令和５年度入学者選抜試験問題

理学部 理学科
医学部 医学科

理　　　科

（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　この問題冊子の本文は１ページから８ページまでです。

3　試験中に問題冊子の印刷不鮮明・落丁・乱丁，解答用紙の汚れなどに気が付いた場合は，手を挙げて監督者に知らせてください。

4　監督者の指示にしたがって，解答用紙に**大学受験番号**を正しく記入してください。
大学受験番号が正しく記入されていない場合は，採点されないことがあります。

5　**理学部受験者**は **第１問**，**第２問**，**第３問**，**第４問** の **４問**を解答してください。
医学部受験者は **第１問**，**第２問**，**第３問** の **３問**を解答してください。

6　解答用紙の注意事項をよく読み，指示にしたがって解答してください。

7　問題を解く際の計算があれば，途中計算も解答用紙に書いてください。

8　試験終了後，問題冊子と下書き用紙は持ち帰ってください。

第1問　図に示すように，水平面から点Aまでの高さがh，長さrのなめらかな斜面ABを持つ台OABが水平面に固定されている。その先になめらかな水平面BCと長さlの粗い水平面CD，ならびになめらかな水平面DEが続いている。水平面DEの先には，半径hのなめらかな円弧EF（中心角が60°）を持つ台O′EFが水平面に固定されている。CDの中間地点に質量m_2の小球2を置く。質量m_1の小球1を点Aに置いて静かに放したところ，小球1は斜面に沿って滑り始め，点Bで面から離れず滑らかに運動した後，やがて小球2に弾性衝突した。衝突直後，小球2は動き出し，円弧EFを通り点Fから空中に放出された。そして，水平面上の点Gに落下した。小球1，2と粗い水平面CDとの間の動摩擦係数をμとする。小球1，2の大きさと空気抵抗は無視し，重力加速度の大きさはgとする。以下の問いに答えよ。

問1　小球1が斜面ABを滑り降りるのに要する時間を求めよ。

問2　小球1が小球2に衝突する直前の小球1の速さを求めよ。

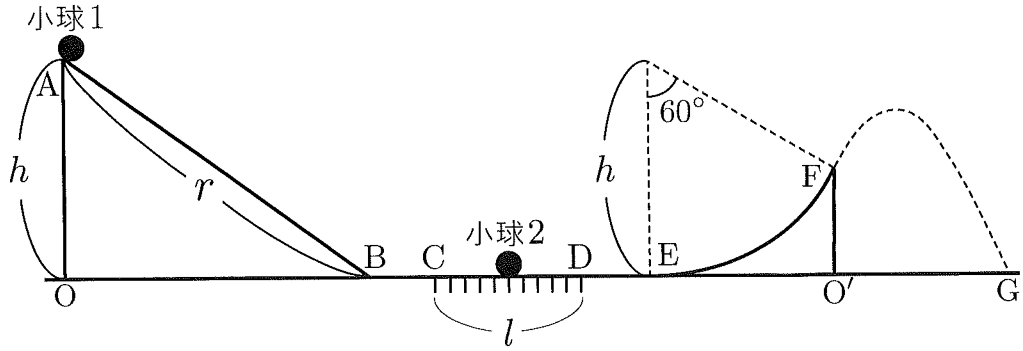
問3　衝突直後の小球2の速さを求めよ。

以下では衝突直後の小球2の速さをv_2とし，それをもちいて問いに答えよ。

問4　小球2が点Dを通過するときの速さを求めよ。

問5　小球2が点Fから最高点に到達するまでの時間を求めよ。

問6　小球2が最高点から点Gに落下するまでの時間を求めよ。


小球1
A
h
r
B
C
小球2
D
O
l
60°
h
F
E
O′
G

第2問　以下の問いに答えよ。

問1　家庭用のコンセントからは実効値 100 V の交流電圧が出力される。そして山形県ではその周波数は 50 Hz である。コンセントから出力される電圧 [V] を時刻 t[s] の関数として表せ。

問2　時刻 t での電圧が $V_0 \sin \omega t$ の交流電源に抵抗値 R の抵抗が図1の様につながれていた (V_0 と ω は正の定数)。回路を流れる電流を時刻 t の関数として表せ。またジュール熱として消費される電力を時刻 t の関数として表せ。

