令和６年度
前期日程

物　　　理

教育学部・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。解答用紙については，医学部は解答用紙3枚，その他の学部は解答用紙4枚である。落丁，乱丁，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。教育学部・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：$\frac{1}{3}$，教・工・応生：$\frac{1}{4}$)

図の(a)のように質量の無視できるばねに直方体の容器をつなぎ天井からつり下げて静止させた。容器の質量はM〔kg〕で，容器の内側上面には大きさが無視できる質量m〔kg〕の小物体が固定されている。次に，小物体を容器から切り離したところ，小物体は落下し始め，図の(b)のように容器が上昇して速度が0になった瞬間に小物体は容器の内側下面に垂直に衝突した。小物体と容器の衝突は完全非弾性衝突，重力加速度の大きさをg〔m/s^2〕，ばね定数をk〔N/m〕とする。なお，容器は常に水平に保たれており，鉛直方向にのみ運動していた。

問 1　小物体を切り離す前のばねの自然長からの伸びを求めよ。

問 2　ばねに容器のみをつり下げて静止させた場合のばねの自然長からの伸びを求めよ。

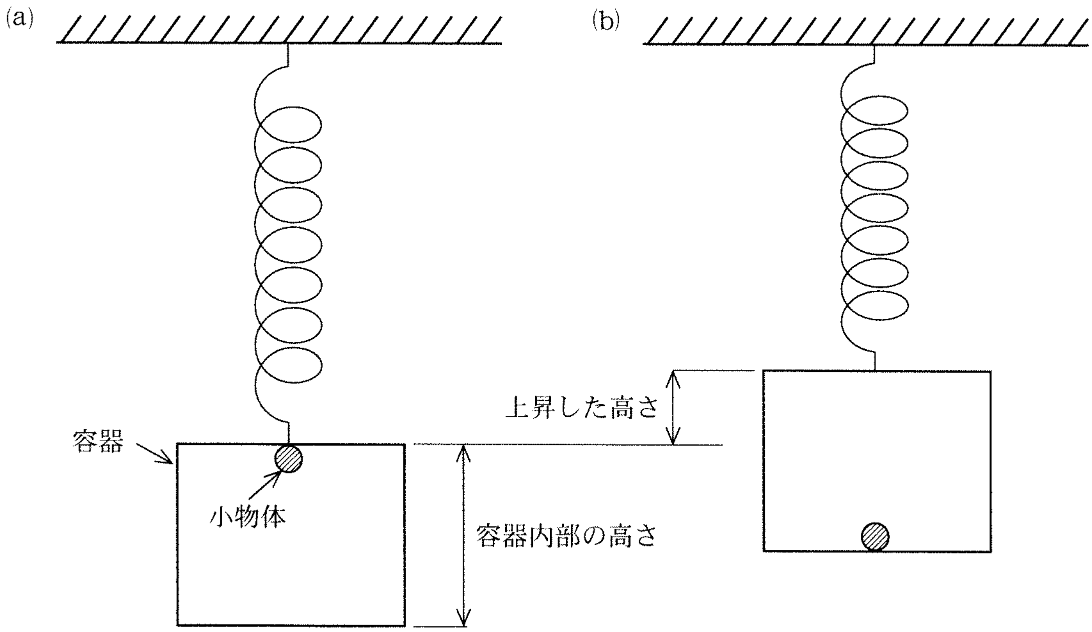
問 3　小物体を切り離し，容器が上昇し始めてから速度が0になるまでに容器が上昇した高さおよび小物体が落下し始めてから容器に衝突するまでの時間t〔s〕を求めよ。

以後，小物体が落下し始めてから容器に衝突するまでの時間はtとして用いよ。

問 4　容器内部の高さおよび小物体が容器に衝突した直後の容器と小物体の持つ運動エネルギーの和E〔J〕を求めよ。

問 5　小物体が容器に衝突した後に生じるばねの自然長からの伸びの最大値X〔m〕を求めよ。なお，小物体が容器に衝突した直後の容器と小物体の持つ運動エネルギーの和はEとして用いよ。

問 6　もし，小物体と容器の衝突が非弾性衝突(反発係数$e>0$)であった場合，小物体が容器に衝突した後に生じる容器の速さの最大値V〔m/s〕を求めよ。なお，容器の速さが最大になるまでに小物体と容器が再び衝突することはないものとする。



