令 和 2 年 度

前 期 日 程

理 科 問 題

〔注　意〕

1. 問題冊子及び解答用冊子は，試験開始の合図があるまで開いてはいけない。
2. 問題冊子は，物理，化学，生物の順序で1冊にまとめてある。

問題は｛物理　2ページから14ページ／化学　15ページから25ページ／生物　26ページから44ページ｝にある。

物理	2ページから14ページ	
化学	15ページから25ページ	
生物	26ページから44ページ	

ページの脱落があれば直ちに申し出ること。

3. 解答用紙は，物理3枚，化学4枚，生物4枚が一緒に折り込まれている。受験する科目の解答用紙をミシン目に従って切り離すこと。
4. **受験番号は，受験する科目の解答用紙の受験番号欄（1枚につき2か所）に1枚ずつ正確に記入すること。**
5. 解答は，1ページの「**理科の解答についての注意**」の指示に従い，解答用紙の指定されたところに記入すること。
6. 問題冊子の余白は，適宜下書きに使用してもよい。
7. 配付した解答用紙は持ち帰ってはいけない。
8. 問題冊子は持ち帰ること。

「理科の解答についての注意」

理学部志願者

○　**数学科，化学科，生物科学科生物科学コース**を志望する者は，物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。

○　**物理学科**を志望する者は，物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。

○　**生物科学科生命理学コース**を志望する者は，物理と化学の2科目を解答すること。

医学部医学科・医学部保健学科(放射線技術科学専攻・検査技術科学専攻)・歯学部・薬学部志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。

医学部保健学科(看護学専攻)志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから1科目を選んで解答すること。

工学部・基礎工学部志願者

物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。

物　理　問　題

（解答はすべて物理解答用紙に記入すること）

〔1〕 図1のような，斜面と半径Rの円周，および水平な面からなるトラック（運動の経路）がある。このトラック上の小物体（質量mとする）の一連の運動を考えよう。点Aから円周を経由して点Eまでトラックは滑らかであり，摩擦は無視できる。点Eから右側の水平面上では摩擦力が働き，小物体と水平面の間の動摩擦係数をμとする。重力加速度をgとし，空気抵抗は無視できるとする。

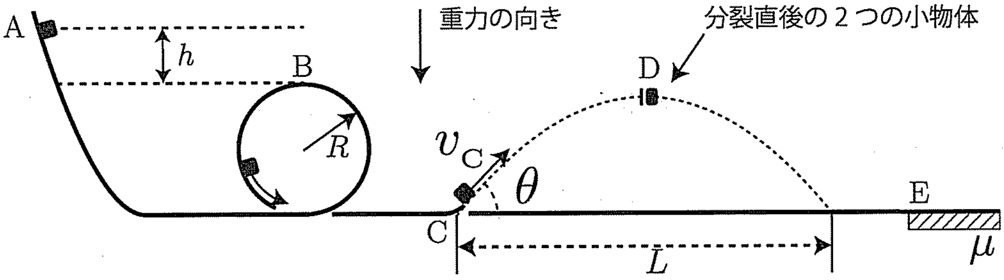

図1

I. 小物体を点Aから静かに放したところ，小物体はトラックに沿って運動し，円周内側から離れずに点Bを通過して，点Cまで運動した。点Bは円周の最高点であり，点Aとの高さの差を$h\,(h > 0)$とする。

問 1　点Bでの小物体の速度の大きさv_Bを，g，hを用いて表せ。

問 2　小物体が円周から離れることなく円周に沿って運動するために必要なhの最小値h_0を，Rを用いて表せ。

II. 図1のように，小物体は点Cで滑らかに運動の向きを変え，速度の大きさv_C，角度θ $(0° < \theta < 90°)$で飛び出した。図1の点Cからの点線は，小物体がこのまま運動をつづけた場合の軌跡であり，この軌跡が水平面と再び交わる点の点Cからの距離をLとする。