図2の様に，抵抗の代わりに電気容量が C のコンデンサーをつないだ。以下の問いに答えよ。

問3　時刻 t でコンデンサーに蓄えられていた電気量を計算せよ。

問4　時刻 t でコンデンサーに蓄えられていた電気量を $Q(t)$ と書き，また時刻 $t+\Delta t$ で蓄えられていた電気量を $Q(t+\Delta t)$ と書く事にする (ただし Δt は微小な数である)。以下の式を問3で求めた答えを使って計算することで，時刻 t で回路に流れる電流を計算せよ。

$$\frac{Q(t+\Delta t)-Q(t)}{\Delta t}$$

ただし計算に際しては，α が微小な数である場合には以下の近似が成り立つ事を利用せよ。

$$\sin\alpha \fallingdotseq \alpha$$
$$\cos\alpha \fallingdotseq 1$$

この交流電源に図3の様に抵抗値 R の抵抗と電気容量 C のコンデンサーを並列に接続し，さらに内部抵抗が無視できる電流計をつないだ。以下の問いに答えよ。

問5　図3の電流計に流れる電流 I を時刻 t の関数として表せ。そして電流 I の最大値を求めよ。

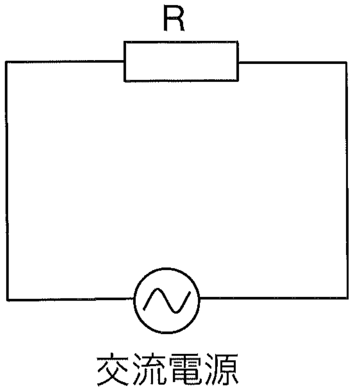


図1

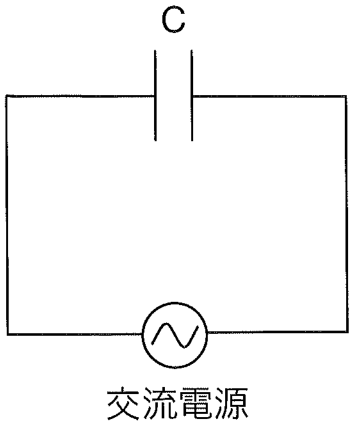


図2

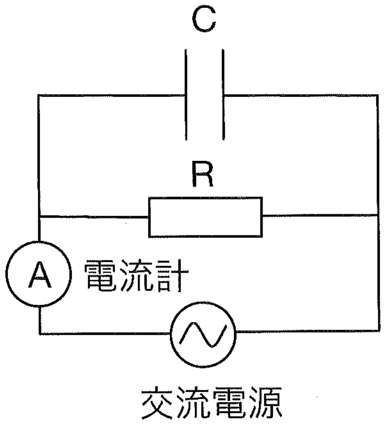


図3

第 3 問 なめらかに動くピストンが付いたシリンダーに単原子分子理想気体を閉じ込める。図1のように，気体の状態を A→B→C→D→A の順にゆっくりと変化させる熱機関を考える。状態 A の体積と圧力をそれぞれ，V_{A}，p_{A} とする。過程 A→B は定圧変化であり，状態 B の体積は $2V_{\mathrm{A}}$ である。状態 B と状態 C の絶対温度は等しく，図 1 において過程 B→C は直線で表される。状態 C の体積は $3V_{\mathrm{A}}$ である。過程 C→D は定積変化である。状態 D と状態 A の絶対温度は等しく，過程 D→A も直線で表される。

問 1 状態 C および状態 D の圧力を求めよ。

問 2 四つの過程（A→B，B→C，C→D，D→A）のそれぞれについて，気体が吸収する熱量を求めよ。

問 3 この熱機関の熱効率を求めよ。

問 4 この熱機関について，絶対温度と体積の関係を表すグラフの概形として最も適切なものを図 2 の (a)〜(i) から一つ選べ。なお，全ての過程は実線（直線または曲線）で表されており，破線は補助的に引かれた直線である。