図

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

真空中に設置した図に示す装置において，質量 m〔kg〕，電気量 q〔C〕($q > 0$)の荷電粒子を，x-y 平面上に定めた領域Ｉ，Ⅱ，Ⅲで運動させる。荷電粒子の大きさ，重力の影響は無視できるものとする。

荷電粒子を x-y 平面上で x 軸に対して角度 θ〔rad〕($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$)，速さ v_0〔m/s〕で原点Oから領域Ｉに入射させる。領域Ｉには，y 軸の負方向に一様な強さ E_1〔N/C〕の電場が存在する。荷電粒子は領域Ｉを通過して，y 軸から x 軸の正方向に d〔m〕離れた点Ｐにおいて x 軸と平行に領域Ⅱに入射する。このとき，x 軸から点Ｐまでの距離を h〔m〕とする。

問 1　荷電粒子が原点Oから点Ｐに移動する間に，電場から受ける仕事 W〔J〕を求めよ。

問 2　h を，v_0，q，θ，m，E_1 のうち必要なものを用いて表せ。

問 3　d を，v_0，q，θ，m，E_1 を用いて表せ。d が θ のみの関数であるとき，そのグラフの概略を解答欄に示せ。なお，グラフの特徴的な点の値を横軸，縦軸上に記入すること。

領域Ⅱには紙面に垂直で裏から表の向きに磁束密度の大きさが B〔T〕の一様な磁場がかけられている。また，一様な強さ E_2〔N/C〕の電場も存在し，荷電粒子は磁場および電場中で受ける力により，点Ｐから点Ｑまで x 軸の正方向に直進し，速さ v_1〔m/s〕で領域Ⅲへ入射した。

問 4　荷電粒子が領域Ⅱ内で x 軸の正方向に等速直線運動するとき，電場の強さ E_2 を求めよ。ただし，v_1 を用いること。またその向きを答えよ。

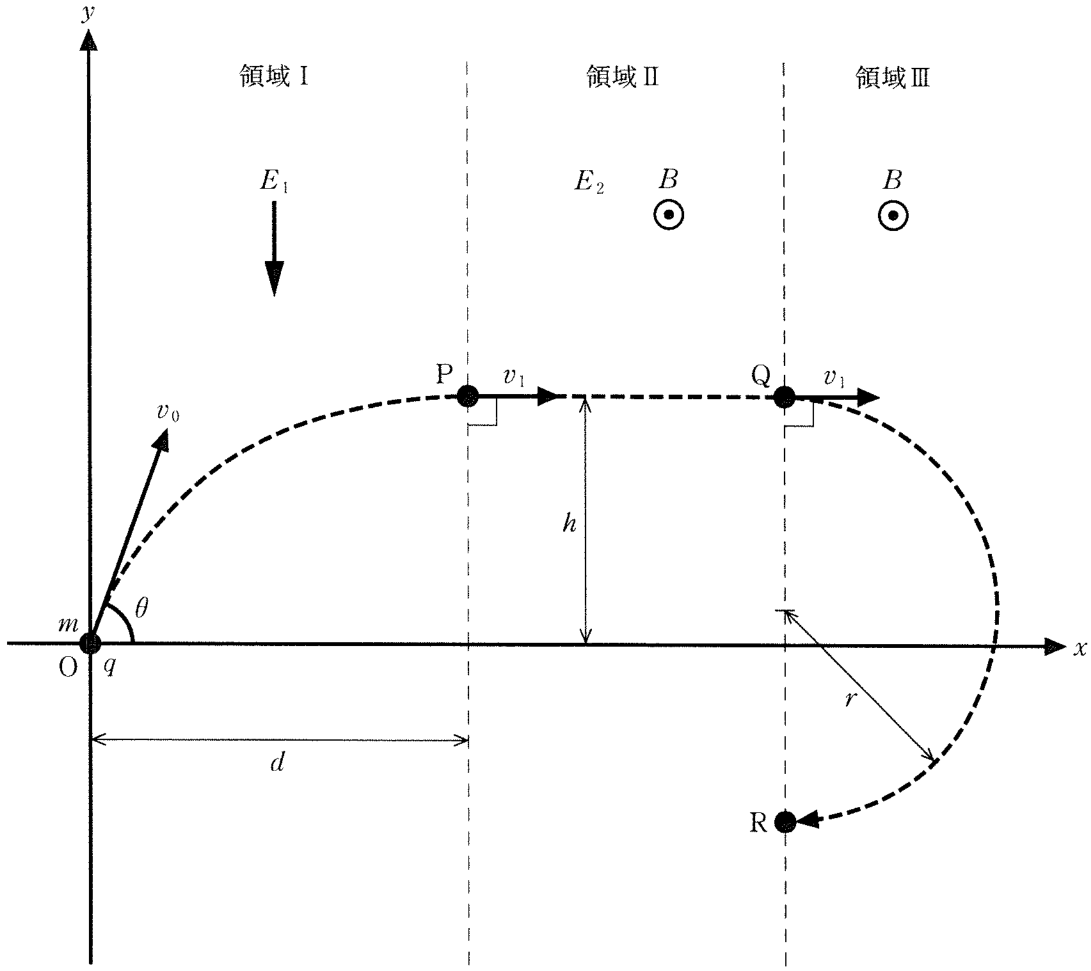
領域Ⅲには電場は存在せず，領域Ⅱと同じ大きさで同じ向きの一様な磁束密度のみが存在する。

