令和２年度 東北医科薬科大学入学試験問題

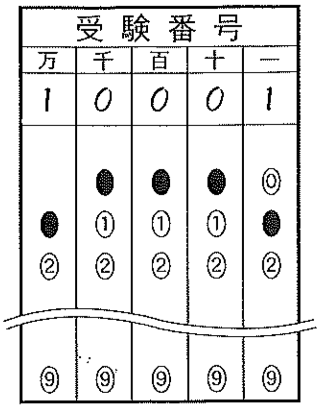
医学部 一般・理科

《 注 意 事 項 》

1．解答用紙左部に氏名、フリガナ、その下部に受験番号を記入し、例にならって０にマークしなさい。

（例）受験番号１０００１の場合

フリガナ	
氏　名	



2．出題科目、ページ及び選択方法は下表のとおりです。

出題科目	ページ	選　択　方　法
物　理	1～14	左の３科目のうちから２科目を選択し、解答しなさい。解答する科目の順番は問いません。解答時間（120分）の配分は自由です。
化　学	15～28	
生　物	29～49	

3．試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁等に気付いた場合は、手を高く挙げて監督者に知らせなさい。

4．２枚の解答用紙のそれぞれの解答科目欄に，解答する科目のいずれか１つをマークしなさい。

5．解答方法は次のとおりです。

（１）次の例にならって解答用紙の解答欄にマークしなさい。

（例）問１　東北医科薬科大学のある都市は次のうちどれか。

① 札幌市　② 青森市　③ 秋田市　④ 山形市　⑤ 盛岡市
⑥ 福島市　⑦ 水戸市　⑧ 新潟市　⑨ 東京都　⑩ 仙台市

⑩と解答する場合は解答用紙の⑩をマークしなさい。

解答番号	解答欄										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	0
1	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	●	⓪

この注意事項は、問題冊子の裏表紙にも続きます。問題冊子を裏返して必ず読みなさい。

（2） $\boxed{\quad 6 \quad}$ に数字「8」、 $\boxed{\quad 7 \quad}$ に数字「0」と答えたい時は次のとおりマークしなさい。

6	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	●	⑨	⑩	⓪
7	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	●

$\boxed{\quad 8 \quad}$ ／ $\boxed{\quad 9 \quad}$ のように分数形で解答する場合は、既約分数(それ以上約分できない分数)で答えなさい。 $\boxed{\quad 8 \quad}$ ／ $\boxed{\quad 9 \quad}$ に３／４と答えたい時は次のとおりマークしなさい。

8	①	②	●	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⓪
9	①	②	③	●	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⓪

（3） 解答の作成にはＨ、Ｆ、ＨＢの黒鉛筆またはシャープペンシル(黒い芯に限る)を使用し、 ⬯ の中を塗りつぶしなさい。解答が薄い場合には、解答が読み取れず、採点できない場合があります。

（4） 答えを修正する場合は、プラスチック製の消しゴムであとが残らないように**完全に消しなさい**。鉛筆のあとが残ったり、 のような消し方などした場合は、修正または解答したことにならないので注意しなさい。

（5） 解答用紙は折り曲げたり、メモやチェック等で汚したりしないよう、特に注意しなさい。

(試験終了後、問題冊子は持ち帰りなさい。)

物　理

受験者 各位

東北医科薬科大学

令和２年度 一般入試における採点の配慮について

令和２年１月25日（土）に実施しました医学部一般入試（一次試験）の「物理」において、問題の前提条件の解釈について誤解が生じる可能性があることが判明いたしました。内容とその対応については以下の通りです。

受験者の皆様にご迷惑をお掛けしましたこと深くお詫び申し上げます。

今後、出題に関しまして、さらに細心の注意を払い、チェック体制を強化し、再発防止に努めて参ります。

記

１．対象試験	令和２年１月25日（土）医学部一般入試（一次試験）
２．対象学部学科	医学部医学科
３．試験科目	物理
４．該当箇所	P5［Ⅱ］問１ $\boxed{20}$ 、P6 問２ $\boxed{21}$ 前提条件の解釈について誤解が生じる可能性があることが判明
５．対応措置	当該設問について全員正解として採点いたしました。

以上

[I]

図1に示す水平で滑らかな直線のレール上にある小物体aと小物体bの運動を考える。小物体aの質量はmであり，大きさv_0の初速度で小物体bに接近している。小物体bの質量はMであり，小物体aに面する側には質量の無視できるバネと連結器が取り付けられている。はじめ小物体bの速度は0であり，バネは自然長の状態で静止している。この連結器は，小物体aと接しバネが縮んでいる間のみ小物体aと一体化し，再びバネが自然長に戻った瞬間に小物体aを切り離す。図1の右向きの速度を正として以下の問いに答えよ。ただし，全ての運動は紙面と平行な面内に限られているものとする。