問 5 熱機関のサイクルを通して気体の絶対温度が最大に達するときの体積を求めよ。

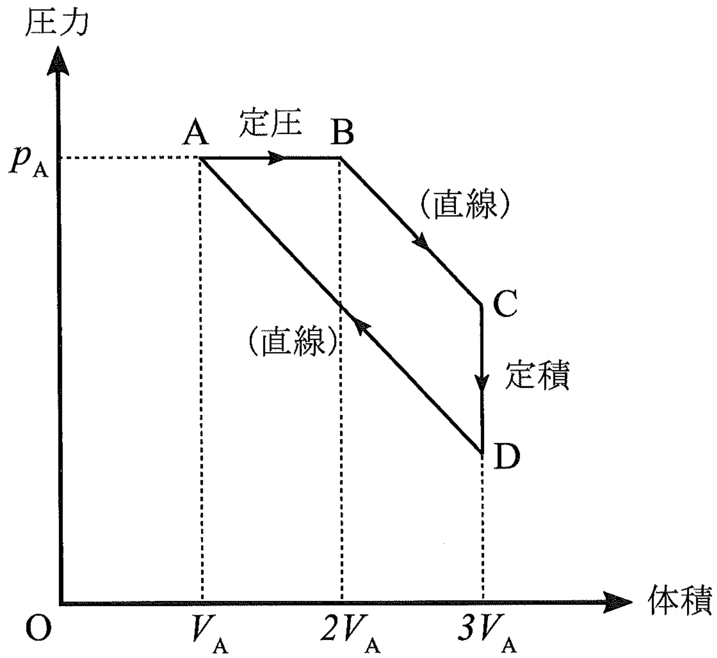


図1

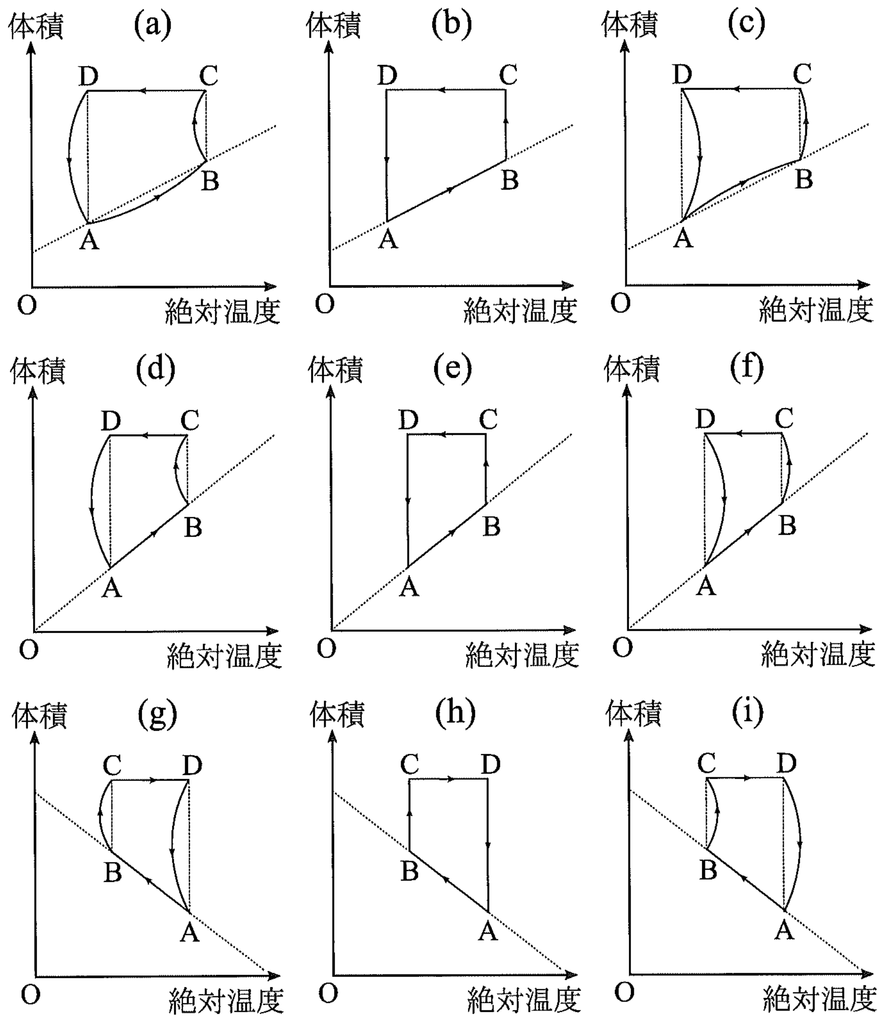


図2

第４問　以下の文章を読み，{　ア　} から適切な語句を選び，$\boxed{\quad イ \quad}$ から $\boxed{\quad キ \quad}$ に当てはまる適切な数式を答えよ。