問 5　領域Ⅲでは，荷電粒子は磁束密度 B の磁場中で力を受け，図に示されるような半径 r〔m〕の等速円運動をし，図中の点Ｒに到達した。r を，q，m，B，v_1 を用いて表せ。

問 6　荷電粒子が点Ｑから点Ｒまで到達するのに必要な時間 t〔s〕はいくらか。q，m，B を用いて表せ。

次に，領域Ⅱの電場を向きは変えずに強さを3倍にしたとき，荷電粒子の運動を考える。

問 7　領域Ⅱにおいて，荷電粒子の運動が点Pから点Qへの等速直線運動になるためには，磁束密度の向きと大きさはどのようにしたらよいか答えよ。またこのときの領域Ⅲでの運動の半径は，問5で得られた半径 r と比較してどのように変化するのか説明せよ。なお，領域Ⅲでの磁束密度の向きと大きさは領域Ⅱと同じである。



図

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

原子核の質量 M〔kg〕は，その原子核を構成する数の陽子(質量 m_p〔kg〕)および中性子(質量 m_n〔kg〕)の質量の総和よりも ΔM〔kg〕だけ小さい。これにより，原子核をより安定な状態に保つことができる。核融合や核分裂では，質量数 A が大きいあるいは小さい原子核に変化して，より安定な状態になることで，変化前後のエネルギー差が発生することになる。ΔM に対応するエネルギーを A で割ったエネルギーを核子1個あたりの結合エネルギーといい，図には $A(\geqq 55)$ での値を示してある。

問 1　原子核の質量数を A，陽子数を Z として，ΔM を M，A，Z，m_p，m_n で表せ。またこの ΔM を何というか。

問 2　${}^{235}_{92}\mathrm{U}$ は中性子1個との衝突で多くの場合に ${}^{235}_{92}\mathrm{U}$ より A が小さい2個の原子核に分裂する。その際，同時に2～3個の高速な中性子も放出する。分裂で放出された中性子が別の ${}^{235}_{92}\mathrm{U}$ 原子核に衝突すると，新たな分裂が起きる。このとき放出された高速な中性子を減速させてから別の ${}^{235}_{92}\mathrm{U}$ 原子核に衝突させれば，分裂が起こりやすくなる。

(1)　速さ v_0〔m/s〕の中性子が静止している原子核に正面衝突をし，一直線上の弾性衝突となった。この原子核の質量を，中性子の質量を目安として $M_x = (1 + x)m_n$〔kg〕(ただし $x > -1$)とする。衝突後の中性子の運動エネルギーを求め，m_n，x および v_0 で表せ。

