

2025年度

慶應義塾大学入学試験問題

医 学 部

理 科

注意事項

1. 受験番号と氏名は解答用紙の所定の記入欄にそれぞれ記入してください。
2. 受験番号は各科目ごとに2か所の所定欄の枠の中に1字1字記入してください。
3. 解答は、必ず解答用紙の所定の欄に記入してください。
4. この問題冊子の余白および2, 3ページは計算および下書きに自由に用いてください。
5. この問題冊子の総ページ数は32ページです。試験開始の合図とともにすべてのページが揃っているかどうか確認してください。ページの脱落や重複があったら直ちに監督者に申し出てください。
6. この問題冊子は、試験終了後に持ち帰ってください。

—— 下書き計算用 ——

計算用紙

—— 下書き計算用 ——

物 理

解答は解答用紙の所定の欄に記入すること。

I

問1 図1のように水平右向きに x 軸を、鉛直上向きに y 軸をとり、原点 O から x 軸に対して角度 θ ($0 < \theta < 90^\circ$) の方向に質量 m の小球を速さ v_0 で打ち出す。重力加速度は鉛直下向きで大きさを g とし、小球と床との間の鉛直方向の

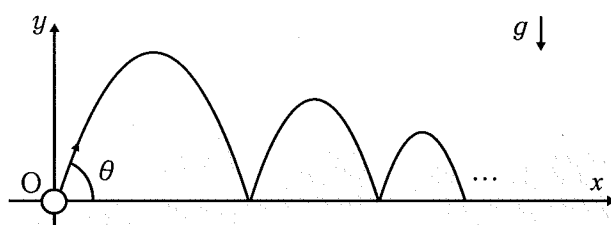


図1

反発係数を e とする ($0 < e < 1$)。空気抵抗は無視する。小球を打ち出す時刻を $t = 0$ 、 n 回目に床に衝突する時刻を t_n (n は正の整数)、 n 回目の衝突直後の小球の速度を $\vec{v}_n = (v_{nx}, v_{ny})$ とする。必要なら以下の公式を用いよ。

$$1 + e + e^2 + \cdots + e^{n-1} = \frac{1 - e^n}{1 - e}$$

および、

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 - e^n}{1 - e} = \frac{1}{1 - e}$$

(a) 小球を打ち出してから最初に床に衝突するまでに、小球が水平方向に最も遠くまで進む角度 θ を答えよ。

(b) t_1 と $\vec{v}_1$ を m, v_0, θ, g, e のうち必要なものを用いて答えよ。

(c) t_n と $\vec{v}_n$ を m, v_0, θ, g, e, n のうち必要なものを用いて答えよ。

(d) 小球を打ち出してから n が無限大のときの衝突時刻 $t_{n \rightarrow \infty}$ までに、小球が水平方向に進む距離を m, v_0, θ, g, e のうち必要なものを用いて答えよ。

問2 (e) 放射能の強さを表す単位であるベクレル [Bq]、人体などが受ける放射線の量 (吸収線量) を表す単位であるグレイ [Gy] について、それぞれの定義を簡潔に述べよ。

(f) 放射線の人体への影響の評価には、放射能の強さ (単位は Bq) や吸収線量 (単位は Gy) ではなく、等価線量 (単位は Sv) や実効線量 (単位は Sv) が用いられる理由を簡潔に述べよ。

II

真空および空気の透磁率を μ_0 とし、数値で答える場合には $\mu_0 = 1.3 \times 10^{-6} \text{ N/A}^2$ を用いよ。地磁気は 24 A/m 程度（東京）であるが、ゼロとして考慮せずに答えよ。 t を時間、 $f(t)$ を時間の関数とするとき、微小時間 Δt の間の $f(t)$ の微小変化を $\Delta f(t)$ のように表記する。 ω を角周波数とし、必要なら以下を用いよ。

$$\frac{\Delta \sin \omega t}{\Delta t} = \omega \cos \omega t, \quad \frac{\Delta \sin^2 \omega t}{\Delta t} = \omega \sin 2\omega t, \quad \frac{\Delta \sin^3 \omega t}{\Delta t} = 3\omega \cos \omega t \sin^2 \omega t$$

