2024年度

理　　科

Ｒ１

【 物　理 】

2月25日（日）	理　学　部	（数学科，物理学科，生物科学科，地球科学科，創造理学コース）	
【前 期 日 程】	農　学　部		13 ： 50 ～ 15 ： 10
	工　学　部		14 ： 40 ～ 16 ： 00

注　意　事　項

試験開始前

1　監督者の指示があるまで，問題冊子，解答用紙に手を触れてはいけません。

2　監督者の指示に従い，出願時に選択した科目の問題冊子，解答用紙であるかどうかを確かめ，全部の解答用紙（３枚）に受験番号を記入しなさい。

3　出願時に選択した科目と解答した科目が異なる場合は採点されません。

試験開始後

4　この問題冊子は，６ページあります。はじめに，問題冊子，解答用紙を確かめ，枚数の不足や，印刷の不鮮明なもの，ページの落丁・乱丁があった場合は，手をあげて監督者に申し出なさい。

5　解答はすべて解答用紙に記入しなさい。

6　問題は，声を出して読んではいけません。

7　各問ごとの配点は，比率(%)で表示してあります。

試験終了後

8　問題冊子は，必ず持ち帰りなさい。

補足説明

科 目 <u>理科（物理）</u>

１～２ページ　問題 $\boxed{1}$ 　問1～問12

○ 空気抵抗は無視できるものとする。

1 図のように水平な床上に水平方向に x 軸，鉛直上向きの方向に y 軸をとる。原点Oから速さ v_0 で，x 軸となす角 θ[rad] $\left(0 < \theta < \dfrac{\pi}{2}\right)$ の方向に大きさの無視できる質量 m のボールを投げた。ボールはある高さまで達したあと，なめらかな床に衝突し，なめらかな床の上を何度もはねながら進んだ。やがてボールはなめらかな床の上をすべり始め，しばらくすべった後，摩擦のある床の領域へ入った。その後，摩擦のある床を ℓ だけすべり，静止した。重力加速度の大きさを g，ボールとなめらかな床の間の反発係数を e ($0 < e < 1$)，ボールと摩擦のある床の間の動摩擦係数を μ，円周率は π として，以下の問いに答えよ。(配点 35 %)

問 1　ボールを投げた瞬間のボールの速度の水平方向の成分 v_x と鉛直方向の成分 v_y を v_0，θ を用いて表せ。

問 2　ボールを投げてから 1 回目の衝突までにかかった時間 t_1 を g，v_0，θ を用いて表せ。

問 3　原点Oから 1 回目の衝突位置までの水平距離 x_1 を g，v_0，θ を用いて表せ。

問 4　1 回目の衝突のとき，ボールは一定の力を時間 Δt の間受けてはねかえったと考える。この力の y 成分を e，m，v_0，θ，Δt を用いて表せ。

問 5　1 回目の衝突から 2 回目の衝突までにかかった時間 t_2 を e，g，v_0，θ を用いて表せ。

問 6　1 回目の衝突位置から 2 回目の衝突位置までの水平距離 x_2 を e，g，v_0，θ を用いて表せ。

問 7　n を $n \geqq 2$ の整数とするとき，$n-1$ 回目の衝突位置から n 回目の衝突位置までの水平距離 x_n を e，g，n，v_0，θ を用いて表せ。

問 8　ボールを投げてからなめらかな床の上をすべりはじめるまでに移動した水平方向の距離 L を e，g，v_0，θ を用いて表せ。なお必要であれば下記の公式を用いよ。

$$\sum_{n=1}^{\infty} e^{n-1} = \frac{1}{1-e}$$

問 9　ボールを投げてからなめらかな床の上をすべりはじめるまでに衝突によって失われたエネルギーを m，v_0，θ を用いて表せ。

問10　摩擦のある床をすべった距離 ℓ を g，v_0，θ，μ を用いて表せ。

問11　$L+\ell$ は次式のように表すことができる。

$$L+\ell=\boxed{\quad(1)\quad}\times\sin(2\theta+\phi)+\boxed{\quad(2)\quad}$$

ただし，ϕ[rad]は

$$\tan\phi=\boxed{\quad(3)\quad}$$

を満たす。$\boxed{\quad(1)\quad}$，$\boxed{\quad(2)\quad}$ および $\boxed{\quad(3)\quad}$ に入る式を e，g，v_0，μ のうち必要なものを用いて表せ。なお必要であれば下記の公式を用いよ。