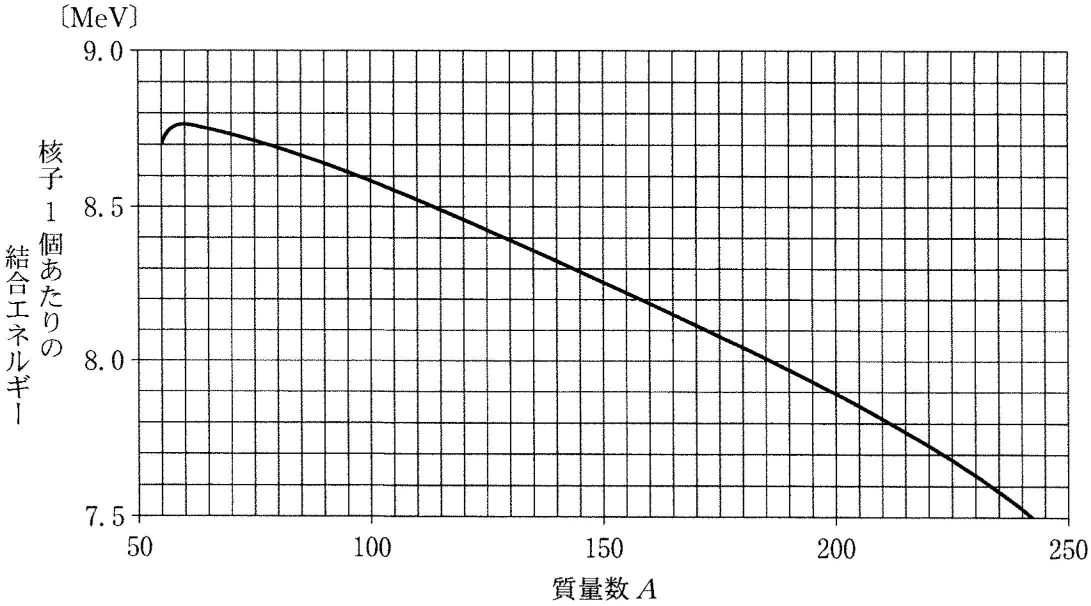
(2)　表中の原子核の中から，中性子の運動エネルギーをもっとも減少させる原子核名を答え，理由を述べよ。ただし中性子の質量エネルギーは 939.6 MeV である。

問 3　${}^{235}_{92}\mathrm{U}$ の Ba と Kr への核分裂を考える。

(1)　次式の a および b の数値を答えよ。

$${}^{235}_{92}\mathrm{U} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \longrightarrow {}^{a}_{56}\mathrm{Ba} + {}^{89}_{b}\mathrm{Kr} + 3{}^{1}_{0}\mathrm{n} \qquad ①$$

(2)　1個の ${}^{235}_{92}\mathrm{U}$ の核分裂反応①で生成されるエネルギーは何 MeV か。図から結合エネルギーを読み取って求めよ。結果は有効数字2桁で示せ。



図

表

原子核名	水素	重水素	ヘリウム	炭素
質量エネルギー〔MeV〕	938.3	1875.6	3727.4	11175

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

図1のように，管内にピストンを備えたガラス管が水平に置かれている。まず，発振器をスピーカーにつないでこれを音源とし，このガラス管中の気柱の共鳴実験を行った。共鳴時の開口端での腹の位置は管口Oより少し外側にずれている。このずれを開口端補正という。以下の問1および問2ではこの開口端補正を無視する。なお，すべての実験を1気圧のもとで行っている。

問1　ピストンをOからL〔m〕離れた位置で静止させたうえで，O付近において発振器の振動数を0 Hzから徐々に上げながらスピーカーを鳴らしたところ，振動数f_0〔Hz〕で最初の共鳴が生じた。空気中の音速V〔m/s〕をf_0，Lを用いて表せ。また，次の共鳴は振動数f_1〔Hz〕($f_1 > f_0$)で生じた。このときの振動数f_1をf_0を用いて表せ。

問2　ピストンを問1の位置のまま固定したうえで図2のように，管の中心軸上でOから少し離れた場所において振動数f'〔Hz〕($f_0 < f' < f_1$)のおんさを鳴らしたところ共鳴は生じなかった。一方，このおんさを一定の速さでOに近づけていったところ共鳴が生じた。共鳴条件を満たすときの，おんさの速さの最小値v〔m/s〕をV，f_1，f'を用いて表せ。なお，おんさの速さは音速よりも遅いものとする。