横波の正弦波が運ぶエネルギーについて考える。図１のように，質量の無視できる糸で連結された質量 m の小球が x 軸上に等間隔 L で多数並んでいる。十分遠方にある，いずれか一端の小球を y 軸方向に手で振動させ続けると，各小球は y 軸方向にのみ振動し，x 軸に沿って進む速さ v の正弦波ができた。図２は時刻 $t=0$ における正弦波の波形を表しており，このとき $x=0$ と $x=8L$ にある小球の変位は０であった。

$x=0$ にある小球の変位 y_0 を正の定数 A と T をもちいて表すと，時刻 t において $y_0 = A\sin\dfrac{2\pi}{T}t$ であった。このとき，波の進行方向は x 軸 {ア：　正，負　} の向きであり，L をもちいずに波長を表すと $\boxed{\quad イ \quad}$ である。また，$x=L$ にある小球の時刻 t における変位は，A, L, T, t, v をもちいて表すと $\boxed{\quad ウ \quad}$ である。

さてここで，図３のように摩擦のない水平な床に設置された小球によるばね振り子を考える。小球の質量を m，つりあいの位置を原点として水平に y 軸をとる。時刻 t における小球の位置 y が，$y = A\sin\dfrac{2\pi}{T}t$ となるように単振動させた。このばねのばね定数は $\boxed{\quad エ \quad}$ であり，小球のもつ力学的エネルギーは $\boxed{\quad オ \quad}$ である。

連結された小球がつくる正弦波に話を戻そう。波の進行とともにそれぞれの小球が単振動することでエネルギーが運ばれている。言い換えると，個々の小球による単振動のエネルギーが速さ v で運ばれていると言える。すると $x=0$ を単位時間に通過した波が運んだエネルギー P を A, T, m をもちいて表すと $\boxed{\quad カ \quad}$ であることがわかる。したがって，一端にある小球を手で振動させてこの連続波をつくるために必要な仕事率は P である。同様にして振幅のみが異なる連続波を作ることを考える。振幅が $2A$ の連続波を作るために必要な仕事率は，P をもちいて表すと $\boxed{\quad キ \quad}$ である。

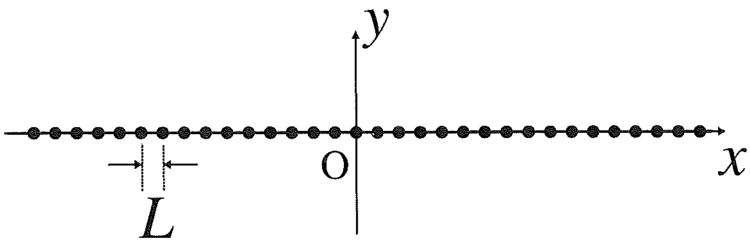


図 1

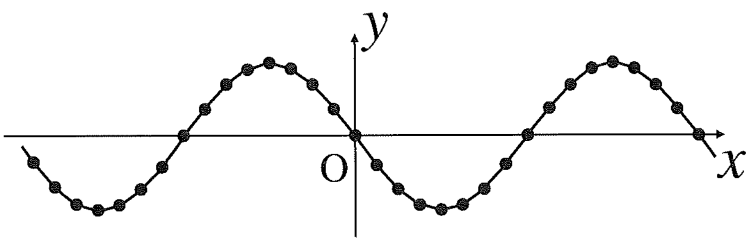


図 2

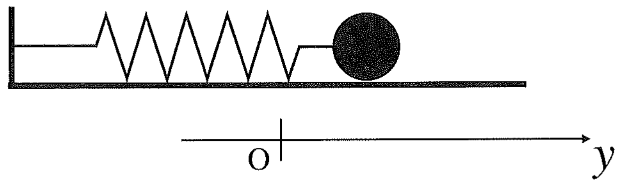


図 3