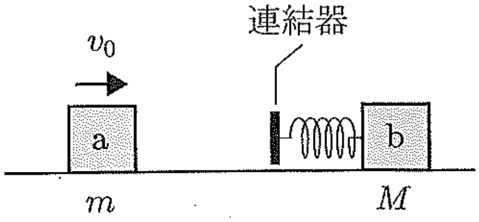


図1

なお，本問において，$\boxed{\boxed{\quad\quad}}$ はすでに $\boxed{\quad\quad}$ で与えられたものと同じものを表している。

問1　小物体aがバネをはさんで小物体bと衝突すると，小物体bはバネを縮ませながら右方向へ動きはじめ，バネが最も縮んだ状態では，小物体aと小物体bの速度は同じになる。この状態での二つの小物体の速度をv_1とすると，運動量保存則

$$\boxed{\;1\;}\,v_0 = \boxed{\;2\;}\,v_1$$

が成り立つ。

$\boxed{\;1\;}$，$\boxed{\;2\;}$ の解答群

①　m　②　$-m$　③　M　④　$-M$　⑤　$(m+M)$　⑥　$(m-M)$

問2　バネが最も縮んだ問1の状態と衝突前の状態との間の力学的エネルギー保存則は，バネに蓄えられている弾性エネルギーをKとおくと，

$$\boxed{\;3\;}\cdot\boxed{\;4\;}+K=\boxed{\;5\;}\cdot\boxed{\;6\;}$$

と表すことができる。この式から，$K=\boxed{\;7\;}$ と求められる。

$\boxed{\;3\;}$，$\boxed{\;5\;}$ の解答群

①　$\dfrac{1}{2}m^2$　②　$\dfrac{1}{2}M^2$　③　$\dfrac{1}{2}(m+M)^2$　④　$\dfrac{1}{2}(m-M)^2$

⑤　$\dfrac{1}{2}m$　⑥　$\dfrac{1}{2}M$　⑦　$\dfrac{1}{2}(m+M)$　⑧　$\dfrac{1}{2}(m-M)$

$\boxed{\quad 4 \quad}$，$\boxed{\quad 6 \quad}$ の解答群

① v_0^2　② v_1^2　③ $(v_0+v_1)^2$　④ $(v_0-v_1)^2$

⑤ v_0　⑥ v_1　⑦ v_0+v_1　⑧ v_0-v_1

$\boxed{\quad 7 \quad}$ の解答群

① $\dfrac{1}{2}\dfrac{m^2M^2}{(m+M)^2}v_0^2$　② $\dfrac{1}{2}\dfrac{m^2M^2}{(m-M)^2}v_0^2$　③ $\dfrac{1}{2}\dfrac{mM}{m+M}v_0^2$　④ $\dfrac{1}{2}\dfrac{mM}{m-M}v_0^2$

⑤ $\dfrac{1}{2}\dfrac{m^2M^2}{(m+M)^2}v_0$　⑥ $\dfrac{1}{2}\dfrac{m^2M^2}{(m-M)^2}v_0$　⑦ $\dfrac{1}{2}\dfrac{mM}{m+M}v_0$　⑧ $\dfrac{1}{2}\dfrac{mM}{m-M}v_0$

⑨ $\dfrac{1}{2}\dfrac{(m-M)^2}{m+M}v_0^2$　⑩ $\dfrac{1}{2}\dfrac{(m-M)^2}{m+M}v_0$

問 3　問 1 の状態の後，バネは自然長へ戻り，二つの小物体は再び離れた。このときの小物体 a の速度を v_2，小物体 b の速度を V_2 とすると，問 1 の状態との間で運動量保存則

$$\boxed{\quad 2 \quad}\, v_1 = \boxed{\quad 8 \quad} \tag{1}$$

および力学的エネルギーの保存則

$$\boxed{\quad 3 \quad} \cdot \boxed{\quad 4 \quad} + K = \boxed{\quad 9 \quad} \tag{2}$$

が成り立つ。式 (1) および式 (2) を用いて v_1 を消去すると，$v_0^2 = \boxed{\quad 10 \quad}$ が得られ，$\boxed{\quad 11 \quad}$ であることから，$v_0 = \boxed{\quad 12 \quad}$ となる。さらに，衝突の前後での運動量保存則

$$\boxed{\quad 1 \quad}\, v_0 = \boxed{\quad 8 \quad} \tag{3}$$

が成り立つことから，$v_2 = \boxed{\quad 13 \quad}\, v_0$，および $V_2 = \boxed{\quad 14 \quad}\, v_0$ が得られる。

$\boxed{\quad 8 \quad}$ の解答群

① Mv_2+mV_2　② mv_2+MV_2　③ Mv_2-mV_2　④ mv_2-MV_2

$\boxed{\ 9\ }$ の解答群

① $\dfrac{1}{2}mV_2^2+\dfrac{1}{2}Mv_2^2$　② $\dfrac{1}{2}mv_2^2+\dfrac{1}{2}MV_2^2$　③ $\dfrac{1}{2}mV_2^2-\dfrac{1}{2}Mv_2^2$

④ $\dfrac{1}{2}mv_2^2-\dfrac{1}{2}MV_2^2$　⑤ $\dfrac{1}{2}(m+M)(v_2^2+V_2^2)$　⑥ $\dfrac{1}{2}(m+M)(v_2^2-V_2^2)$