次に，音源を振動数未知のおんさAとBに代え，以下の(1)〜(4)の実験を行った。なお，(1)〜(3)は問1および問2と同じ気温において行った。

(1)　図3のように，O付近においておんさAを鳴らしておき，ピストンをOから徐々に遠ざけたところ，Oから距離L_1〔m〕の位置で1度目の共鳴が生じ，距離L_2〔m〕の位置で2度目の共鳴が生じた。

(2)　(1)の実験をおんさBに代えて行った。おんさBの2度目の共鳴が生じた位置は，おんさAの2度目の共鳴が生じた位置よりもd〔m〕だけOから遠方へ移った。

(3)　おんさAとBを同時に鳴らしたところ，毎秒n回のうなりが生じた。

(4)　気温がΔT〔℃〕上昇した際に(1)と同様の実験を行ったところ，1度目および2度目の共鳴の生じた位置は，(2)において共鳴の生じた位置と一致した。

以下の問いでは，開口端補正を考慮せよ。なお，開口端補正は音の振動数および気温に依存しないものとする。

問3　(1)において，おんさAの発する音の波長λ_A〔m〕をL_1，L_2を用いて表せ。

問 4　(2)において，おんさ B の発する音の波長 λ_{B}〔m〕を d，λ_{A} を用いて表せ。

問 5　(1)〜(3)の結果をもとに，n を V，d，λ_{A} を用いて表せ。

問 6　(4)において，空気中の音速の変化量 ΔV〔m/s〕は気温の変化量 ΔT〔℃〕および比例係数 α〔m/(s･℃)〕を用いて $\Delta V = \alpha \Delta T$ のように表せるものとする。α を V，λ_{A}，λ_{B}，ΔT を用いて表せ。

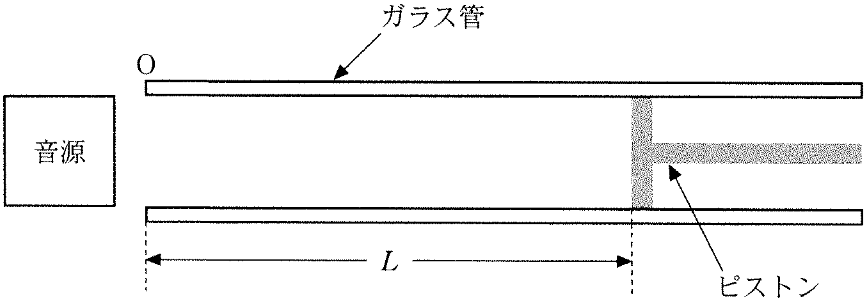


図 1

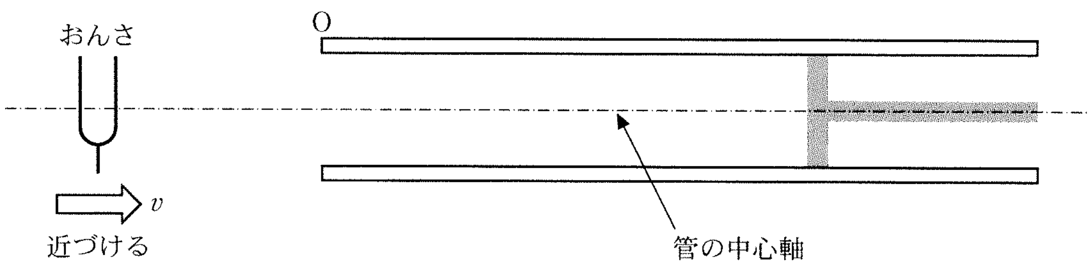


図 2

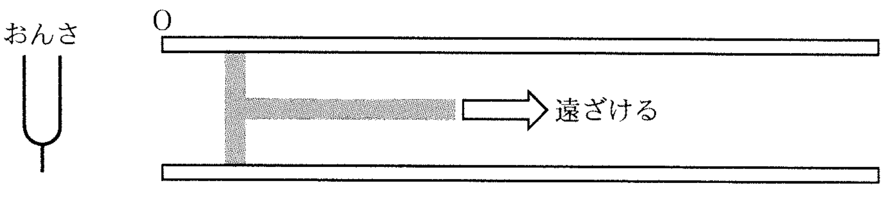


図 3