小物体が最高点Dに達したとき，内部に仕込まれていたバネによって，小物体は突然2つの小物体に瞬時に分裂した。分裂後の小物体の質量は，それぞれ$\frac{1}{4}m$と$\frac{3}{4}m$であった。以後，軽い小物体，重い小物体と呼ぶ。軽い小物体の速度は分裂直後に0になった。また，分裂前にバネは圧縮されていて，このバネに蓄えられていた力学的エネルギーは，すべて，2つの小物体の運動エネルギーに変換されたとする。バネの質量と長さは十分に小さく無視できる。

問 3　分裂後の2つの小物体が，それぞれ水平面に落下するまでの落下時間に関する以下の記述のうち，正しいものを(あ)〜(お)から1つ選んで，解答欄に記入せよ。

(あ) 落下時間はどちらも等しい。

(い) 軽い小物体の落下時間は，重い小物体の落下時間の3倍である。

(う) 重い小物体の落下時間は，軽い小物体の落下時間の3倍である。

(え) 軽い小物体の落下時間は，重い小物体の落下時間の$\sqrt{3}$倍である。

(お) 重い小物体の落下時間は，軽い小物体の落下時間の$\sqrt{3}$倍である。

問 4　重い小物体の分裂直後の速度の大きさv_{D}を，v_{C}，θを用いて表せ。

問 5　軽い小物体が水平面に落下した点の，点Cからの距離を，Lを用いて表せ。

問 6　重い小物体が水平面に落下した点の，点Cからの距離を，Lを用いて表せ。

Ⅲ. 重い小物体が水平面に落下した直後，その速度の鉛直成分は0になり，速度の水平成分は落下直前の値を保った。その後，重い小物体は滑らかな水平面上を運動し，時刻$t=0$に点Eを通過し，水平面から摩擦力を受けて減速し，時刻$t=t_{\mathrm{S}}$に静止した。

問 7　静止した時刻t_{S}を，v_{C}，θ，μ，gを用いて表せ。

問 8　時刻 t $(0 \leqq t \leqq t_S)$ における，重い小物体の点 E からの距離を x とする。時刻 t を，v_C，θ，μ，g，x を用いて表せ。

Ⅳ. 分裂してできた 2 つの小物体のうち，軽い小物体は水平面に落下後，水平面上で静止した。また重い小物体はⅢ. に示したような運動をして静止した。

問 9　点 A で静かに小物体を放したときから分裂後の 2 つの小物体が両方とも静止するまでに失われた，全ての力学的エネルギーの合計を，m，g，h，R，θ を用いて表せ。

（計算用余白）

〔2〕 コンデンサー，コイル，抵抗，ダイオード，スイッチ，起電力Eの直流電源などからなる電気回路を考える。回路中の導線やスイッチの電気抵抗は十分に小さいとする。コンデンサーは平行平板コンデンサーであり，極板間は，最初，真空とする。

I. 図1のような電気回路がある。コンデンサー1，2，3の静電容量を，それぞれC_1，C_2，C_3とする。最初，コンデンサーの電荷は全て0で，スイッチは全て開いていた。

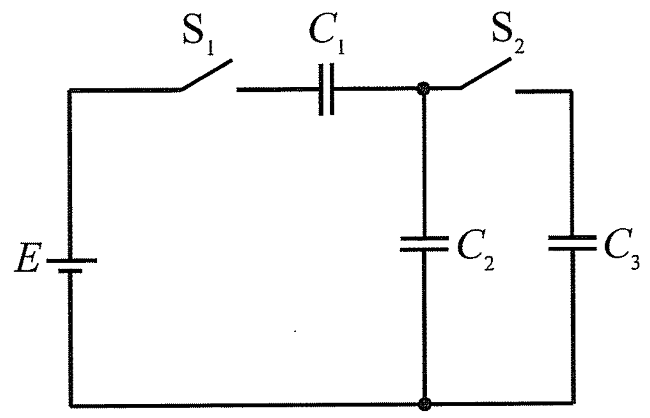

図1

問 1 まず，スイッチS_1を閉じた。十分に時間が経った後，コンデンサー2の極板間の電位差がV_1になった。V_1を，E，C_1，C_2を用いて表せ。

問 2 次に，スイッチS_1を開いて，スイッチS_2を閉じた。十分に時間が経った後，コンデンサー2の極板間の電位差がV_2になった。V_2を，E，C_1，C_2，C_3を用いて表せ。