⑦ $\dfrac{1}{2}(m+M)(V_2^2-v_2^2)$　⑧ $\dfrac{1}{2}(m+M)(v_2+V_2)^2$　⑨ $\dfrac{1}{2}(m+M)(v_2-V_2)^2$

$\boxed{\ 10\ }$ の解答群

① $v_2^2+V_2^2$　② $v_2^2-V_2^2$　③ $(v_2+V_2)^2$　④ $(v_2-V_2)^2$

$\boxed{\ 11\ }$ の解答群

① $v_0>0$ かつ $V_2<v_2$　② $v_0>0$ かつ $V_2>v_2$

③ $v_0<0$ かつ $V_2<v_2$　④ $v_0<0$ かつ $V_2>v_2$

$\boxed{\ 12\ }$ の解答群

① $\sqrt{v_2^2+V_2^2}$　② $-\sqrt{v_2^2+V_2^2}$　③ $\sqrt{V_2^2-v_2^2}$　④ $\sqrt{v_2^2-V_2^2}$

⑤ $-\sqrt{V_2^2-v_2^2}$　⑥ $-\sqrt{v_2^2-V_2^2}$　⑦ v_2+V_2　⑧ $-(v_2+V_2)$

⑨ v_2-V_2　⑩ V_2-v_2

$\boxed{\ 13\ }$，$\boxed{\ 14\ }$ の解答群

① $\dfrac{2m}{m+M}$　② $\dfrac{2m}{m-M}$　③ $\dfrac{2m}{M-m}$　④ $\dfrac{2M}{m+M}$　⑤ $\dfrac{2M}{m-M}$

⑥ $\dfrac{2M}{M-m}$　⑦ $\dfrac{m-M}{m+M}$　⑧ $\dfrac{M-m}{m+M}$　⑨ $\dfrac{m+M}{m-M}$　⑩ $\dfrac{m+M}{M-m}$

問 4　問 3 の状態で，小物体 a が図 1 の左方向へ移動するための条件は，$\boxed{\ 15\ }$ である。

$\boxed{\ 15\ }$ の解答群

① $m=M$　② $m>M$　③ $m<M$

次に再び図１の状態から考える。今度は，バネをはさんだ小物体 a と小物体 b の衝突後のバネが最も縮んだ瞬間にバネの縮みを固定する。

そのため，二つの小物体は衝突の後，図２に示すようにバネが最も縮んだ状態で一体となって水平なレール上を速度 v_1 で運動する。その後，二つの小物体は図２右側に示す斜面上のレールを滑らかに登り，最高点に達した後，引き返すように斜面を降り，再び水平なレール上に戻る。

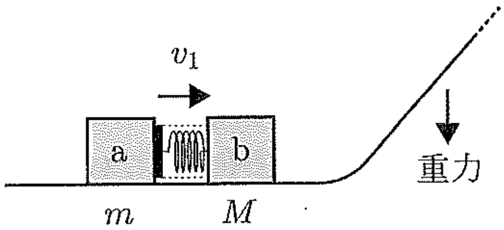


図２

水平なレールと斜面上のレールは滑らかに繋がれており，２つの小物体が移動している間のバネの歪みの影響を考える必要はない。図1，図２の右向きの速度を正とし、鉛直下向きに重力が働いているとして以下の問いに答えよ。

問５　斜面を降りた後，再び水平なレール上に戻った小物体 a と小物体 b が一体となっている状態での速度は $\boxed{16}$ である。

$\boxed{16}$ の解答群

① v_0　② $-v_0$　③ v_1　④ $-v_1$

問６　その後，バネの縮みの固定を解除し，バネが自然長に戻ったときに，二つの小物体は分離した。このときの小物体 a の速度を v_3，小物体 b の速度を V_3 としたとき，問３と同様の計算を行うことで，$v_3 = \boxed{17}$，および $V_3 = \boxed{18}$ が得られる。

$\boxed{17}$，$\boxed{18}$ の解答群

① $\dfrac{2m}{m+M}v_0$　② $\dfrac{2m}{m-M}v_0$　③ $\dfrac{2m}{M-m}v_0$　④ $\dfrac{m-M}{m+M}v_0$　⑤ $\dfrac{M-m}{m+M}v_0$

⑥ $\dfrac{m+M}{m-M}v_0$　⑦ $\dfrac{m+M}{M-m}v_0$　⑧ v_0　⑨ $-v_0$　⑩ 0

[II]

