平 成 29 年 度

前 期 日 程

物　　　　理

医学部・工学部・応用生物科学部

問　題　冊　子

注意事項

1. 試験開始の合図があるまで，問題冊子を開かないこと。
2. 問題冊子は 8 ページからなる。解答用紙等については，医学部は解答用紙 3 枚・白紙 1 枚，その他の学部は解答用紙 4 枚である。乱丁，落丁，印刷不鮮明などの箇所があった場合には，ただちに試験監督者に申し出ること。
3. 受験番号は，解答用紙のそれぞれ指定の欄すべてに必ず記入すること。
4. 解答は解答用紙の指定箇所に記入すること。
5. 問題は，大問で 4 題である。工学部・応用生物科学部の受験生は 4 題すべてに解答すること。医学部の受験生は，問題 $\boxed{1}$，$\boxed{2}$，$\boxed{3}$ に解答すること。
6. 解答用紙は持ち帰らないこと。
7. 問題冊子および白紙（白紙は医学部受験生のみ該当）は持ち帰ること。
8. 大問ごとに，満点に対する配点の比率を表示してある。

1 次の文を読み，以下の問いに答えよ。(配点比率　医：$\frac{1}{3}$，工・応生：$\frac{1}{4}$)

図のように，真空中において，2つの平行板コンデンサーC_1，C_2，スイッチS_1，S_2，電圧V〔V〕の電池Eを導線で接続し，次の①から⑥の操作を順に行った。C_1の電気容量はC〔F〕，C_1の極板面積はC_2の2倍，極板間隔はどちらも同じであり，はじめはC_1とC_2のどちらも充電されていなかった。電気容量に対するコンデンサーの端の効果は無視できるものとする。

① S_2を開いたまま，S_1を閉じてC_1を充電した。

② S_1を開いてS_2を閉じ，回路が安定するまで待った。

③ S_2を閉じたまま，C_2の極板間隔をゆっくりと2倍に広げた。

④ ③の操作後の状態からさらに，比誘電率2の誘電体をゆっくりと挿入してC_2の極板間を満たした。

⑤ S_2を開き，S_1を閉じてC_1を充電した。

⑥ S_1を開いてS_2を閉じ，回路が安定するまで待った。

問1　①の操作で，C_1に蓄えられた静電エネルギーU〔J〕は電池Eがした仕事W_1〔J〕に対して小さくなる。W_1-Uを求めよ。また，減少分W_1-Uは何に消費されたのか答えよ。

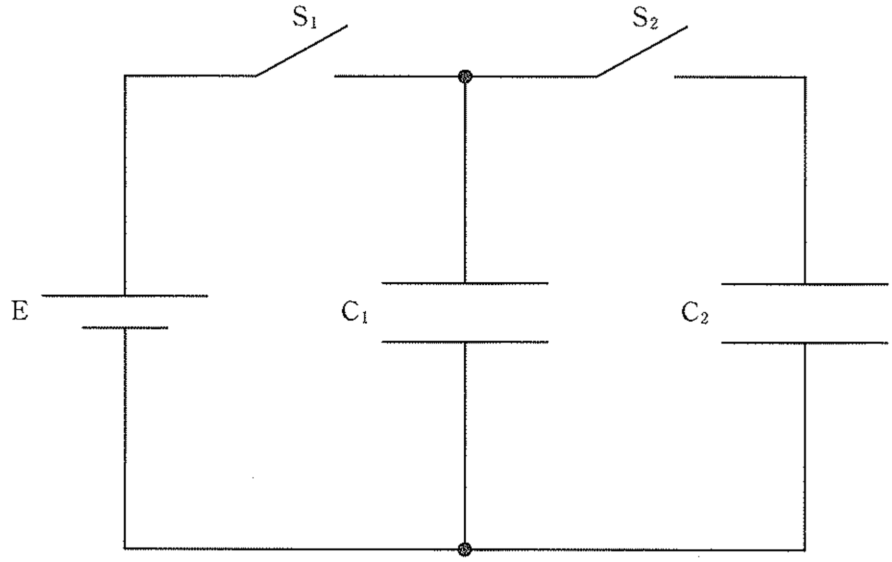
問2　②の操作後のC_1の電位差V_1〔V〕，③の操作後のC_2の電位差V_2〔V〕，④の操作後のC_2の電位差V_3〔V〕を，V，Cの中から必要なものを用いて，それぞれ表せ。