問1 (a) 以下の①～⑥の物質を常磁性体、強磁性体、反磁性体に分類し、番号で答えよ。

① 鉄 ② 銅 ③ アルミニウム ④ コバルトおよびニッケル ⑤ 水 ⑥ 空気

(b) 磁気量の単位を、国際単位系 (SI) の基本単位のうち、kg, m, A, sを用いて答えよ。

(c) 円筒の半径 r と比較して円筒の長さ L が十分に長いソレノイドの単位長さあたりの巻き数を n 、ソレノイドを流れる電流の大きさを I とする。ソレノイド内部（両端付近を除く）における磁場の強さを、 r, L, n, I のうち必要なものを用いて答えよ。

(d) 巻き数 N のコイルを貫く磁束を $\Phi(t)$ とする。このコイルに電磁誘導により生じる誘導起電力の大きさを $N, \Phi(t), \Delta \Phi(t), t, \Delta t$ のうち必要なものを用いて答えよ。

生命活動に伴い人間の心臓周囲に生じる磁場の大きさは 10^{-6} A/m 程度である。体外でこの磁場を計測する装置を考えよう。導体や半導体を流れる電流に対して垂直に磁場をかけると、電流と磁場の両方に垂直な方向に起電力が生じる。この現象を「ア」というが、感度が悪くこの用途には使用できない。ここでは、コイルを回転させる（問3）、または強磁性体の磁化特性を利用する（問4）計測方法について考察する。以後、計測対象の磁場を H_0 とし、その大きさと向きは時間変化せず空間的に均一であるとする。数値で答える場合には $H_0 = 1.0 \times 10^{-6} \text{ A/m}$ を用いよ。

問2 (e) 「ア」にあてはまる適切な語句を答えよ。

以下では、各方式における計測条件と H_0 を検出する際の信号電圧の関係を求める。

問3 コイルを回転させる磁場計測法の解析。

- (f) 図1のような辺の長さ h の1回巻き正方形コイルを、一様な静磁場 H_0 中で、磁場と直交する方向にコイルの回転軸をとり、周波数 f で回転させたときの誘導起電力（端子Yを基準とした端子Xの電圧） V_{XY} の大きさ $|V_{XY}|$ を μ_0 , h , H_0 , f , t を用いて答えよ。ただし、磁場

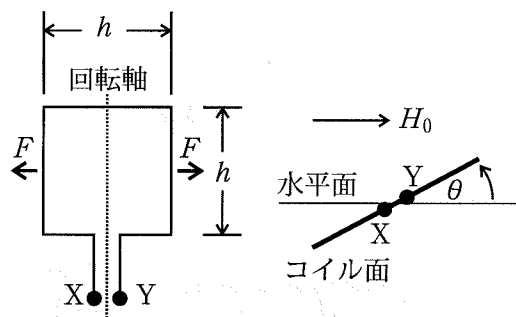


図1

図2

とコイル面の成す角 θ は $t = 0$ において $\theta = 0$ であるとする。参考までに、図1のXY端子方向から回転軸に垂直な面を見たコイルを図2に示す。

- (g) $h = 0.10 \text{ m}$ のとき、 V_{XY} の実効値が 1.0 nV となる f を有効数字1桁で答えよ。 1.0 nV は現実的な計測で測定可能な最小電圧の目安である。
- (h) コイルを成す導線の一边 ($h = 0.10 \text{ m}$) あたりの質量を 0.010 g とする。 V_{XY} の実効値が 1.0 nV のとき、回転軸と平行な2つの辺それぞれに作用する遠心力の大きさ (図1の F) を有効数字1桁で答えよ。
- (i) この計測方法による心臓近辺の磁場計測の実現可能性について考察せよ。