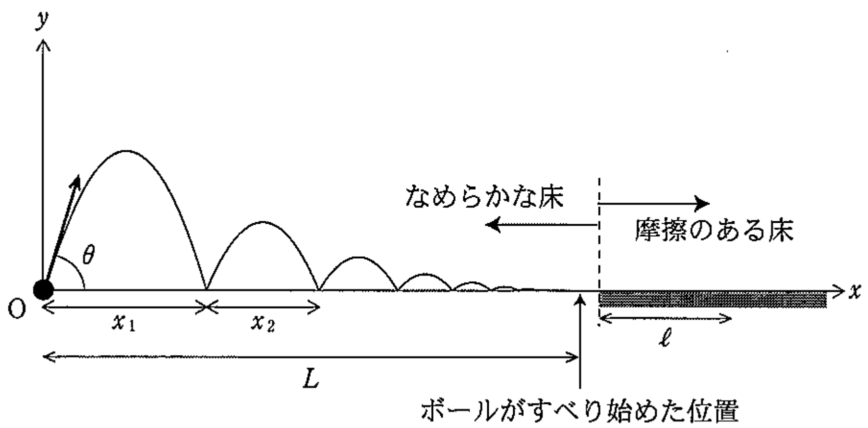
$$A\sin\alpha+B\cos\alpha=\sqrt{A^2+B^2}\sin(\alpha+\beta)$$

ただし，A，B，α[rad]，β[rad]は実数であり，$\tan\beta=\dfrac{B}{A}$ である。

問12　$e=\dfrac{1}{2}$，$\mu=\dfrac{\sqrt{3}}{8}$ の場合について，v_0，g は一定にして θ を変化させたときの $L+\ell$ の最大値を考える。

(1)　$L+\ell$ が最大値をとるときの θ の値を示せ。

(2)　$L+\ell$ の最大値を g，v_0 を用いて表せ。



図

2 長さがL, 長さ方向に垂直な断面の面積がSの一様な金属導体についての以下の問いに答えよ。問題文を簡略にするために金属導体を導体，自由電子を電子と表記する場合がある。
(配点32 %)

問 1 金属導体中の自由電子の運動を，電子が導体の断面に垂直な方向に運動するというモデルで考える。電子の電気量を$-e(e>0)$，単位体積当たりの自由電子の数をnとする。図1のように，導体の長さ方向の両端a，bに大きさVの電圧をかけ大きさIの電流を導体に流した。V, Iは一定で，aの電位はbの電位よりも高いものとする。問1の(1), (2), (3), (5)の答えにIを用いてはならない。

(1) 導体内部の1個の電子はbからaに移動するときに，かけた電圧によって生じる電場から仕事を受ける。この仕事をe, L, S, V, nの中から必要なものを用いて表せ。

(2) 電子は導体内を移動するとき，電子の速さに定数kを乗じた大きさの抵抗力を受けるとする。かけた電圧により生じる電場から電子が受ける力が，この抵抗力とつりあうことにより電子は一定の速さvで移動するとする。vをe, L, V, S, n, kの中から必要なものを用いて表せ。

(3) 導体のある断面を単位時間に通過する自由電子の数をe, L, S, n, vの中から必要なものを用いて表せ。

(4) 以下の文章の(ア)に入る適切な式と(イ)に入る適切な語句を示せ。ただし(ア)ではIを含む式を，(イ)では大問2の問題文中にある5文字以内の語句を示すこと。

問1(1)の答えと問1(3)の答えの積は (ア) と表されるが，この (ア) は導体の (イ) である。

(5) 導体の抵抗率をe, L, S, n, kの中から必要なものを用いて表せ。

問 2 抵抗Rと金属導体を導線により直列に接続し，図2のようにその両端に大きさV_0[V]の電圧をかけた。V_0は連続的に変化可能とする。導線の抵抗は無視でき，抵抗Rの抵抗値は一定で50 Ωとする。導体を流れる電流の大きさをI[A]，導体の両端にかかる電圧の大きさをV[V]，導体の消費電力をW[W]，抵抗Rの消費電力をW_R[W]とする。Iが増加するとともにジュール熱により導体の温度t[℃]が上昇し，導体の抵抗は増加する。このため正の定数a[Ω]，b[1/K]を用いて導体の抵抗は$a(1+bt)$と表せるとする。

(1) V_0をゼロからゆっくりと増加させたときのVとIの関係をしめすグラフが図3の番号①～④の中に一つある。番号①～④の中からこのVとIの関係をしめすグラフとして適切なもの一つ選び番号で示せ。