問3　③の操作前に対する操作後のC_1とC_2に蓄えられた静電エネルギーの和の変化ΔU_1〔J〕を，V，Cの中から必要なものを用いて表せ。また，③の操作によって静電エネルギーの和は増えたか，減ったかを答えよ。また，③の操作による静電エネルギーの和の増減は何によって得られたか，あるいは消費されたのか40文字以内で答えよ。

問4　④の操作前に対する操作後のC_1とC_2に蓄えられた静電エネルギーの和の変化ΔU_2〔J〕を，V，Cの中から必要なものを用いて表せ。また，挿入中に誘電体が極板から受ける力の向きは，極板間に引き込まれる方向か，押し戻される方向か答えよ。また，そう考えられる理由を，求めたΔU_2をもとに60文字以内で答えよ。

問5　④の操作後にC_1に蓄えられた電気量Q〔C〕と⑤の操作で電池Eがした仕事W_2〔J〕を，V，Cの中から必要なものを用いて，それぞれ表せ。

問6　⑥の操作後のC_1の電位差V_4〔V〕を，V，Cの中から必要なものを用いて表せ。



図

2 次の文を読み，以下の問いに答えよ。(配点比率　医：$\frac{1}{3}$，工・応生：$\frac{1}{4}$)

高い山に登ると，ふもとに比べて気温がかなり下がることはよく知られている。例えば，岐阜県最高峰の奥穂高岳(標高 3190 m)の山頂付近では，真夏でも気温は 20 ℃ 程度である。一般に，高度が 100 m 増加すると気温は 0.6 ℃ 低くなる。この高度と気温との関係を，単純な仮定のもとで導いてみよう。大気中の空気は二原子分子の理想気体とみなし，その定積モル比熱を C_V〔J/(mol・K)〕とする。また，気体定数を R〔J/(mol・K)〕，重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とする。

図 1 のように，大気中の高度 z〔m〕において，体積 V〔m^3〕，温度 T〔K〕，物質量 n〔mol〕の空気塊 A について考える。通常，時間が経つにつれて，境界面を通じて周辺の大気が空気塊に混じり状態を変化させるが，ここでは空気塊 A への物質の出入りはないと仮定する。同様に，大気から空気塊への熱の出入りもなく，空気塊 A は断熱変化すると仮定する。また，空気塊 A の中では，状態は一様であるとする。

問 1　空気塊 A の体積が V から $V + \Delta V$〔m^3〕に変化したとき，ΔT〔K〕の温度の変化が生じるとする。このときの空気塊 A の内部エネルギーの変化を ΔU〔J〕，空気塊 A が外部にした仕事を ΔW〔J〕とする。また，空気塊 A の周辺の気圧を p〔Pa〕とする。

(1)　ΔU と ΔW との間の関係式を求めよ。

(2)　ΔT を，g，n，ΔV，p，C_V から必要なものを用いて表せ。

図 2 のように，ふもとから山に向かって風が吹き，高度 z にあった空気塊 A はこの風に乗って山にぶつかり，その斜面に沿ってゆっくりと上昇し，高度 $z + \Delta z$〔m〕で静止した。このとき，空気塊 A 周辺の大気の状態が少しだけ変化し，気圧は $p + \Delta p$〔Pa〕になった。これに伴って，空気塊 A の状態も少しだけ変化し，体積が V から $V + \Delta V$ に，温度が T から $T + \Delta T$ になった。なお，空気塊 A の状態の変化は，高度の変化によってのみ起こるとする。

問 2　理想気体の状態方程式を用いて，$\frac{\Delta V}{V}$ を T，ΔT，p，Δp から必要なものを用いて表せ。ただし，ΔV，Δp，ΔT は微小量とみなし，これらの積($\Delta V \Delta p$ など)は無視せよ。

