

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。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、4 枚の解答用紙のそれぞれ指定の欄すべてに記入すること。
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 題ある。工学部・応用生物科学部の受験生は 4 題全てに解答すること。医学部の受験生は、問題 **1** **2** **4** に解答すること。解答しない **3** の解答用紙には、全紙にわたり大きく×印を 1 つ記すこと。
6. 解答用紙は持ち帰らないこと。
7. 問題冊子は持ち帰ること。
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： $\frac{1}{4}$)

図に示すように，点 O に置かれた質量 m [kg] の弾をはじき，点 O から水平方向に L [m] 離れた地点に設置された高さ H [m] の標的に命中させることを考える。

弾は，ばねを用いた仕掛けにより以下の仕組みではじかれる。先端に質量 M [kg] の物体(以降，ハンマーという)を固定したばね定数 k [N/m] のばねが，筒の底に取り付けられている。弾は筒の先端で留まることができ，ばねの長さは自然長でちょうどハンマーと弾が接するように調節されている。ばねを x [m] 縮めた状態で放すと，ハンマーは筒内を中心軸に沿って移動する。筒内の運動に関しては，重力はばねの弾性力に比べて小さく無視できる。

筒先の端点 O に留まっていた弾は，そのハンマーと弾性衝突をおこし，速度 v [m/s] で筒外に放出される。このとき弾は筒の中心軸方向に瞬時に筒から放出されるものとする。筒は点 O に固定されており，弾の放出方向は点 O を中心に点 O と標的を含む鉛直面内で回転する筒の向きにより自由に調節できる。水平方向からの上向きに測った弾の放出角度を θ [rad] とする。

重力加速度を g [m/s²]，円周率を π と書き，空気抵抗や筒内の運動における摩擦は考えない。弾の大きさは無視する。

問 1 弾に衝突する直前のハンマーの速度 V_0 [m/s] を求めよ。

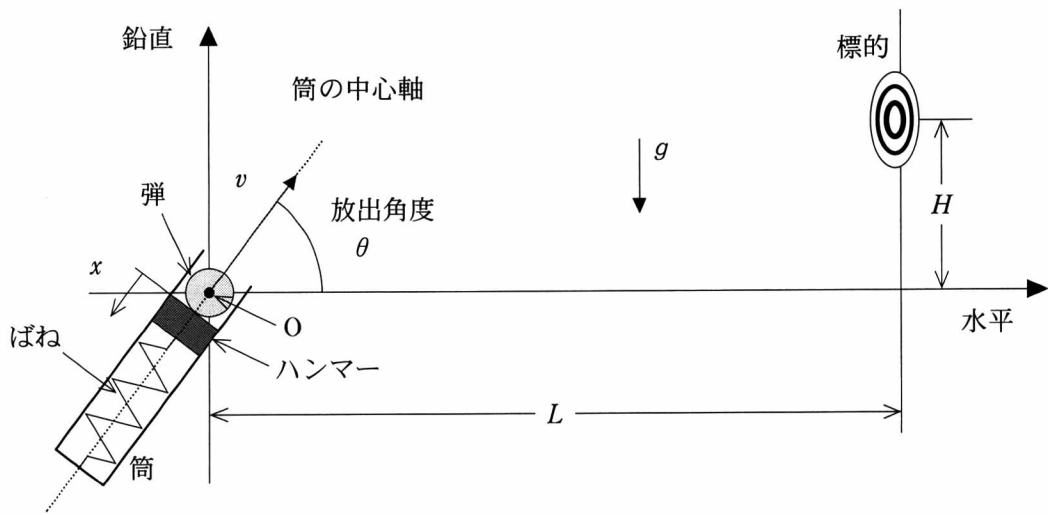
問 2 v を V_0 を用いて表せ。

問 3 ばねの縮み量 x を変えずに筒の角度を少しずつ変えて試したところ，放出角度が θ_0 [rad] のとき，最も高い位置に設置した標的に弾が命中することがわかった。 $\tan \theta_0$ を v を用いて表せ。

問 4 問 3 の場合での標的の高さ H_{\max} [m] を v を用いて表せ。

問 5 標的の高さを $H = 0$ [m] とした。最も少ないばねの縮み量 x_{\min} [m] で弾を命中させたい。問 3，問 4 を参考に，その縮み量 x_{\min} を求めよ。