(2) tをW, I, a, bを用いて表せ。

(3) 抵抗Rでおきる電圧降下を考え，IをV, V_0を用いて表せ。

(4) 問2(3)で求めた式と問2(1)で選んだグラフよりV_0が5.0 VのときのI, V, W, W_Rの数値を求め，有効数字2桁で示せ。

(5) V_0が5.0 Vより低いある一定電圧のときに，Wは0.015 Wになった。このときのI, V, V_0, W_Rの数値を求め，有効数字2桁で示せ。

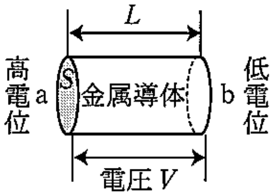


図 1

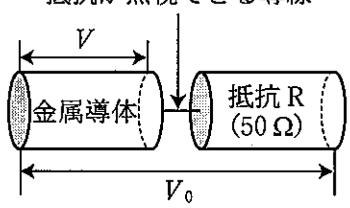


図 2

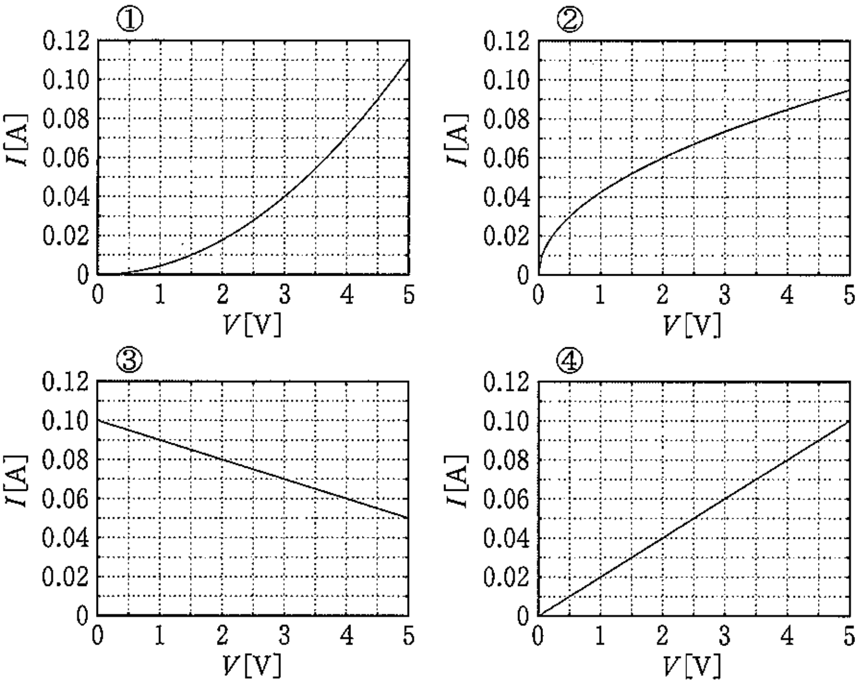


図 3

3 図のように容器Aと容器Bをバルブのついた管により連結してできた装置を真空中の水平面に置く。容器Bはシリンダーと水平方向になめらかに動くピストンからなり，ピストンにはつねに一定の圧力p_0[Pa]が外からかけられている。

はじめバルブは閉じられ，容器Aには温度300 K，体積1.00 m^3，圧力p_A[Pa]の3.00 molの気体が，容器B内には温度T_0[K]，体積0.500 m^{3}の1.00 molの気体が閉じ込められていた。これを状態0とする。気体はすべて同種の単原子分子理想気体で，バルブや管の体積は無視できる。管やバルブや容器は断熱材でできており，その熱容量は無視できる。バルブを開けると管を通って気体が容器Aと容器Bの間を移動できるようになるが，装置の中から外へ気体がもれることはなく，容器Aの容積は1.00 m^{3}から変化しないとする。気体定数をR[J/(mol·K)]として以下の問いに答えよ。(配点33 %)

問 1 p_0，p_AをR，T_0の中から必要なものを用いて表せ。

問 2 バルブを開けるとピストンが動きはじめた。それから十分時間がたったとき，容器Bの容積は状態0のときに比べてΔV[m^3]だけ変化し，装置内の4.00 molの気体全体は温度がT_1[K]，圧力はp_0の熱平衡の状態になった。これを状態1とする。ピストンの動きはゆっくりであるとする。以下の文章を読んで問いに答えよ。

