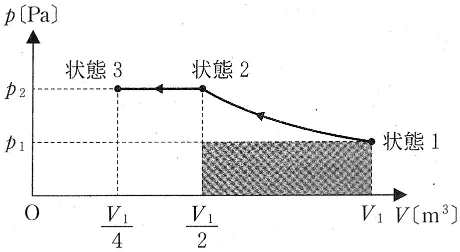
(ア)



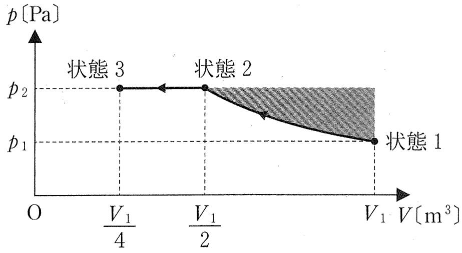
(イ)



(ウ)



(エ)



3 以下の文中の $\boxed{\quad(1)\quad}$ ～ $\boxed{\quad(10)\quad}$ に適切な数式または数値を入れよ。また，$\boxed{\quad(あ)\quad}$ には選択肢から最も適切なものを一つ選べ。

問 1 図1のような3種類の平行平板コンデンサーA，B，Cに蓄えられる静電エネルギーについて考える。これらのコンデンサーは真空中に置かれており，極板および極板間に挿入された物体の端における電場(電界)の乱れは無視できるものとする。

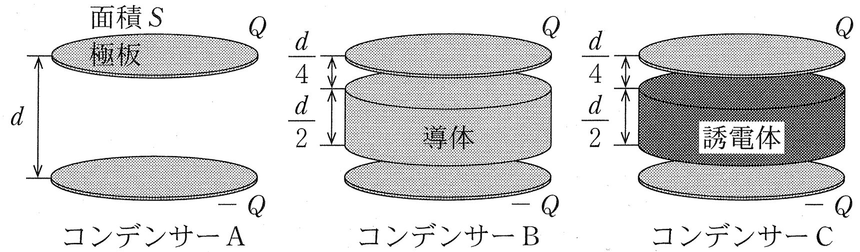


図1

コンデンサーAは面積 S〔m^2〕の2枚の薄い円板状極板からなり，これらの極板は d〔m〕の間隔で平行に置かれ，極板面に垂直な方向から見て正確に重なっている。この2枚の極板に Q，$-Q$〔C〕($Q>0$)の電荷をそれぞれ与えたとき，このコンデンサーに蓄えられる静電エネルギー U_A は，真空の誘電率を ε_0〔F/m〕とすると，$U_A = \boxed{\quad(1)\quad}$〔J〕となる。

コンデンサーBは，コンデンサーAの極板間に円柱状導体を，底面が極板と平行になるように挿入したものである。円柱状導体の底面の面積は極板と同じ S〔m^2〕で，その厚さは $\frac{d}{2}$〔m〕である。また，円柱状導体は底面に垂直な方向から見て2枚の極板と正確に重なっており，これらの極板から等距離にある。このコンデンサーBの電気容量は $\boxed{\quad(2)\quad}$〔F〕であり，2枚の極板に Q，$-Q$〔C〕の電荷をそれぞれ与えたときに蓄えられる静電エネルギー U_B は，U_A を用いて $U_B = \boxed{\quad(3)\quad} \times U_A$〔J〕と表される。

コンデンサーCは，コンデンサーBの円柱状導体を同じ大きさと形の誘電体で置き換えたものである。この誘電体の誘電率をε〔F/m〕($\varepsilon > \varepsilon_0$)とすると，コンデンサーCの電気容量は $\boxed{\quad (4) \quad}$ 〔F〕であり，2枚の極板にQ，$-Q$〔C〕の電荷をそれぞれ与えたときに蓄えられる静電エネルギーU_Cは，U_Aを用いて$U_C = \boxed{\quad (5) \quad} \times U_A$〔J〕と表される。以上より，これらのコンデンサーに蓄えられる静電エネルギーU_A，U_B，U_Cの間には，$\boxed{\quad (あ) \quad}$ の関係が成り立つことがわかる。