問 6 問 5 の場合，ばねを縮めた状態でハンマーを放した瞬間から弾が標的に命中するまでの時間 T [s] を M ， k ， L 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： $\frac{1}{4}$)

十分な長さをもつ直線形状と正弦波形状の2本の導体レールが図1のように配置されている。直線形状のレールの一端を原点O，レールの伸びる方向をx軸とし，それに直交する方向がy軸となるように座標系を設定する。この座標系において，正弦波形状のレール上の点は，x座標がx[m] ($x \geq 0$) であるとき，そのy座標y[m]は， y_0 [m]，A[m]， λ [m]を正の定数として

$$y = y_0 + A \sin \frac{x}{\lambda}$$

で与えられる。y軸上にある直線形状および正弦波形状のレールの端点には，それぞれ端子Oと端子Pが取り付けられている。

$x \geq 0$ の領域には紙面の表から裏方向に磁束密度B[T]の均一で一定な磁場がかけられている。この上を1本の導体棒がy軸と平行に2本の導体レールと接触を保ったまま一定速度v[m/s]でx軸の正方向に移動する。時刻0sにおいて導体棒のx座標が0mであったとする。導体レールと導体棒の電気抵抗は無視できるものとして，以下の空欄を埋めよ。

問1 OP間に抵抗を取り付ける。ファラデーの電磁誘導の法則によると の大きさは一巻きのコイル(または回路)を貫く磁束の単位時間当たりの変化と等しい。この法則により端子Oを基準とした端子Pでの電圧E[V]について考えよう。端子Oから導体棒を通り端子Pを経て端子Oに至る回路を考え，その回路を貫く磁束を Φ [Wb]とする。また， $y_0 > A$ を仮定して2つの導体レールとy軸および導体棒で作られる面積をS[m²]とすると， Φ とSには の関係が成り立つ。さて，時刻t[s]での導体棒のx座標は [m]であり，その時刻から微小時間 Δt [s]の間に導体棒はx軸方向に [m]動く。その影響で変化する面積 ΔS [m²]を Δt が十分小さいとして長方形で近似すると， ΔS はtおよび Δt を用いて $\Delta S =$ と表される。磁束密度Bは均一で一定であることから，時間 Δt での磁束の変化 $\Delta \Phi$ が計算できる。 Δt を微小として時刻tでの磁束 Φ の時間変化率 $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ を求めることにより，端子Pの電圧Eを時刻tの関数として符号も考慮して表すとE = となる。なお，この式は任意の y_0 ，Aについても成立する。

問2 レールどうしが絶縁を保ったまま $y_0 = 0$ となる回路が構成できたとすると，OP間には交流電圧が生成される。OP間に図2に示すような自己インダクタンスL[H]のコイル，抵抗値R[Ω]の抵抗，電気容量C[F]のコンデンサーの直列回路を接続する。この直列回路に角周波数が ω [rad/s]の交流電圧をかけるとき，直列回路に流れる交流電流I[A]を

$$I = I_0 \sin \omega t \cdots \cdots \cdots \textcircled{1}$$

と書こう。

抵抗にかかる電圧 E_R (V) は、キ の法則より流れる電流 I に比例する。したがって、 E_R は ω を用いて

$$E_R = RI_0 \sin \omega t$$

と表される。また、コイルには流れる電流の変化を妨げる向きに逆起電力と呼ばれる電圧 E_L (V) が生成される。この現象をコイルの ク という。電流が①式で与えられるとき、 E_L は ω を用いて

$$E_L = \omega LI_0 \cos \omega t$$

と表される。一方、コンデンサーにかかる電圧 E_C (V) は、流れる電流が①式で与えられるとき、 ω を用いて

$$E_C = -\frac{I_0}{\omega C} \cos \omega t$$

と表される。

OP間にかかる電圧は抵抗、コイル、コンデンサーそれぞれにかかる電圧 E_R 、 E_L 、 E_C の和となり、計算して整理すると、 $Z \cdot I_0 \sin(\omega t + \alpha)$ と表される。ここで Z (Ω) ($Z > 0$) は $Z =$ ケ と書くことができ、 α (rad) は $\tan \alpha =$ コ を満たす。この Z は交流回路のインピーダンスと呼ばれている。