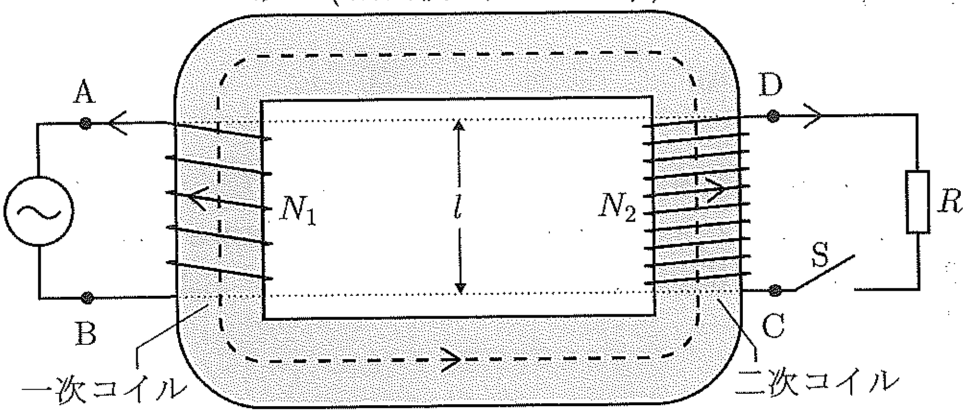
図のような，電力損失のない理想的な変圧器と交流電源，および抵抗 (抵抗値 R) とスイッチ S を含む交流回路を考える。変圧器は，断面が円形の鉄心 (断面積 A，透磁率 μ) に，導線を N_1 回巻きつけたソレノイドコイル (一次コイル) と，N_2 回巻きつけたソレノイドコイル (二次コイル) によってつくられている。コイルの長さはどちらも l である。交流電源の角周波数は ω であり，電源電圧の最大値を $V_{\mathrm{M}}(>0)$ とする。

一次コイルおよび二次コイルを流れる電流の符号はそれぞれ図に示した矢印の向きを正とする。また，磁束密度およびコイルを貫く磁束の符号は，どちらも図に示した破線の方向に沿った矢印の向きを正とする。

必要であれば，微小時間 Δt の間の三角関数の変化は，

$$\sin\{\omega(t+\Delta t)\} - \sin\omega t \fallingdotseq \Delta t \cdot \omega\cos\omega t$$
$$\cos\{\omega(t+\Delta t)\} - \cos\omega t \fallingdotseq -\Delta t \cdot \omega\sin\omega t$$

と近似できることを用いてよい。



問 1 から問 6 までは，図に示す通りスイッチ S が開いているとして答えよ。

問 1　電源電圧が極大のとき，コイルに流れる電流は $\boxed{19}$ となる。
一次コイルを流れる交流電流を I_1 とおくと，この交流電流が一次コイル内部につくる磁束密度は，$B=\boxed{20}$ で与えられる。

$\boxed{19}$ の解答群

① 極大　　② 0　　③ 極小

$\boxed{20}$ の解答群

① $\mu\dfrac{lN_1}{A}I_1$　② $\mu\dfrac{l}{A}I_1$　③ $\mu\dfrac{N_1}{l}I_1$

④ $-\mu\dfrac{lN_1}{A}I_1$　⑤ $-\mu\dfrac{l}{A}I_1$　⑥ $-\mu\dfrac{N_1}{l}I_1$

問 2　微小時間 Δt の間に電流が ΔI_1 だけ変化したときに一次コイルに生じる誘導起電力は，点 B を基準として，$V_1 = -L_1\dfrac{\Delta I_1}{\Delta t}$ と表すことができる。ここで，自己インダクタンス L_1 は，問 1 の結果から一次コイルを貫く磁束の変化により生じる誘導起電力を求めることで $\boxed{21}$ と表せる。

$\boxed{21}$ の解答群

① $\mu l N_1^2$　② $\mu l N_1$　③ μl

④ $\mu\dfrac{N_1^2}{l}A$　⑤ $\mu\dfrac{N_1}{l}A$　⑥ $\mu\dfrac{A}{l}$

問 3　点 B を基準とした電源電圧が $-V_{\mathrm{M}}\cos\omega t$ と与えられるとき，一次コイルに生じる誘導起電力 V_1 は，一次コイル側の回路にキルヒホッフの法則を適用すると，$V_1 = \boxed{22}$ と求められる。

$\boxed{22}$ の解答群

① $V_{\mathrm{M}}N_1\sin\omega t$　② $V_{\mathrm{M}}N_1\cos\omega t$　③ $-V_{\mathrm{M}}N_1\sin\omega t$　④ $-V_{\mathrm{M}}N_1\cos\omega t$

⑤ $V_{\mathrm{M}}\sin\omega t$　⑥ $V_{\mathrm{M}}\cos\omega t$　⑦ $-V_{\mathrm{M}}\sin\omega t$　⑧ $-V_{\mathrm{M}}\cos\omega t$

問 4　$V_1 = -L_1\dfrac{\Delta I_1}{\Delta t}$ と表せること，また問 3 の結果を用いることにより，一次コイルに流れる電流 I_1 の最大値 I_{M} は $\boxed{23}$ と求められる。

$\boxed{23}$ の解答群

① $\dfrac{V_{\mathrm{M}}}{\omega L_1}$　② $\dfrac{V_{\mathrm{M}}N_1}{\omega L_1}$　③ $\dfrac{V_{\mathrm{M}}}{\omega L_1 N_1}$　④ $\dfrac{V_{\mathrm{M}}N_1^2}{\omega L_1}$　⑤ $\dfrac{V_{\mathrm{M}}}{\omega L_1 N_1^2}$