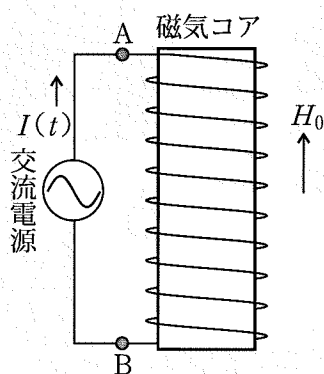


図3

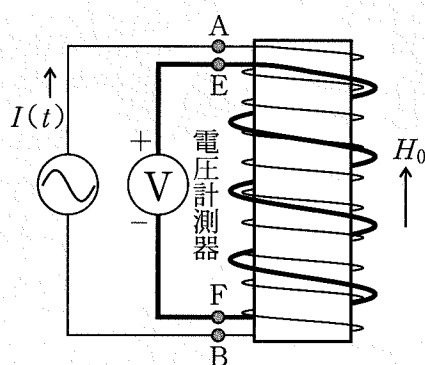


図4(a)

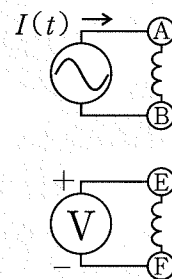


図4(b)

問4 強磁性体の磁化特性を利用する磁場計測法の解析。

以下では、強磁性体内部の磁場 H と磁束密度 B の関係として、 $B = aH - bH^3$ を仮定する (ただし $a > 0$, $b > 0$)。この強磁性体を十分に細長い円柱 (底面積 S , 長さ L) に加工し (磁気コアと呼ぶ)、磁気コアの周囲にコイルを単位長さあたり n 回巻いてソレノイドを作成する。このソレノイドを計測対象磁場 H_0 と平行に置き、ソレノイドに電流を流す (図3)。電流により磁気コア内に生じる磁場 (H_{cur}) は問1(c) で生じる磁場と同じであるが、計測対象磁場 H_0 が加わるので、ソレノイド内の磁場は、図3の H_0 と同じ方向に、 $H_0 + H_{\text{cur}}$ となる。 ω を角周波数とし、ソレノイドに流す交流電流を $I(t) = I_0 \sin \omega t$, H_{cur} を $H_{\text{cur}} = H_1 \sin \omega t$ とおく。

(j) H_1 を I_0 , n , S , L , ω , t の中から必要なものを用いて答えよ。

(k) 図3のコイルの上から別なコイルを N 回巻き (N は全体の巻き数), 図4(a)のように電圧計測器 (内部抵抗は十分に大きい) を接続する。このとき N 回巻きコイルに電磁誘導により生じる誘導起電力 (端子 F を基準とした端子 E の電圧) V_{EF} の大きさ $|V_{EF}|$ は,

$$|V_{EF}| = \left| \boxed{\text{イ}} \sin(2\omega t) + \cos(\omega t) \left\{ \boxed{\text{ウ}} \sin^2(\omega t) + \boxed{\text{エ}} \right\} \right|$$

となる。 $\boxed{\text{イ}}$, $\boxed{\text{ウ}}$, $\boxed{\text{エ}}$ にあてはまる適切な式を, a , b , H_0 , H_1 , N , S , L , ω のうち必要なものを用いて答えよ。

(l) H_0 を計測するためには V_{EF} の中で H_0 に比例しない項 (不要信号) を消去する必要がある。図5のように図4(a)で用いた磁気コアおよびコイルからなる検出器2組を相互に磁氣的に結合しないようにして (異なる検出器のコイル間の相互インダクタンスが無視できる), 計測対象の磁場 H_0 と平行に置く。これらのコイルを交流電源 (解答欄の矢印の向きを正として電流 $I(t) = I_0 \sin \omega t$ が流れる) と電圧計測器に適切に接続すると, H_0 に比例した信号電圧を損なうことなく不要信号の除去ができる。解答欄の結線図は一部分結線してあるので不足部分を補うようにして適切な結線を描け。ただし, 配線が交差しないように描くこと。結線図の例として, 図4(a)は図4(b)のようになる。

(m) (l) において, 不要信号の消去後における電圧計測器の電圧の実効値を a , b , H_0 , H_1 , N , S , L , ω のうち必要なものを用いて答えよ。

(n) $H_1^2 = \frac{a}{3b}$ のとき, (m) で答えた実効値を有効数字1桁で答えよ。ただし, $\omega = 1.0 \times 10^5 \text{ rad/s}$, $N = 100$, $a = 1.0 \times 10^4 \mu_0$, $S = 1.0 \times 10^{-8} \text{ m}^2$ とする。