状態0のときは，容器A内の気体の内部エネルギーを $\boxed{(ア)}$ ，容器B内の気体の内部エネルギーを $\boxed{(イ)}$ と表せる。一方，状態1のときの4.00 molの気体全体の内部エネルギーは $\boxed{(ウ)}$ と表せる。これと熱力学の第1法則より

$$\boxed{(ウ)} - \boxed{(ア)} - \boxed{(イ)} = \boxed{(エ)} \qquad (1)$$

が求まる。また，状態1のときの状態方程式から

$$p_0 = \boxed{(オ)} \qquad (2)$$

が求まる。式(1)，(2)と問1で求めたp_0の式を用いて$T_1 = \boxed{(カ)} + \boxed{(キ)} \times T_0$が求まる。また，$T_0$が $\boxed{(ク)}$ より高いときは$\Delta V < 0$，低いときは$\Delta V > 0$となる。

(1) (ア)，(イ)，(ウ)に入る適切な式をR，T_0，T_1の中から必要なものを用いてそれぞれ表せ。

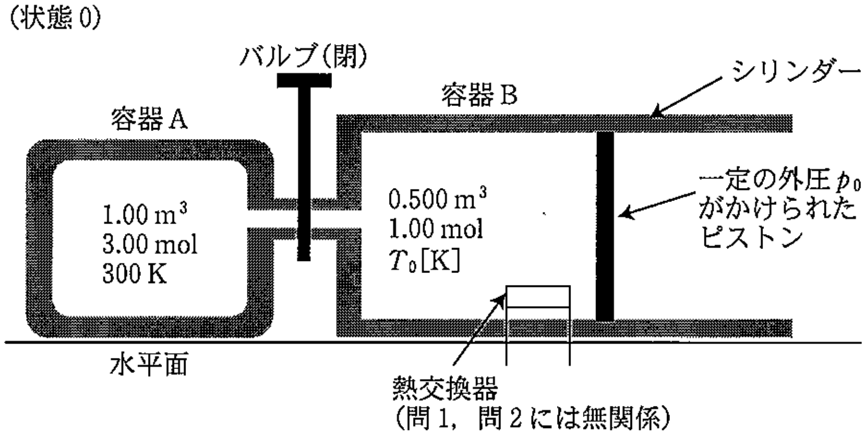
(2) (エ)に入る適切な式をp_0，ΔVを用いて表せ。

(3) (オ)に入る適切な式をR，T_1，ΔVを用いて表せ。

(4) (カ)，(キ)，(ク)に入る適切な数値をそれぞれ示せ。

問 3　容器 B 内には熱交換器があり，気体に熱量 Q[J] を加えることにより気体を加熱($Q > 0$)や冷却($Q < 0$)できる。ただし，この熱交換器は状態 0 から状態 1 の変化では停止しており，その大きさや熱容量は無視でき，問 1 と問 2 には無関係であるとする。熱交換器が停止しているときは，装置の内部と外部の間で熱の出入りはない。

状態 1 になった後，バルブは開いたまま熱交換器がある時間だけ作動し，気体に熱量 Q を加えてから再び停止した。バルブを開けたままにしてそれから十分時間がたつとピストンは状態 0 のときの位置に戻り静止し，容器 B の容積は状態 0 のときの 0.500 m^3 に戻り，装置内の 4.00 mol の気体全体は温度 T_2[K] の熱平衡の状態になった。ピストンの動きはつねにゆっくりであった。T_2/T_0 を数値で示せ。また，熱交換器が気体に加えた熱量 Q を R, T_0 を用いて表せ。



図

正解・解答例

教科・科目名	理科・物理（前期日程試験：令和６年度）　１／２	問題番号	R1
対象学部・学科(課程)等	理学部(数学科、物理学科、生物科学科、地球科学科、創造理学コース)、工学部、農学部		
$\boxed{1}$ 35 % 採点時の配点 70 点	問 1 $v_x = v_0 \cos\theta,\ v_y = v_0 \sin\theta$ 問 2 $2v_0 \sin\theta/g$ 問 3 $v_0^2 \sin 2\theta/g$ 問 4 $m(1+e)v_0 \sin\theta/\Delta t$ 問 5 $2ev_0 \sin\theta/g$ 問 6 $ev_0^2 \sin 2\theta/g$ 問 7 $e^{n-1}v_0^2 \sin 2\theta/g$ 問 8 $\frac{v_0^2 \sin 2\theta}{(1-e)g}$ 問 9 $\frac{m}{2}v_0^2 \sin^2\theta$ 問 10 $\frac{v_0^2 \cos^2\theta}{2\mu g}$ 問 11 (1) $\frac{v_0^2}{g}\sqrt{\frac{1}{(1-e)^2}+\frac{1}{16\mu^2}}$　(2) $\frac{v_0^2}{4\mu g}$　(3) $\frac{1-e}{4\mu}$ 問 12 (1) $\frac{\pi}{6}$　(2) $2\sqrt{3}\frac{v_0^2}{g}$		