問5　一次コイルに蓄えられるエネルギーの最大値は $\boxed{\ 24\ }$ であり，交流電源が供給する電力の時間平均は $\boxed{\ 25\ }$ である。

$\boxed{\ 24\ }$ の解答群

① $\dfrac{1}{2\sqrt{2}}L_1 I_{\mathrm{M}}^2$　② $\dfrac{1}{\sqrt{2}}L_1 I_{\mathrm{M}}^2$　③ $\dfrac{1}{2}L_1 I_{\mathrm{M}}^2$　④ $L_1 I_{\mathrm{M}}^2$

⑤ $\sqrt{2}L_1 I_{\mathrm{M}}^2$　⑥ $2L_1 I_{\mathrm{M}}^2$

$\boxed{\ 25\ }$ の解答群

① $\dfrac{V_{\mathrm{M}}^2}{\omega L_1}$　② $\dfrac{V_{\mathrm{M}}^2}{2\omega L_1}$　③ $\dfrac{V_{\mathrm{M}}^2 N_1}{\omega L_1}$　④ $\dfrac{V_{\mathrm{M}}^2 N_1}{2\omega L_1}$

⑤ $\dfrac{V_{\mathrm{M}}^2 N_1^2}{\omega L_1}$　⑥ $\dfrac{V_{\mathrm{M}}^2 N_1^2}{2\omega L_1}$　⑦ 0

問6　一次コイルと二次コイルを貫く磁束およびその時間変化が共通であることから，二次コイルに生じる誘導起電力は，点Cを基準として，$V_2 =$ $\boxed{\ 26\ }$ と求められる。

$\boxed{\ 26\ }$ の解答群

① $N_1 V_1$　② $-N_1 V_1$　③ $N_2 V_1$　④ $-N_2 V_1$

⑤ $\dfrac{N_1}{N_2}V_1$　⑥ $-\dfrac{N_1}{N_2}V_1$　⑦ $\dfrac{N_2}{N_1}V_1$　⑧ $-\dfrac{N_2}{N_1}V_1$

次に，スイッチSを閉じてからしばらく時間が経った場合について考える。

問7　電源はSを閉じた後も閉じる前と同じく $-V_\mathrm{M}\cos\omega t$ の電圧を与えるので，一次コイルに生じる誘導起電力 V_1' は，点Bを基準として，$V_1' = \boxed{27}$ と求められる。

$\boxed{27}$ の解答群

① $V_\mathrm{M}N_1\sin\omega t$　② $V_\mathrm{M}N_1\cos\omega t$　③ $-V_\mathrm{M}N_1\sin\omega t$　④ $-V_\mathrm{M}N_1\cos\omega t$

⑤ $V_\mathrm{M}\sin\omega t$　⑥ $V_\mathrm{M}\cos\omega t$　⑦ $-V_\mathrm{M}\sin\omega t$　⑧ $-V_\mathrm{M}\cos\omega t$

問8　二次コイルを流れる電流 I_2' は，問7の V_1' を用いて表すと $\boxed{28}$ と求められる。

$\boxed{28}$ の解答群

① $\dfrac{1}{R}\left(\dfrac{N_1}{N_2}\right)^2 V_1'$　② $\dfrac{1}{R}\left(\dfrac{N_2}{N_1}\right)^2 V_1'$　③ $\dfrac{1}{R}\dfrac{N_1}{N_2}V_1'$　④ $\dfrac{1}{R}\dfrac{N_2}{N_1}V_1'$

問9　抵抗で消費される電力の時間平均は $\boxed{29}$ である。

$\boxed{29}$ の解答群

① $\dfrac{1}{R}\left(\dfrac{N_1}{N_2}\right)^2 V_\mathrm{M}^2$　② $\dfrac{1}{2R}\left(\dfrac{N_1}{N_2}\right)^2 V_\mathrm{M}^2$　③ $\dfrac{1}{R}\left(\dfrac{N_1}{N_2}\right) V_\mathrm{M}^2$

④ $\dfrac{1}{2R}\left(\dfrac{N_1}{N_2}\right) V_\mathrm{M}^2$　⑤ $\dfrac{1}{R}\left(\dfrac{N_2}{N_1}\right)^2 V_\mathrm{M}^2$　⑥ $\dfrac{1}{2R}\left(\dfrac{N_2}{N_1}\right)^2 V_\mathrm{M}^2$

⑦ $\dfrac{1}{R}\left(\dfrac{N_2}{N_1}\right) V_\mathrm{M}^2$　⑧ $\dfrac{1}{2R}\left(\dfrac{N_2}{N_1}\right) V_\mathrm{M}^2$　⑨ 0

問 10　一次コイルを流れる電流を I_1' とする。一次コイルに生じる誘導起電力 V_1' が，一次コイルを貫く磁束の単位時間あたりの変化から決まることと，その磁束は I_1' と I_2' がつくる磁束の重ね合わせであることを用いると，$I_1' = I_{\mathrm{M}} \sin \omega t + \left(\boxed{\ 30\ } \right) \cos \omega t$ と求められる。