Δp を求めるため，図 3 のように，大気中に単位面積を底面とする気柱を考える。高度 z から $z + \Delta z$ にはさまれた領域を大気層 B とする。大気層 B の下面にはたらく気圧が p，上面にはたらく気圧が $p + \Delta p$ である。また，大気層 B での空気の密度を d〔kg/m^3〕とする。大気層 B において，鉛直方向にはたらく力はつり合っており，大気層 B は全体としては静止しているものとする。

問 3　Δp を，g，d，z，Δz，p から必要なものを用いて表せ。

図4のように，空気塊Aと同様の空気塊が次々に風に乗って上昇したとすると，最終的に山の斜面付近に多数の空気塊が蓄積されると考えられる。これらの空気塊は，その高度 z に応じてそれぞれ異なる温度をもつであろう。この空気塊の集合を，山の斜面付近の局所的な大気であると近似的に考え，大気Cと呼ぶことにする。

問 4　これまでの結果を用いて，高度の増加 Δz に対する大気Cの温度の変化 ΔT が，①式で表されることを示せ。

$$\frac{\Delta T}{\Delta z} = -\frac{Vdg}{n(C_V + R)} \cdots\cdots ①$$

問 5　①式を用いて，高度が 100 m 増加したとき気温はいくら減少するか求めよ。ただし，$g = 9.8\,\mathrm{m/s^2}$，$R = 8.3\,\mathrm{J/(mol\cdot K)}$，$C_V = \frac{5}{2}R$，空気のモル質量を 29 g/mol とし，有効数字2桁で答えよ。

問 6　①式で求めた気温の減少に比べ，冒頭で述べた一般的に観測される値(高度 100 m 増加すると 0.6 ℃ 減少)の方がやや小さい。この理由を 60 文字以内で述べよ。なお，現実の空気には多くの水蒸気が含まれており，また，温度が下がると単位体積あたりの空気に含むことができる水蒸気の量(飽和水蒸気量)が減少することを前提に答えよ。

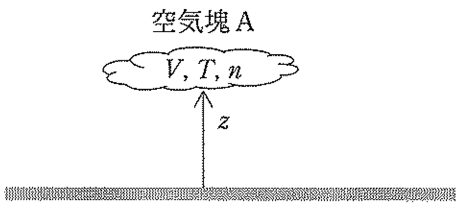


図 1

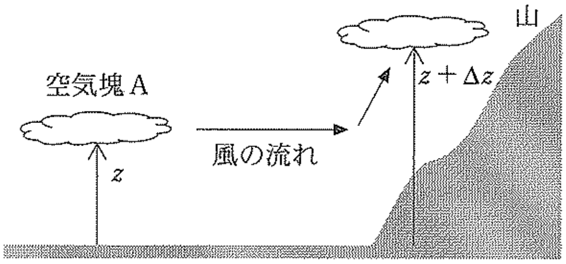


図 2

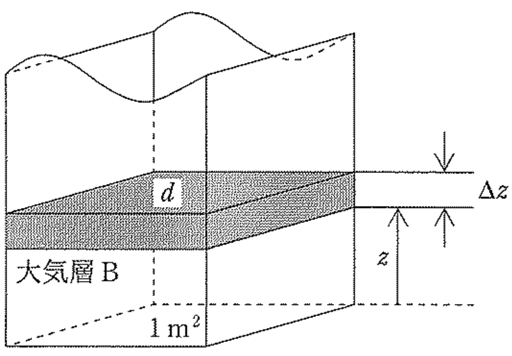


図 3

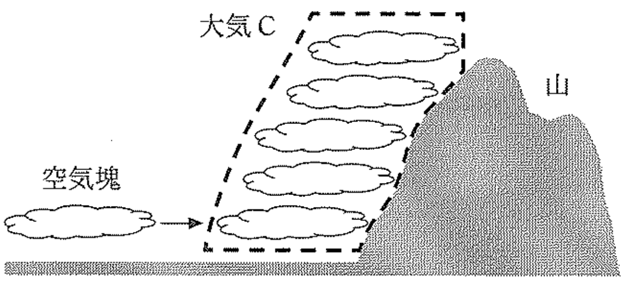


図 4

$\boxed{3}$ 次の文を読み，以下の問いに答えよ。(配点比率　医：$\frac{1}{3}$，工・応生：$\frac{1}{4}$)