問 3 インピーダンス Z は流れる交流の角周波数によって変化し、それが最小となる角周波数のとき回路に流れる電流が最大となることが知られている。コイルとコンデンサーを組み合わせた交流回路に見られるこの現象は サ と呼ばれ、そのときの交流電圧の角周波数は シ [rad/s] である。そして、サ の状態となるには導体棒を速度 ス [m/s] で動かす必要がある。

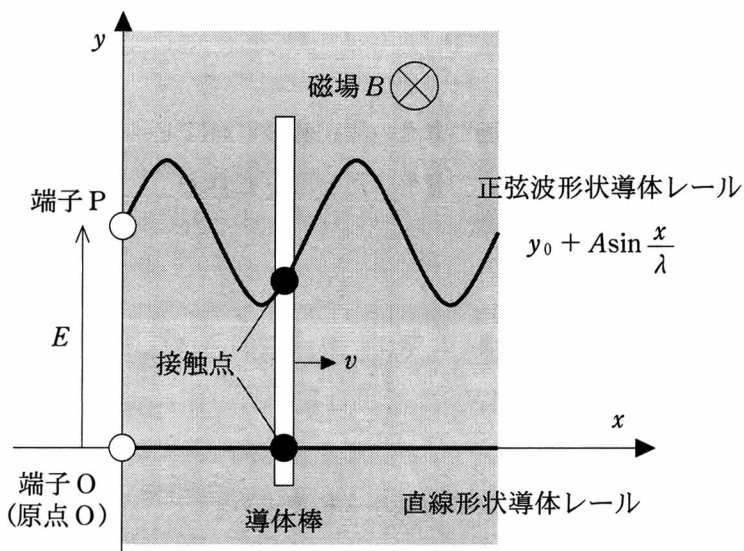


図 1

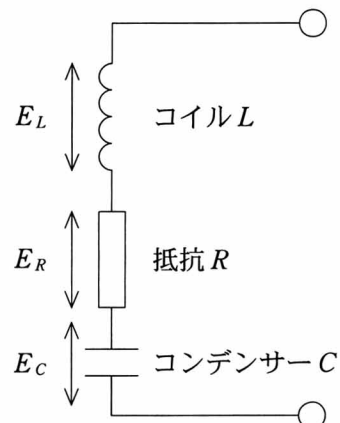


図 2

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

電気ヒーターに電流を流したとき発生するジュール熱を水熱量計で測定し、水の比熱を求める実験を行った。水熱量計は図1のような断熱材で囲まれ、銅製容器とかくはん棒、電気ヒーター、温度計が入っている。電流計、電圧計、電源装置、スイッチを準備した。

実験1：最初、適量の水を水熱量計に入れて、その水の質量 M_1 [g] と温度 T_1 [°C] を測る。次に、温度 T_2 [°C] の温水 M_2 [g] を水熱量計に加えて、かくはん棒で手早く混合後、水の温度 T [°C] を測る。

実験2：水熱量計に水 M_3 [g] を入れて、電気ヒーターをこの水に浸して、回路のスイッチを閉じると同時に、かくはん棒でゆっくりかきまぜながら、ストップウォッチで時間を読み始める。水熱量計からの熱の出入りができるだけ無いように注意して、30秒毎に水温と、電気ヒーターにかかる電圧と流れている電流を読み取って、記録してグラフに表した。このとき、室温は 18.0 °C であり、最初と最後の水温の中央の値が室温にほぼ等しくなるように測定した。

問1 実験1において、 $M_1 = 150$ [g]、 $T_1 = 13.0$ [°C]、 $M_2 = 100$ [g]、 $T_2 = 28.0$ [°C] であり、 $T = 18.0$ [°C] であった。水熱量計の熱容量 C [J/K] を、水の比熱 H [J/(g·K)] を用いて表せ。

問2 実験2において、電流計、電圧計、電源装置、スイッチを水熱量計に接続する回路図を描け。その際、図2に示す電気記号を用いよ。

問3 実験2において、測定時間 270 秒内の、電圧と電流の測定値の平均は $V = 14.1$ [V]、 $I = 1.50$ [A] であった。測定時間内に電気ヒーターで発生したジュール熱 Q [J] を、有効数字 3 桁で求めよ。