$\boxed{\ 30\ }$ の解答群

① $\dfrac{V_{\mathrm{M}}}{R}$　② $\dfrac{1}{R}\dfrac{N_2}{N_1}V_{\mathrm{M}}$　③ $\dfrac{1}{R}\left(\dfrac{N_2}{N_1}\right)^2 V_{\mathrm{M}}$　④ $\dfrac{1}{R}\dfrac{N_1}{N_2}V_{\mathrm{M}}$

⑤ $\dfrac{1}{R}\left(\dfrac{N_1}{N_2}\right)^2 V_{\mathrm{M}}$　⑥ $-\dfrac{V_{\mathrm{M}}}{R}$　⑦ $-\dfrac{1}{R}\dfrac{N_2}{N_1}V_{\mathrm{M}}$　⑧ $-\dfrac{1}{R}\left(\dfrac{N_2}{N_1}\right)^2 V_{\mathrm{M}}$

⑨ $-\dfrac{1}{R}\dfrac{N_1}{N_2}V_{\mathrm{M}}$　⑩ $-\dfrac{1}{R}\left(\dfrac{N_1}{N_2}\right)^2 V_{\mathrm{M}}$

問 11　交流電源が供給する電力の時間平均は $\boxed{\ 31\ }$ である。

$\boxed{\ 31\ }$ の解答群

① $\dfrac{1}{R}\left(\dfrac{N_1}{N_2}\right)^2 V_{\mathrm{M}}^2$　② $\dfrac{1}{2R}\left(\dfrac{N_1}{N_2}\right)^2 V_{\mathrm{M}}^2$　③ $\dfrac{1}{R}\left(\dfrac{N_1}{N_2}\right) V_{\mathrm{M}}^2$

④ $\dfrac{1}{2R}\left(\dfrac{N_1}{N_2}\right) V_{\mathrm{M}}^2$　⑤ $\dfrac{1}{R}\left(\dfrac{N_2}{N_1}\right)^2 V_{\mathrm{M}}^2$　⑥ $\dfrac{1}{2R}\left(\dfrac{N_2}{N_1}\right)^2 V_{\mathrm{M}}^2$

⑦ $\dfrac{1}{R}\left(\dfrac{N_2}{N_1}\right) V_{\mathrm{M}}^2$　⑧ $\dfrac{1}{2R}\left(\dfrac{N_2}{N_1}\right) V_{\mathrm{M}}^2$　⑨ 0

このページは白紙です

[III]

滑らかに動く2つのピストンと筒状のシリンダーによって密閉された領域内に，1モルの単原子理想気体が封入されている。下の図に示すように，シリンダーに平行に x 軸を定義し，その原点をシリンダーの中央に定める。シリンダーの $-L \leqq x \leqq L$ の範囲とピストンは断熱材で作られ，筒の両側はそれぞれ異なる温度 T_{L} と T_{R} の大気に接している。左右の2つのピストンの位置をそれぞれ x 軸上の座標 x_{L} と x_{R} によって表すと，$x_{\mathrm{L}} < -L$ のとき内部の気体は温度 T_{L} の大気と熱のやり取りを行い，$x_{\mathrm{R}} > L$ のときには内部の気体は温度 T_{R} の大気と熱のやり取りを行う。$|x_{\mathrm{L}}| \leqq L$ と $|x_{\mathrm{R}}| \leqq L$ がともに成り立つときは，内部の気体と外部との間で熱の移動はない。

シリンダーの断面積は S，気体定数は R であり，大気圧はシリンダーの両側でともに P_0 になっている。また，左右の大気の温度は $T_{\mathrm{L}} > T_{\mathrm{R}}$ の条件で一定になっている。シリンダー内の気体の圧力を P，体積を V としたとき，断熱過程では $PV^{5/3} =$ 一定の関係式が成り立ち，ピストンおよびシリンダーの熱容量は無視できるものとする。