身近にあるものを使って光の実験を行うため，次のA，B，Cを準備した。

A：透明なアクリル樹脂の平板(厚み 5.0 mm)を2枚重ねて留め具で固定したもの

B：牛乳を少量混ぜて少し白濁させた水を入れた透明なペットボトル

C：レーザーポインター(波長 532 nm の緑色レーザー光を出す。$1\,\mathrm{nm} = 1 \times 10^{-9}\,\mathrm{m}$)

部屋を暗くしてBのペットボトルにCのレーザーポインターが発する光線を入射してみると，液体全体が淡い緑色に光った。これは，水を白濁させている粒子によって入射したレーザー光が何度も $\boxed{\text{ア}}$ され，いろいろな向きに進む光を生じた結果と考えられる。

次に，図1のようにBの光るペットボトルをAのアクリル板に映してみると，ペットボトルの像に重なって明暗の縞(しま)模様が見えた。Aに対するBからの光の入射角と反射角がほぼ0であるような配置で観察すると，図2に示す楕円のような形をした縞模様が見えた。このとき，アクリル板どうしが密着するようにAを両面から指で押すと，縞模様の位置や形に変化が生じた。アクリル板1枚だけを用いて実験した場合には縞模様は現れなかった。

このような縞模様が現れた原因として，2枚のアクリル板の間に薄い空気層があり，空気層の厚さが場所によって変化していることが考えられる。図3のように，アクリル板1の中を進んできた入射光は，一部が空気層との境界Iで反射され，残りの一部が空気層に進みアクリル板2との境界Jで反射される。観測者はこれら2つの反射光の重ね合わせを見ることになるが，2つの反射光には経路差による位相の差が生じている。また，空気とアクリル樹脂の屈折率はそれぞれ1.0と1.5なので，$\boxed{\text{イ}}$ で反射するときに $\boxed{\text{ウ}}$ [rad]の位相の差が加わる。このように，複数の波動が重なり合い特定の場所で強め合う(または弱め合う)現象を $\boxed{\text{エ}}$ という。

問1　空欄 $\boxed{\text{ア}}$ ～ $\boxed{\text{エ}}$ に最も適する語句を次の語群から選び，番号で答えよ。

(1)　0	(2)　$\frac{1}{2}\pi$	(3)　π	(4)　2π	(5)　I
(6)　J	(7)　うなり	(8)　干　渉	(9)　屈　折	(10)　回　折
(11)　散　乱	(12)　波　面	(13)　分　光	(14)　分　散	(15)　偏　光

問2　図3において，IとJからの反射光が，(1)同位相となっている場合，および，(2)逆位相となっている場合のそれぞれについて，この場所での空気層の厚さ h[m]は光の波長 λ[m]の何倍となっているか。整数 m(= 0，1，2，…)を使って答えよ。

問3　図3のように，x 方向正の向き(紙面右向き)に行くほど空気層の厚さが増大している場所を考える。この向きに Δx[m]だけ移動すると，空気層の厚さが $s\Delta x$[m]だけ増大し，s は場所によらず一定とすれば，図4のように x 方向に等間隔に並ぶ平行な縞模様が観察されるはずである。縞模様の暗線の間隔 d[m]を求め，λ，s を用いて答えよ。

問 4　前問 3 において，図 4 のような明暗の縞模様が観察されているものとする。このとき，もしアクリル板 1 全体が速さ u〔m/s〕でアクリル板 2 に向かって（入射光と同じ向きに）平行移動を始めたとすると，空気層の厚さが一様に減少し，明暗の縞模様は移動を始めるだろう。縞が移動する向き（x 方向正の向きか，負の向きか）を答え，移動の速さ V〔m/s〕を求めよ。

問 5　下線部の観察を行ったとき，A に圧力を加え始めると図 2 に示す楕円のような形をした縞模様は中心に向かって収縮し，中央部分に吸い込まれていくような動きを見せた。アクリル板の間の空気層の厚さは，図 2 の中央部分において周囲とくらべて厚い，薄いのどちらといえるか。答を解答欄の空欄に記入し，その理由を 40 文字以内で答えよ。