問4 実験2において、時間と水温の測定結果を図3に示す。 $M_3 = 300$ [g] のとき、水と容器が得た熱量 q [J] を、水の比熱 H 、水熱量計の熱容量 C を用いて表せ。

問5 実験1と実験2の結果より、水の比熱 H を、有効数字 2 桁で求めよ。

問6 実験2で、「最初と最後の水温の中央の値が室温にほぼ等しくなるように測定した。」とあるが、その理由を 50 文字以内で説明せよ。

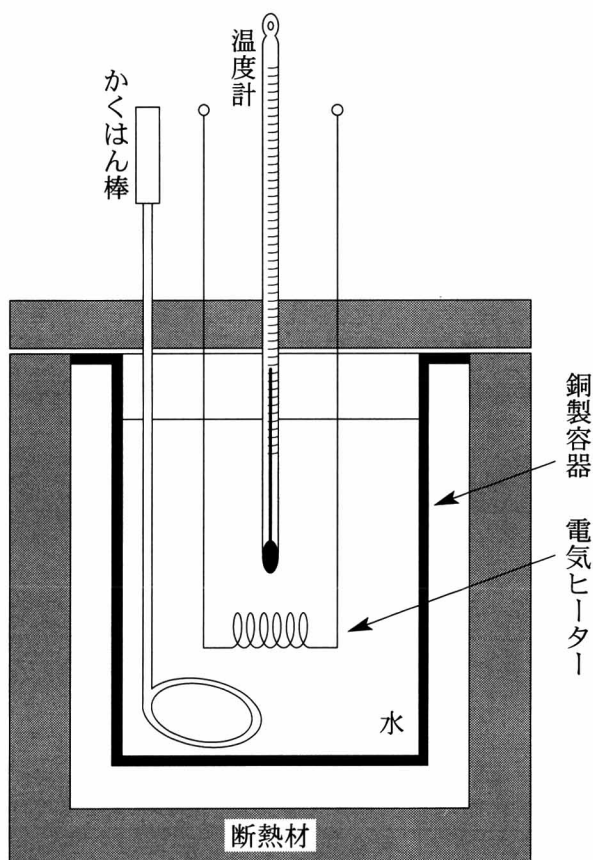


図 1

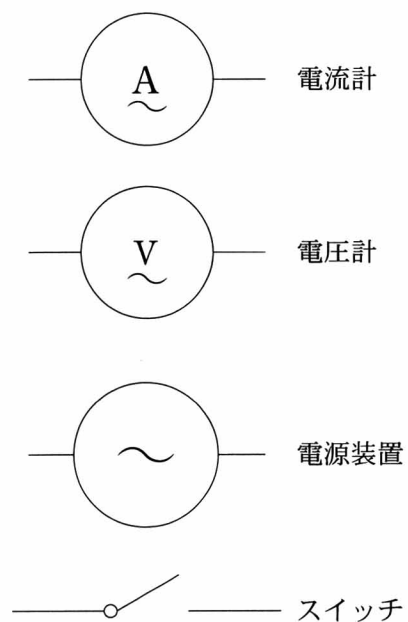


図 2

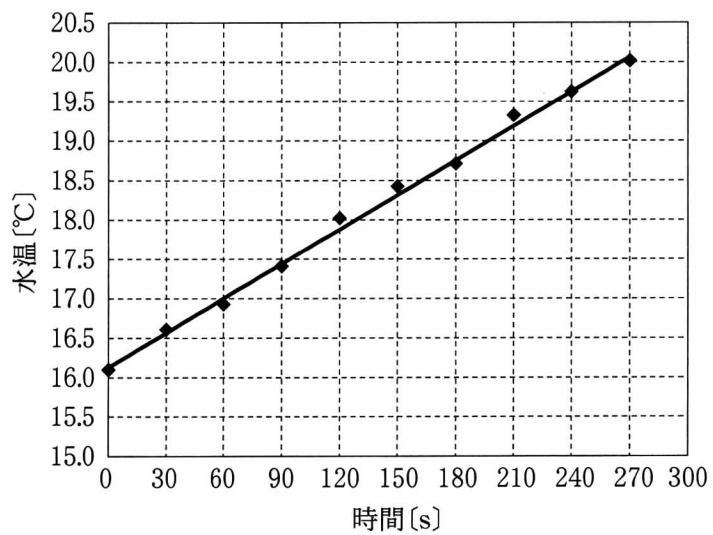


図 3

4 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： $\frac{1}{4}$)