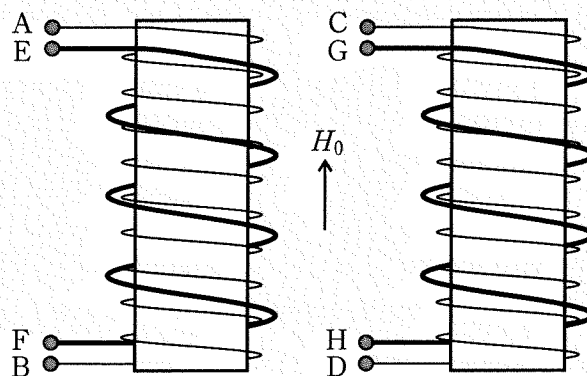


図5

図5 端子を A, B としたコイルおよび端子を C, D としたコイルは図4(a)で交流電源に接続されているコイルと同じ, 端子を E, F としたコイルおよび端子を G, H としたコイルは図4(a)で電圧計測器に接続されているコイルと同じである。

III

気体定数を R とし、数値で答える場合には $R = 8.3 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ を用いて以下の問に答えよ。

問1 水を入れて長時間一定温度を保った密閉容器内において液体の水と水蒸気が共存している場合、液体から気体に飛び出す水分子の数と気体から液体に戻る水分子の数が拮抗しており、これを気液平衡と言う。気液平衡にある水蒸気の圧力を飽和水蒸気圧と言い、図1に示すように温度によって定まる。容器内の水蒸気の圧力が飽和水蒸気圧より低い場合、液体の水は存在せず、全て水蒸気になる。水蒸気は理想気体の状態方程式に従うものとし、液体の水の体積は無視する。

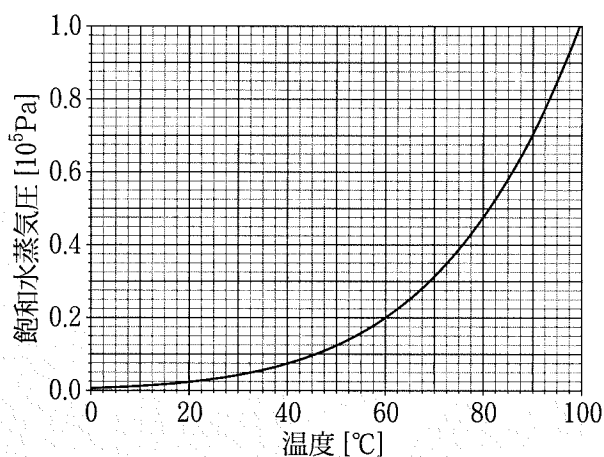


図1 飽和水蒸気圧の温度依存性。

物質量が $1.0 \times 10^{-4} \text{ mol}$ の水を体積 10 cm^3 の密閉容器に入れた。

(a) 温度を 80°C として十分待った後の水蒸気の圧力と物質量を有効数字2桁で答えよ。

(b) 温度を 40°C として十分待った後の水蒸気の圧力と物質量を有効数字2桁で答えよ。

問2 理想気体の断熱変化において、圧力 p と体積 V との間にはポワソンの法則 ($pV^\gamma = \text{一定}$) が成り立つ。ここで、 γ は比熱比である。ポワソンの法則は圧力 p と温度 T との間の関係式 ($p^A T^\gamma = \text{一定}$) としても表せる。これを用いると、理想気体が圧力 p 、温度 T の状態から圧力 $p + \Delta p$ 、温度 $T + \Delta T$ の状態に微小な断熱変化をする場合、 Δp と ΔT が微小量であるとして微小量の2次以上の項を全て無視すると、 $\Delta T = B \frac{T}{p} \Delta p$ の関係が成り立つ。

(c) A, B にあてはまる適切な式を γ を用いて答えよ。必要なら、 γ を実数として、 x の大きさが1と比較して十分に小さいときに成立する関係式 $(1+x)^\gamma \doteq 1 + \gamma x$ を用いよ。