問 3 その後，スイッチS_2を閉じたままスイッチS_1を閉じた。十分に時間が経った後，コンデンサー2の極板間の電位差がV_3になった。V_3を，E，C_1，C_2，C_3を用いて表せ。

問 4　この状態で，コンデンサー 3 の極板間を，比誘電率 ε_r の誘電体で満たした。十分に時間が経った後，コンデンサー 2 の極板間の電位差が，コンデンサー 1 の極板間の電位差の 2 倍になった。このときの比誘電率 ε_r を，C_1，C_2，C_3 を用いて表せ。

Ⅱ. 次に，図 2 の電気回路について考える。コンデンサーの静電容量を C，コイルの自己インダクタンスを L，抵抗の抵抗値を R とする。ダイオード D は，順方向に電流が流れるとき電圧降下はなく抵抗は無視でき，逆方向には電流が流れないとする。最初にスイッチ S_4 を開いたままスイッチ S_3 を閉じ，十分に時間が経った後，スイッチ S_3 を開き，その後スイッチ S_4 を閉じた。

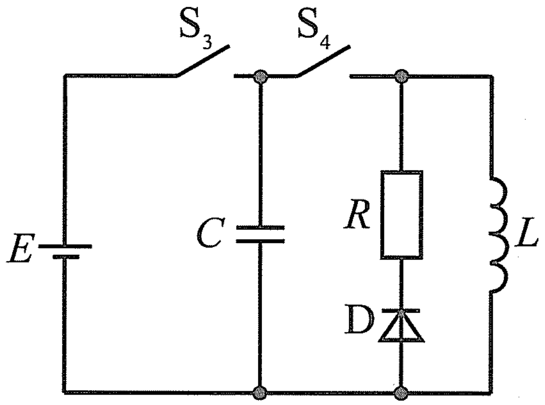

図 2

問 5　コイルに流れる電流は時間とともに変化した。電流の大きさの最大値 I_0 を，E，C，L を用いて表せ。

問 6　コイルは単位長さ当たりの巻き数が n のソレノイドであった。このソレノイドコイルの内部における磁場の大きさの最大値 H_0 を，n，I_0 を用いて表せ。

問 7　スイッチ S_4 を閉じた時刻を $t=0$ とする。ダイオード D があるために，時刻 $t=0$ の後で磁場の大きさが最大になるまでの間は，この電気回路

はコンデンサーとコイルのみで構成されていると考えてよい。磁場の大きさが最大になる時刻 t_0 を，L，C を用いて表せ。

問 8　コイルの電流の大きさが最大になった瞬間に，スイッチ S_4 を開いた。この後は，ダイオード D があるために，電流は抵抗に流れた。時刻 t_0 の微小時間 Δt 後には，電流の大きさが I_0 から $I_0 + \Delta I$ に変化した。$\dfrac{\Delta I}{I_0 \Delta t}$ を，L と R で表せ。

問 9　時刻 t_0 ($t \leqq t_0$) までとその後 ($t > t_0$) の両方について，コイルに流れる電流の大きさの時間変化を表すものとして最も適切なグラフの概形を，図 3 中の（あ）～（う）と（え）～（か）からそれぞれ選び，解答欄 (a)，(b) に記入せよ。