問 6　前問 5 において，A に圧力を加えるにつれて，図 2 とまったく同じ縞模様が 5 回再現された。この間に，2 枚のアクリル板の間の間隔は何ナノメートル（nm）変化したと考えられるか。数値で答えよ。

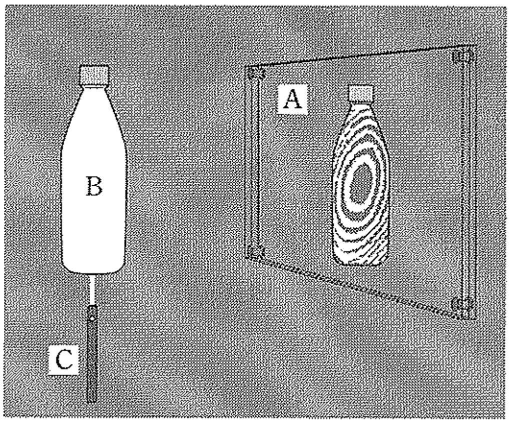


図 1

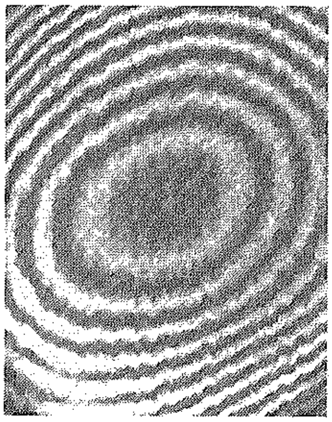


図 2

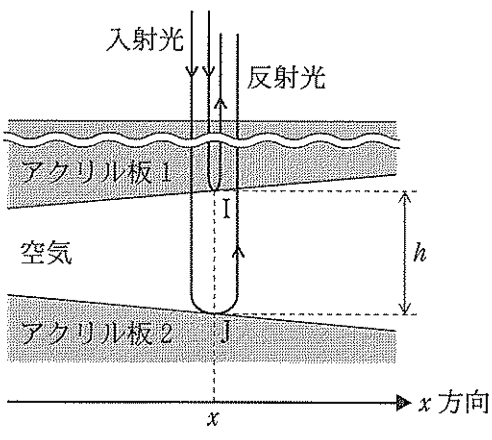


図 3

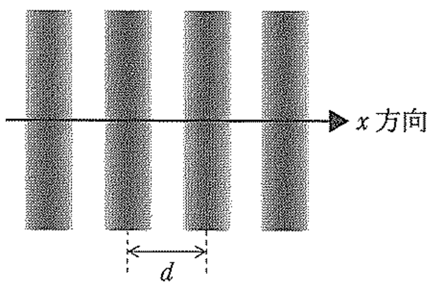


図 4

4　次の文を読み，以下の問いに答えよ。(配点比率　工・応生：$\frac{1}{4}$)

図1のように，水平でなめらかな床の上で，点Oから質量m〔kg〕の小さいボールを水平面からの角度θ〔rad〕の方向に速さv〔m/s〕で投げた。その後，ボールは点Pで弾み，さらに点Qで弾んだ。点O，P，Qは一直線上であった。その直線をx軸に，鉛直上向きをy軸にとる。床とのはね返り係数(反発係数)は0.5であり，重力加速度の大きさをg〔m/s^2〕とする。

問1　点Oから点Pまで運動する間にボールが到達する最高点の高さを求めよ。

問2　点Oから点Pまで運動する間にボールが重力から受ける力積の大きさI〔N・s〕を求めよ。

問3　点Oと点Pの間の距離を求めよ。

問4　点Pでボールが弾んだ時に，ボールが床から受けた力積の大きさI_1〔N・s〕と向きを，重力から受けた力積を無視して求めよ。また，ボールと床が接触している時間が$\Delta t = 3 \times 10^{-3}$s，$v = 1$ m/s，$\theta = \frac{\pi}{6}$ rad，$g = 10$ m/s^{2}である場合の，ボールが衝突中に重力から受ける力積の大きさI_2〔N・s〕を計算し，I_1との比を有効数字1桁で答えよ。