ある港に向かっていた船がその港からの電波を受信していたところ、強度がだんだんと弱くなり受信できなくなった。進路をそのままにしてしばらく進むと、また受信できるようになった。これは、送信アンテナから船に直接到達した直接波と、海面で反射されて船に到達した反射波が **ア** したためと考えられる。

用いる記号を次のように定める。(図を参照)

- ・船のアンテナ A は、海面から h の高さであった。アンテナの鉛直真下の海面上の点を B とする。
- ・港の送信アンテナ C は断崖の上に設置されており、海面からの高さ \overline{CD} は H であった。
- ・受信された反射波は点 R で反射された。

港のアンテナ C は周波数 f の電波を送信しており、船の受信機は周波数範囲 50 MHz～150 MHz の電波を受信できる。

この現象を理解する上で重要な事柄を次のように指摘しておく。

海面での電波の反射は“波の **イ** での反射”であり、入射した波が山するとき、反射波は谷として出て行く。これを、「入射波と反射波の位相が **ウ** である」という。

問 1 文中の **ア**，**イ**，**ウ** にあてはまる適切なものをつぎの語群の中から選び、その番号を答えよ。

- | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|
| 1 屈折 | 2 同位相 | 3 固定端 | 4 干渉 | 5 自由端 |
| 6 散乱 | 7 回折 | 8 全反射 | 9 逆位相 | |

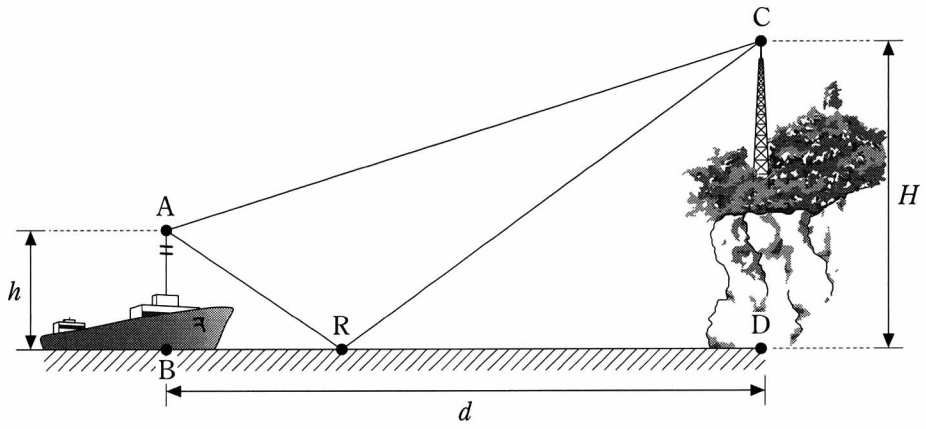
問 2 船で受信できる電波の波長領域を求めよ。なお、光速は $c = 3.0 \times 10^8$ m/s とする。

問 3 船のアンテナと送信アンテナとの水平距離 \overline{BD} が d のときの、反射波の経路の長さ $\overline{AR} + \overline{RC}$ が、 $\sqrt{(H+h)^2 + d^2}$ に等しいことを示せ。

問 4 電波の波長を λ として、船で受信ができなくなる条件を λ ， h ， H ， d を用いて表せ。

問 5 水平距離 d がアンテナの高さ h ， H より十分大として、近似式 $(1+x)^a \approx 1+ax$ ($|x|$ は 1 より十分小) を用いて、前問の結果を簡略化せよ。

問 6 受信できなくなったときの水平距離を $d = 2.4$ km，またアンテナの高さをそれぞれ、 $h = 20$ m， $H = 186$ m とするとき、電波の波長 λ はいくらか。有効数字 2 桁で答えよ。その際、解の個数とその理由を明記すること。なお、問 5 の結果を用いてよい。



☒