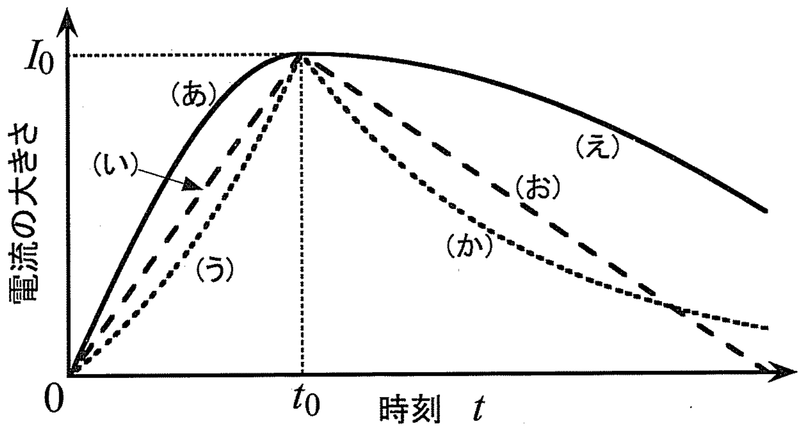

図 3

（計算用余白）

〔3〕 以下のAとBの両方の問題に解答せよ。なおAとBは独立した内容の問題である。

A．なめらかに上下に動くピストン（質量と厚みは無視できる）がついた円筒状の容器内に，単原子分子の理想気体が 1 mol 封入されている（図 1）。この容器とピストンは熱を伝えない。容器内に，気体に熱を加えたり気体から熱を奪ったりできる熱制御装置が組み込まれている。熱制御装置の体積は無視できるほど小さく，かつピストンの運動を邪魔しないとする。図 1 のように z 軸を取り，$z=0$ を容器の底面とする。はじめにピストンは $z=L$ の位置に静止しており，容器内の気体の圧力と温度は，それぞれ p_0，T_0 であった（図 2 の状態 **A**）。容器外の気体の圧力は常に p_0 で一定である。気体定数を R とする。また，単原子分子の理想気体の圧力を p，体積を V としたとき，断熱変化においては，pV^{γ} は一定に保たれる。なお，γ（ガンマ）は定数である。

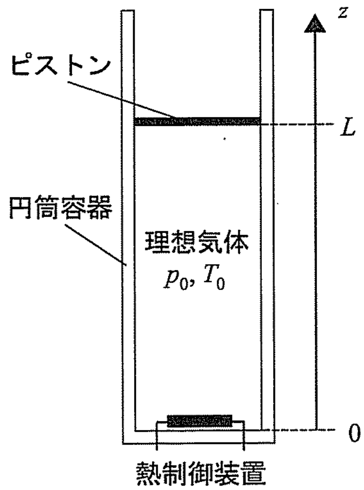

図 1

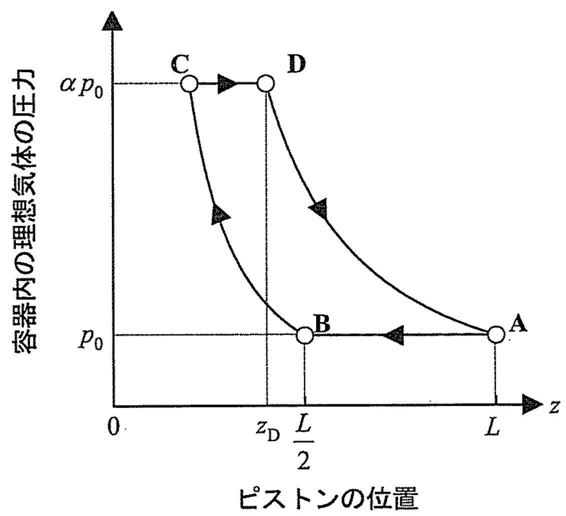

図 2

問 1　ピストンが自由に動く状態で熱制御装置をある時間作動させると，ピストンがゆっくり動いて $z=\dfrac{L}{2}$ の位置で停止した（図 2 の状態 **B**）。状態 **B** における容器内の気体の温度 T_{B} を，T_0 を用いて表せ。

問 2　過程 **A** $\to$ **B** において，容器内の気体に加えられた熱量 Q_1（気体が吸熱した場合を正，放熱した場合を負とする）を，R，T_0 を用いて表せ。