正解・解答例

教科・科目名	理科・物理（前期日程試験：令和６年度）　２／２	問題番号	R1
対象学部・学科(課程)等	理学部(数学科、物理学科、生物科学科、地球科学科、創造理学コース)、工学部、農学部		

$\boxed{2}$
32%
採点時の配点
64 点

問 1 (1) eV　(2)$eV/(kL)$　(3) nvS
(4)(ア)IV　(イ) 消費電力　(5) $k/(ne^2)$

問 2 (1) 2　(2)$\frac{1}{b}\left(\frac{W}{aI^2}-1\right)$　(3) $\frac{V_0}{50}-\frac{V}{50}$
(4) $I=0.060, V=2.0, W=0.12, W_\mathrm{R}=0.18$
(5) $I=0.030, V=0.50, V_0=2.0, W_\mathrm{R}=0.045$
上の (4)(5) は、問題文の指示にある有効数字の桁数を意識した表示になっているが、数学的に同値ならばこれと別の表現でも正解。例えば、上の (4) の I の場合、$I=0.06$ や $I=\frac{6}{100}$ や $I=\frac{3}{50}$ も正解。この点は、以下の大問 3 でも同様で、() 内にその例を示した。

$\boxed{3}$
33 %
採点時の配点
66 点

問 1 $p_0=2.00RT_0$ ($2RT_0$ も正解), $p_\mathrm{A}=900R$
問 2 (1) (ア)$1350R$　(イ)$\frac{3}{2}RT_0$　(ウ)$6.00RT_1$ ($6RT_1$ も正解)
(2)(エ)$-p_0\Delta V$　(オ)$\frac{4.00RT_1}{1.50+\Delta V}$ ($\frac{4RT_1}{1.5+\Delta V}$ も正解)
(カ)135　(キ)0.450 ($\frac{9}{20}$ や 0.45 も正解)　(ク)450
問 3 $\frac{T_2}{T_0}=0.750$ (0.75 や $\frac{3}{4}$ も正解)
$Q=3.00RT_0-1350R$ または　$3.00R(T_0-450)$
($3RT_0-1350R$ や $3R(T_0-450)$ も正解)

採点・評価基準（具体的基準）

教科・科目名	理科・物理（前期日程試験：令和６年度）	問題番号	R1
対象学部・学科(課程)等	理学部(数学科、物理学科、生物科学科、地球科学科、創造理学コース)、工学部、農学部		
出題のねらい	[1]物体の一様重力下の放物運動、水平面との衝突、摩擦のある面上の運動を用いて、等加速度運動、運動量と力積の関係、仕事と運動エネルギーの関係が理解できているかを確認する。 [2]金属導体の抵抗と自由電子の運動の関係や、直列回路中の導体抵抗が温度で変化する場合の電圧降下が理解できているかを確認する。 [3]理想気体の内部エネルギーの理解、および内部エネルギーの変化が外からの吸熱と外から受ける仕事の和に等しいこと（熱力学の第１法則）の理解を確認する。		
採点基準 (点数は 200 点満点の場合)	**1** 配点 35 % (70 点) 問 1: v_x 6 点, v_y 6 点, 問 2: 6 点, 問 3: 6 点, 問 4: 6 点 問 5: 4 点, 問 6: 4 点, 問 7: 4 点, 問 8: 4 点 問 9: 4 点, 問 10: 4 点 問 11 (1) 4 点, (2) 4 点, (3) 4 点, 問 12 (1) 2 点, (2) 2 点 **2** 配点 32 % (64 点) 問 1 (1) 6 点, (2) 6 点, (3) 6 点, (4) (ア)6 点, (イ)6 点, (5) 6 点 問 2 (1) 4 点, (2) 4 点, (3) 4 点 (4) I 2 点, V 2 点, W 2 点, W_{R} 2 点 (5) I 2 点, V 2 点, V_0 2 点, W_{R} 2 点 **3** 配点 33 % (66 点) 問 1 p_0 6 点, p_{A} 6 点 問 2 (1) (ア) 6 点 , (イ)6 点, (ウ) 6 点 (2) (エ) 6 点, (オ) 6 点 (カ) 5 点, (キ) 5 点, (ク) 5 点 問 3 $\frac{T_2}{T_0}$ 5 点, Q 4 点		