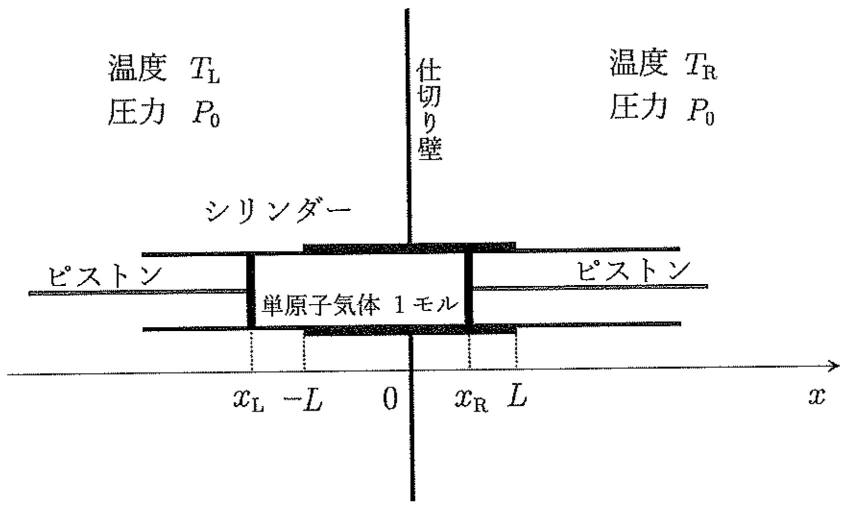


図1

問1 左側のピストンの位置を $x_{\mathrm{L}} = -2L$ に固定して，しばらく放置しておくと，右側のピストンはゆっくりと移動して，$x_{\mathrm{R}} = 0$ で静止した。このとき $\boxed{32}$ の関係が成り立っている。

$\boxed{32}$ の解答群

① $L < \dfrac{RT_{\mathrm{L}}}{2SP_0}$　② $L = \dfrac{RT_{\mathrm{L}}}{2SP_0}$　③ $\dfrac{RT_{\mathrm{L}}}{2SP_0} < L < \dfrac{RT_{\mathrm{L}}}{SP_0}$　④ $L = \dfrac{RT_{\mathrm{L}}}{SP_0}$

⑤ $\dfrac{RT_{\mathrm{L}}}{SP_0} < L < \dfrac{2RT_{\mathrm{L}}}{SP_0}$　⑥ $L = \dfrac{2RT_{\mathrm{L}}}{SP_0}$　⑦ $\dfrac{2RT_{\mathrm{L}}}{SP_0} < L < \dfrac{4RT_{\mathrm{L}}}{SP_0}$　⑧ $L \geqq \dfrac{4RT_{\mathrm{L}}}{SP_0}$

問 2 その後，右側のピストンを $x_{\mathrm{R}}=0$ の位置に固定して，左側のピストンを $x_{\mathrm{L}}=-L$ の位置までゆっくりと移動させた。この左側のピストンの移動の過程で，内部の気体から大気に移動した熱量を Q_1 としたとき，外部が内部の気体にした仕事 W_1 は $\boxed{33}$ の関係を満たす。また，左側のピストンが $x_{\mathrm{L}}=-L$ の位置にあるときのシリンダー内の気体の圧力 P_1 は $\boxed{34}$ である。

$\boxed{33}$ の解答群

① $W_1<-Q_1$　② $W_1=-Q_1$　③ $-Q_1<W_1<0$　④ $W_1=0$

⑤ $0<W_1<Q_1$　⑥ $W_1=Q_1$　⑦ $Q_1<W_1<2Q_1$　⑧ $W_1 \geqq 2Q_1$

$\boxed{34}$ の解答群

① $\dfrac{RT_{\mathrm{L}}}{2SL}$　② $\dfrac{RT_{\mathrm{L}}}{SL}$　③ $\dfrac{3RT_{\mathrm{L}}}{2SL}$　④ $\dfrac{2RT_{\mathrm{L}}}{SL}$　⑤ $\dfrac{RT_{\mathrm{L}}}{3SL}$　⑥ $\dfrac{2RT_{\mathrm{L}}}{3SL}$　⑦ $\dfrac{3RT_{\mathrm{L}}}{SL}$

問 3 左側のピストンを $x_{\mathrm{L}}=-L$ の位置で固定させた後，今度は，右側のピストンを $x_{\mathrm{R}}=0$ の位置から，ゆっくりと右方向に移動させ，$x_{\mathrm{R}}=L$ の位置で静止させた。このとき，シリンダー内の気体の温度 T_2 は $\boxed{35}$ の関係を満たし，この右側のピストンの移動の過程で外部が内部の気体にした仕事 W_2 は $\boxed{36}$ の関係を満たす。

$\boxed{35}$ の解答群

① $T_2<\dfrac{T_{\mathrm{L}}}{2}$　② $T_2=\dfrac{T_{\mathrm{L}}}{2}$　③ $\dfrac{T_{\mathrm{L}}}{2}<T_2<T_{\mathrm{L}}$　④ $T_2=T_{\mathrm{L}}$　⑤ $T_{\mathrm{L}}<T_2<2T_{\mathrm{L}}$

⑥ $T_2=2T_{\mathrm{L}}$　⑦ $T_2=T_{\mathrm{R}}$　⑧ $T_2<\dfrac{T_{\mathrm{R}}}{2}$　⑨ $T_2=\dfrac{T_{\mathrm{L}}+T_{\mathrm{R}}}{2}$

$\boxed{36}$ の解答群

① $0<W_2 \leqq \dfrac{|W_1|}{2}$　② $\dfrac{|W_1|}{2}<W_2<|W_1|$　③ $W_2=|W_1|$　④ $|W_1|<W_2$

⑤ $W_2<-|W_1|$　⑥ $-|W_1|<W_2<-\dfrac{|W_1|}{2}$　⑦ $W_2=-\dfrac{|W_1|}{2}$　⑧ $-\dfrac{|W_1|}{2} \leqq W_2<0$