問 3　次に状態 **B** からピストンに徐々に力を加え，容器内の気体の圧力が αp_0 $(\alpha>1)$ になるまで，ゆっくりと断熱変化させた（図 2 の状態 **C**）。状態 **C** における容器内の気体の温度 T_{C} を，T_0，α，γ を用いて表せ。

状態 **C** から，容器内の気体の圧力が αp_0 に保たれるようにピストンに外力を加えたまま，熱制御装置を作動させ，ピストンの位置が z_{D} に達した時点で熱制御装置を停止した（図 2 の状態 **D**）。さらに，状態 **D** から容器内の気体の圧力が p_0 となるまで，ピストンに加える外力を徐々に緩めながらゆっくり断熱変化させると，ピストンの位置が $z=L$ となり，状態 **A** に戻った。

問 4　過程 **C**$\to$**D**$\to$**A** が実現するような z_{D} を，α，γ，L を用いて表せ。

問 5　過程 **C**$\to$**D** において，容器内の気体に加えられた熱量 Q_2（気体が吸熱した場合を正，放熱した場合を負とする）を，R，T_0，α，γ を用いて表せ。

問 6　この **A**$\to$**B**$\to$**C**$\to$**D**$\to$**A** のサイクルを用いた熱機関の熱効率 e を，α，γ を用いて表せ。ただし e は，容器内の気体が熱制御装置から吸収した熱量に対する，気体が外部にした仕事の割合である。

問 7　$e \geqq \dfrac{1}{2}$ を達成するために必要となる α の最小値 α_{min} を求めよ。ただし，単原子分子の理想気体においては，$\gamma=\dfrac{5}{3}$ であることを用いよ。解答には根号が残っていてもよい。

B．光速が慣性系の選び方によらないことを明らかにしたマイケルソン・モーリーの実験や，近年の重力波の観測は，互いに直交する2つの長い経路を通った光の干渉を用いて行われた。次の簡略化したモデルを用いて，光の干渉について考えよう。

図3に示すように，レーザー光源から出る光を，ハーフミラー（半透鏡）Hを用いて経路Xと経路Yの2つに分けた後，鏡で反射させ，Hによって，同じ面Fに集めた。ハーフミラーは，光の一部分を透過し，残りを反射する鏡である。経路Yを通った光を面Fに垂直に入射させ（入射角0°），経路Xを通った光を十分に小さな入射角θで入射させた。その結果，2つの光が作る干渉縞が，面Fで観測された（図4）。レーザー光の経路は，指定がない限り，真空である。レーザー光の真空中での波長をλとする。また，経路Xの途中には，長さLの透明な容器Aが置かれていて，この容器内も最初は真空である。なお，レーザー光源に戻る光や面Fで反射する光は考えなくてよい。ハーフミラーHの厚みも無視してよい。レーザー光源は十分に幅の広い平面波を発生するものであり，面F付近で干渉を考える際も，平面波として取り扱ってよい。