$\boxed{\quad (あ) \quad}$ の選択肢：

(ア) $U_A < U_B < U_C$　　(イ) $U_A > U_B > U_C$

(ウ) $U_A < U_C < U_B$　　(エ) $U_A > U_C > U_B$

問 2　図 2 のような円柱状の導体棒の両端に電圧 V〔V〕を加えると，導体棒に電流が流れ，ジュール熱が発生した。この電流およびジュール熱と電圧との関係を，導体内の自由電子の運動に基づいて考える。導体棒の断面積は S〔m^2〕，長さは L〔m〕であり，その内部の温度と電流は一様で，時間によらず一定であるとする。また，自由電子の電荷を $-e$〔C〕，質量を m〔kg〕とし，導体棒内にある自由電子の密度を n〔$1/\mathrm{m}^3$〕とする。

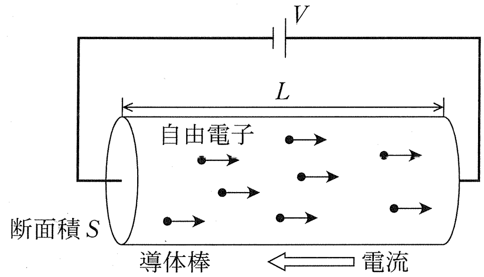


図 2

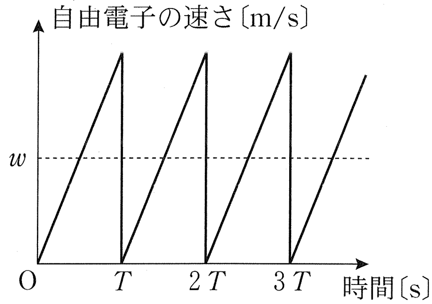


図 3

自由電子は，熱振動している陽イオンと衝突しながら導体棒内を運動している。このような自由電子の複雑な運動を次のように単純化して考える。自由電子は導体棒に加えた電圧により生じる一様な電場（電界）から一定の力を受けて加速されるが，T〔s〕ごとにイオンと衝突し，そのたびに電場から得た運動エネルギーをすべて失うとする。そのため，図 3 のように，自由電子の速さは T〔s〕ごとに 0 になる。また，自由電子があるイオンと衝突してから次の衝突までの間は等加速度運動を行うとすると，その加速度の大きさと衝突直前の速さは，e，m，L，T，V の中から必要なものを用いて，それぞれ $\boxed{\quad(6)\quad}$〔$\mathrm{m/s^2}$〕と $\boxed{\quad(7)\quad}$〔m/s〕と表される。したがって，T よりも十分に長い時間にわたる平均の速さ w は $\dfrac{1}{2} \times \boxed{\quad(7)\quad}$〔m/s〕となる。導体棒内のすべての自由電子が同じ運動を行うと仮定すると，導体棒に流れる電流の大きさは，自由電子の平均の速さ w と密度 n および e，S を用いて $\boxed{\quad(8)\quad}$〔A〕と表される。また，この電流の大きさは，e，m，n，L，S，T，V を用いて表すと $\boxed{\quad(9)\quad} \times V$〔A〕と

なる。これはオームの法則を表しており，$\boxed{\quad (9) \quad}$ の逆数は導体棒の電気抵抗を与える。ここで，衝突によって失われる自由電子の運動エネルギーがすべて熱に変わるとする。それぞれの自由電子は1秒間に $\dfrac{1}{T}$ 回イオンに衝突することに注意すると，1秒間に導体棒で発生するジュール熱は，e，m，n，L，S，T，V を用いて $\boxed{\quad (10) \quad}$〔J〕と表されることがわかる。