問 4　その後，右側のピストンの位置を $x_{\mathrm{R}}=L$ からわずかに右側に移動させると，正の熱量 Q_3 が大気からシリンダー内の気体に移動した。このわずかなピストンの移動による仕事を無視するとき，右側の大気の温度 T_{R} に対して成り立つ最も適切な条件は $\boxed{37}$ であり，$Q_3=\boxed{38}$ である。

$\boxed{37}$ の解答群

① $T_{\mathrm{R}}<\dfrac{T_{\mathrm{L}}}{2^{2/3}}$　② $T_{\mathrm{R}}<\dfrac{T_{\mathrm{L}}}{2}$　③ $T_{\mathrm{R}}<\dfrac{T_{\mathrm{L}}}{2^{3/2}}$　④ $T_{\mathrm{R}}<\dfrac{T_{\mathrm{L}}}{2^{5/3}}$

⑤ $T_{\mathrm{R}}>\dfrac{T_{\mathrm{L}}}{2^{2/3}}$　⑥ $T_{\mathrm{R}}>\dfrac{T_{\mathrm{L}}}{2}$　⑦ $T_{\mathrm{R}}>\dfrac{T_{\mathrm{L}}}{2^{3/2}}$　⑧ $T_{\mathrm{R}}>\dfrac{T_{\mathrm{L}}}{2^{5/3}}$

$\boxed{38}$ の解答群

① $\dfrac{3}{2}R\left(T_{\mathrm{R}}-\dfrac{T_{\mathrm{L}}}{2^{2/3}}\right)$　② $\dfrac{3}{2}R\left(T_{\mathrm{R}}-\dfrac{T_{\mathrm{L}}}{2}\right)$　③ $\dfrac{3}{2}R\left(T_{\mathrm{R}}-\dfrac{T_{\mathrm{L}}}{2^{3/2}}\right)$

④ $\dfrac{3}{2}R\left(T_{\mathrm{R}}-\dfrac{T_{\mathrm{L}}}{2^{5/3}}\right)$　⑤ $\dfrac{3}{2}R\left(\dfrac{T_{\mathrm{L}}}{2^{2/3}}-T_{\mathrm{R}}\right)$　⑥ $\dfrac{3}{2}R\left(\dfrac{T_{\mathrm{L}}}{2}-T_{\mathrm{R}}\right)$

⑦ $\dfrac{3}{2}R\left(\dfrac{T_{\mathrm{L}}}{2^{3/2}}-T_{\mathrm{R}}\right)$　⑧ $\dfrac{3}{2}R\left(\dfrac{T_{\mathrm{L}}}{2^{5/3}}-T_{\mathrm{R}}\right)$

問 5　その後，シリンダー内の気体の体積を $2SL$ に保つように両方のピストンを左方向にゆっくりと動かし，右側のピストンの位置が $x_{\mathrm{R}}=0$ になったところで移動を止めた。このピストンの移動の過程で，シリンダー内の気体に外部から与えられた熱量 Q_4 は $\boxed{39}$ である。

$\boxed{39}$ の解答群

① $\dfrac{3}{2}R\left(1-\dfrac{1}{2}\right)T_{\mathrm{L}}-Q_3$　② $\dfrac{3}{2}R\left(1-\dfrac{1}{2^{3/2}}\right)T_{\mathrm{L}}-Q_3$　③ $\dfrac{3}{2}R\left(1-\dfrac{1}{2^{5/3}}\right)T_{\mathrm{L}}-Q_3$

④ $\dfrac{3}{2}R\left(1-\dfrac{1}{2^{2/3}}\right)T_{\mathrm{L}}$　⑤ $\dfrac{3}{2}R\left(1-\dfrac{1}{2}\right)T_{\mathrm{L}}$　⑥ $\dfrac{3}{2}R\left(1-\dfrac{1}{2^{3/2}}\right)T_{\mathrm{L}}$

⑦ $\dfrac{3}{2}R\left(1-\dfrac{1}{2^{5/3}}\right)T_{\mathrm{L}}$　⑧ $\dfrac{3}{2}R(T_{\mathrm{L}}-T_{\mathrm{R}})$　⑨ 0

問6 問2から問5までの一連の過程で，温度 T_R の低温側の大気から奪った熱量の総和は $\boxed{40}$ であり，外部が内部の気体にした仕事の総和は $\boxed{41}$ である。

$\boxed{40}$ の解答群

① W_1-W_2 ② W_2-W_1 ③ W_1-Q_1 ④ W_1-Q_4 ⑤ W_2-Q_1

⑥ W_2-Q_4 ⑦ $-W_2-Q_1$ ⑧ $-W_2-Q_4$

$\boxed{41}$ の解答群

① $Q_1-Q_3-Q_4$ ② $Q_1+Q_3-Q_4$ ③ $Q_1-Q_3+Q_4$ ④ $Q_3+Q_4-Q_1$

⑤ $Q_3-Q_4-Q_1$ ⑥ $Q_4-Q_3-Q_1$ ⑦ Q_1-Q_3 ⑧ Q_1-Q_4