問5　点Pから点Qまでの間でボールが到達する最高点の高さは，問1で求めた高さの何倍か求めよ。また，水平面に沿った点Pと点Qの間の距離は，問3で求めた距離の何倍か求めよ。

次に，図2のように，階段の上からボールを水平面からの角度α〔rad〕の方向に速さu〔m/s〕で投げたところ，点A，点Bで弾み，階段を一段ずつ降りて行った。このとき，点Aで衝突後のボールの速度は，点Oでの速度と同じであった。階段の各段は水平で，かつ，なめらかで，はね返り係数をeとする。また，階段の段差をL〔m〕とする。

問6　階段の段差Lを求めよ。

問7　ボールが点Oから点Bまで運動したときのボールの運動エネルギーの時間変化のグラフを描け。点Oでの運動エネルギーと，運動エネルギーの最大値と最小値を求め，グラフに書き込め。解答用紙には点O，点A，点Bでの時刻t_O〔s〕，t_A〔s〕，t_B〔s〕が書き込まれている。

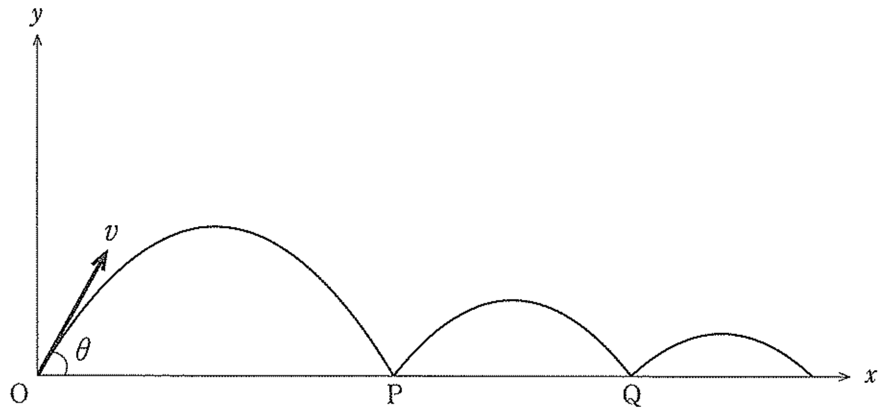


図 1

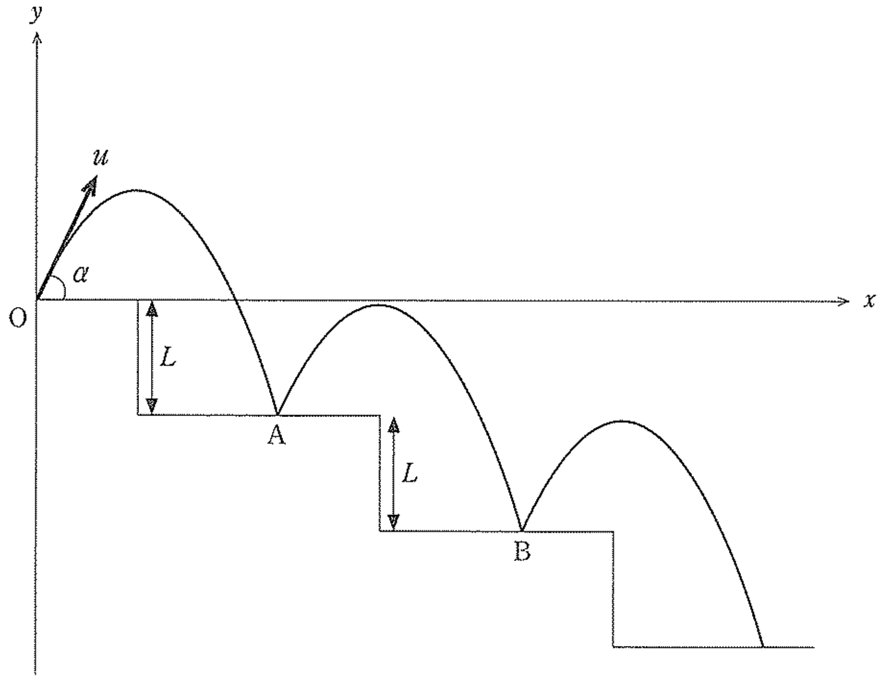


図 2