問3 大気圧の高度変化と空気塊の上昇に伴う温度変化に関する以下の問に答えよ。

大気および空気は平均分子量 M の理想気体として扱えるものとする。鉛直上向きを正として高度 h を定義し、高度 h における大気の圧力、温度、密度をそれぞれ p 、 T 、 ρ とする。重力加速度は鉛直下向きで大きさを g とする。

大気圧の高度変化を計算する。図2に示すように、大気中に薄く(厚さは微小量 Δh)、水平方向に広がる仮想大気層を考える。高度 h における大気圧を p 、高度 $h + \Delta h$ における大気圧を $p + \Delta p$ とする。静止している大気では、仮想大気層に作用する圧力と重力の合力はゼロである。このことを用いると、 $\Delta p = -C\Delta h$ と表すことができる。ここで、仮想大気層内の密度は高度とともに変化するが、 Δh 内での変化は微小で無視でき、 Δh 内で密度は一定値 ρ であるとする。

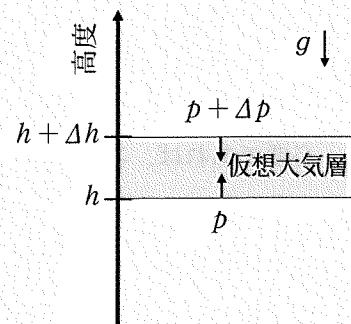


図2

(d) C を g 、 ρ を用いて答えよ。

(e) 理想気体の状態方程式を用いて書き換えることで、 C を M 、 p 、 T 、 g 、 R を用いて答えよ。

風などの影響で大気中を高度 h から $h + \Delta h$ までゆっくりと上昇する空気塊の上昇に伴う温度変化を計算する。図3に示すように、上昇前に高度 h にある空気塊の圧力 p と温度 T は周囲の大気と等しい。空気塊が高度 $h + \Delta h$ まで上昇した結果、空気塊の圧力は $p + \Delta p$ 、温度は $T + \Delta T$ になったとする。上昇は十分ゆっくりとし、空気塊の圧力は常に同じ高度の大気圧と等しいとみなす。一方、温度については、空気は熱を伝えにくいので上昇する過程は断熱変化とみなすことができ、問2の関係式が成立する。

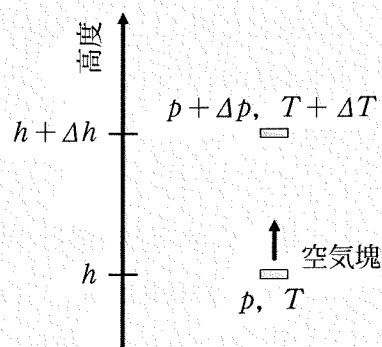


図3

(f) 空気塊がゆっくりと Δh 上昇するときの温度変化 ΔT を $\Delta T = -D\Delta h$ と表す。 D を M 、 g 、 R 、 B を用いて答えよ。

(g) $B = 0.29$ 、 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 、 $M = 29$ 、 $\Delta h = 1.0 \times 10^2 \text{ m}$ のとき、 ΔT を有効数字2桁で答えよ。

上記(f)では大気中をゆっくりと上昇する空気塊の温度変化を計算した。一方で、大気温度も高度に依存して変わる。その高度依存性は太陽光による加熱や地球の熱放射など様々な要因によって決まるため、高度 h と $h + \Delta h$ の大気間の温度差 $\overline{\Delta T}$ は(f)の ΔT と一般に異なる。

(h) 風などの影響で大気中を高度 h から $h + \Delta h$ までゆっくりと上昇した空気塊が、その後自重により元の高度に向かって下降するためには、高度 $h + \Delta h$ で空気塊に働く大気の圧力と重力の合力が下向きでなければならない。この合力が下向きになるために、 ΔT と $\overline{\Delta T}$ の間に成り立つべき大小関係を導出の過程を説明して答えよ。

以下では、空気塊が水蒸気を含む場合を考える。ただし、水蒸気の有無に関わらず平均分子量は大気も空気塊も M とみなす。

(i) 空気塊がゆっくりと Δh 上昇する際に水蒸気の一部が液体の水になる(水滴が生じる)場合と、水滴が生じない場合について、両者の D の大小関係を理由をつけて答えよ。