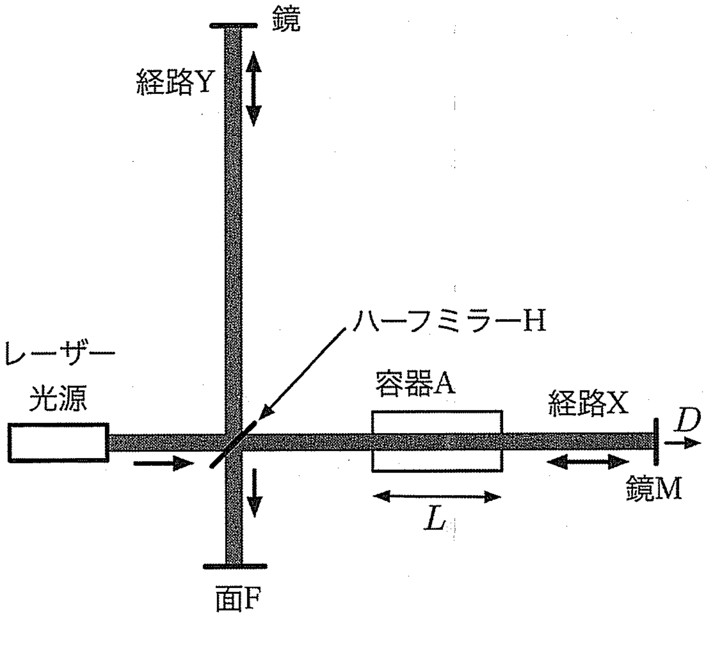

図3

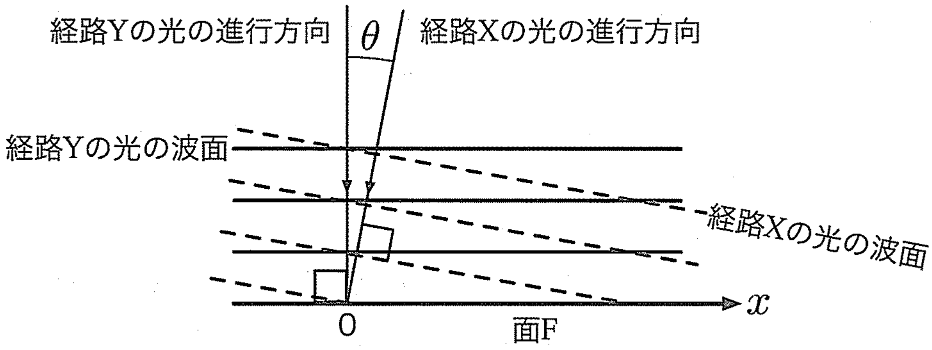

図４

問 8　ある時刻に面Ｆに入射する波面の様子を拡大したところ，図４のようであった。なお図４では，θ が誇張して大きく描かれている。面Ｆ上に図４のように x 軸をとる。経路Ｘを通り $x=0$ に入射する光について，レーザー光源から測った光路長を ℓ とする。経路Ｘを通り面Ｆ上の任意の位置 x に入射する光の光路長を求めよ。ただし同じ波面上では，光源からの光路長は一定であるとせよ。

問 9　面Ｆに作られた干渉縞の間隔（明線の間隔）を求めよ。

問１０　干渉縞を観察しながら，経路Ｘの光を反射させる鏡Ｍを，ゆっくりと図３中の右方向に微小距離 D 動かした。その結果，経路Ｘを通る光の光路長は $2D$ だけ伸び，干渉縞は x 軸に沿って Δx_1 だけ動いた。Δx_1 を符号も含めて答えよ。

問１１　干渉縞を観察しながら，容器Ａに微小量のガスをゆっくりと入れ，容器Ａ内の光の屈折率を $(1+\alpha)$ とした。ただし α は正で十分に小さい。ガスを入れたことによって，干渉縞は x 軸に沿ってさらに Δx_2 動いた。Δx_2 を符号も含めて答えよ。ただし，ガスを入れたことによる経路の変化は無視してよい。

問１２　光は電磁波の一種であり，その電場は正弦波で表すことができる。経路Ｘから面Ｆに入射する光の電場を E_{X}，同じく経路Ｙから入射する

光の電場を E_{Y} とする。$x=0$ において，E_{X}，E_{Y} とも同じ向きで，$E_0 \sin \omega t$ の時間変化をしていた。t は時刻である。ω は光の波の角振動数であり，振動数 f，周期 T と，$\omega = 2\pi f = \dfrac{2\pi}{T}$ の関係にある。なお ω は 0 でない定数である。

2 つの光の干渉によって面 F 上に発生した干渉縞の明るさは x の関数であり,「2 つの光の電場の和の 2 乗の時間平均（十分に長い時間にわたる平均)」に比例する。この電場の和の 2 乗，すなわち $(E_{\mathrm{X}}+E_{\mathrm{Y}})^2$ の時間平均 $I(x)$ を求めよ。なお，0 でない定数 a に対し，$\sin at$ や $\cos at$ の時間平均は 0 だが，$\sin^2 at$ や $\cos^2 at$ の時間平均は $\dfrac{1}{2}$ であることを用いてよい。