令和５年度入学者選抜学力検査問題
〈前期日程〉

理　　　　科

（医学部　医学科）

科　　　　　目	頁　　　　　数
物理基礎・物理	2 頁 ～ 13 頁
化学基礎・化学	14 頁 ～ 21 頁
生物基礎・生物	22 頁 ～ 31 頁

注 意 事 項 Ⅰ

この冊子には物理，化学，生物の問題がのっている。そこから２科目を選択し，解答すること。

注 意 事 項 Ⅱ

1　試験開始の合図があるまでこの問題冊子を開いてはいけない。

2　試験開始の合図のあとで問題冊子の頁数を確認すること。

3　解答にかかる前に必ず受験番号を解答用紙に記入すること。

4　解答は必ず解答用紙の所定の欄に記入すること。
　所定の欄以外に記入したものは無効である。

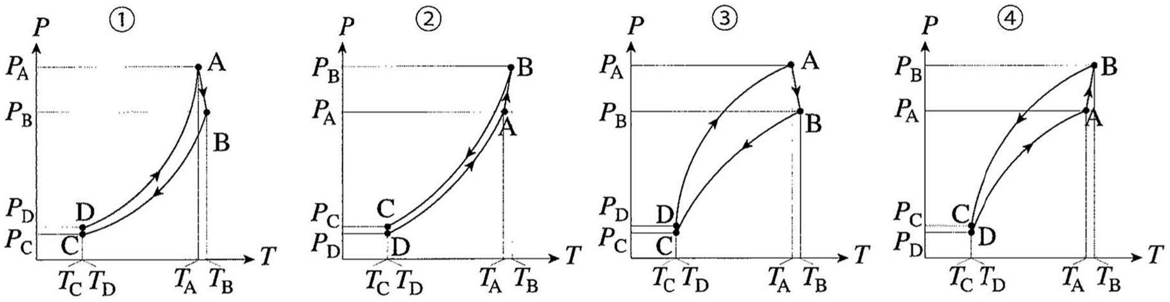
5　問題冊子は持ち帰ってよい。

（この頁は空白）

物理基礎・物理

1 **図1**は台風の概要を表しており，海面での台風の中心を原点とし，横軸は台風の中心からの距離，縦軸は海面からの高さを表している。図中の A, B, C, D は位置（高さ，中心からの距離）を表すとともに，その位置での状態（圧力, 温度）を表す。台風を**図2**のような熱機関と考える簡単なモデルを用いて，A→B→C→D→A を循環する[1] 空気と空気に含まれる水蒸気について考える。空気は，台風内部の A から[2]，より中心に近い B へと移動し，B→C へと上昇して温度が下がり，水蒸気が液化し，その後，雨となり落下する。C→D では乾燥した空気が中心部から周辺部に移動し，D→A では空気の温度が上昇するとともに水蒸気の量が増加する。海面付近の空気の密度を $\rho = 1.0\ \mathrm{kg/m^3}$，水 1 kg あたりの蒸発熱を $L = 2.3 \times 10^6\ \mathrm{J/kg}$ とする。また，高さによる重力の変化は無視できるものとし，重力加速度の大きさを $g = 9.8\ \mathrm{m/s^2}$ として，以下の問いに答えよ。

問1 A→B→C→D→A の状態変化を温度 T と圧力 P のグラフに表すとどのようになるか。簡単のために，B→C および D→A は水蒸気の量の変化は関与しない断熱過程とし，理想気体の状態方程式も成立しているとする。下の図から最も適切なものを選び，①～④の番号で答え，理由を述べよ。なお，T_A, T_B, T_C, T_D はそれぞれの状態の温度，P_A, P_B, P_C, P_D はそれぞれの状態の圧力を表している。なお，すべての温度の単位を〔K〕，すべての圧力の単位を〔Pa〕とする。



問2 台風の中心部の圧力は，台風の外側の圧力より小さくなっている。このことについて，

- **図1**に示したように，十分に高い場所 (高さ H〔m〕) では，中心からの距離によらず，圧力は一定である。
- 同じ高さにおいて「台風中心部の空気の密度」は「台風の外側の空気の密度」より小さい。

を前提として説明せよ。

[1]台風の中心部には「眼（目）」と呼ばれる風が穏やかな領域があるが，台風を循環する空気は「眼」の外側で上昇するので「眼」の影響は考えなくてよい。また，台風の風は地球の自転による影響で「渦」を巻いているが，設問においては「渦」について考えなくてよい。

[2]A は台風内部の風速が大きな場所を考えている。

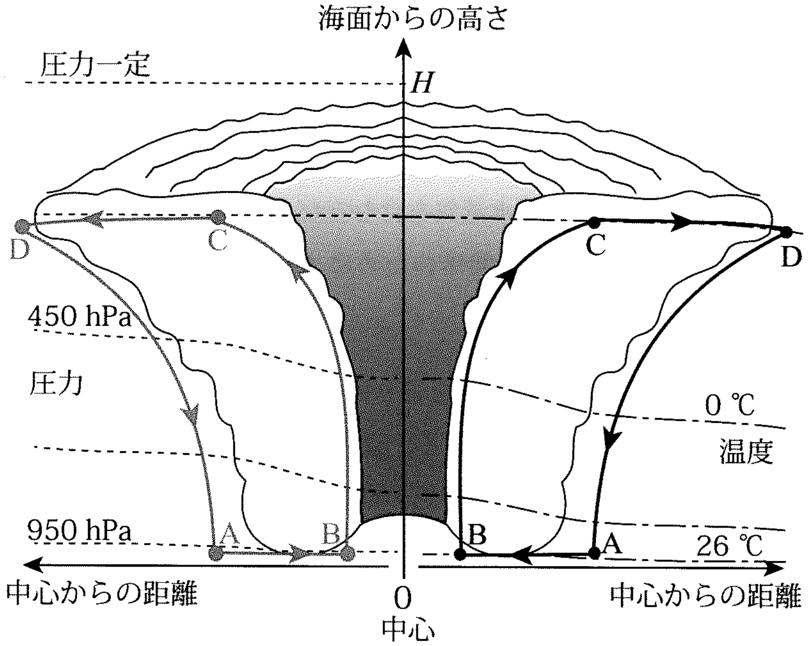


図 1 台風の概要

図は台風の断面を表しており, 断面に座標軸を設定している。横軸は台風の中心からの距離, 縦軸は海面からの高さで, 右半分の—·— は等温線で, 左半分の------ は等圧線を表している。高さ H の圧力は一定とする。

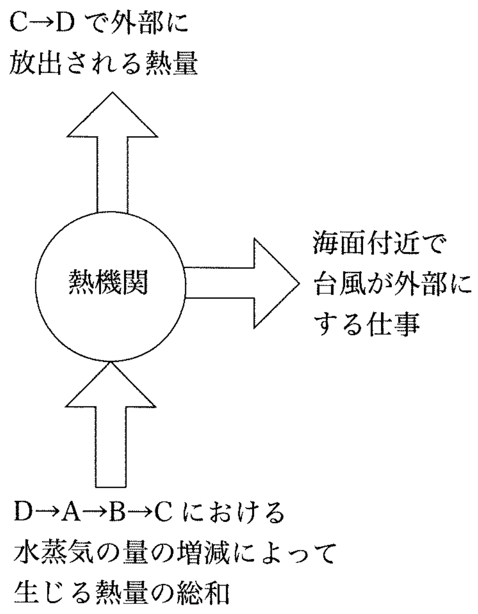


図 2 熱機関としての台風

空気に含まれる水蒸気の割合を

$$\omega = \frac{\text{水蒸気の質量〔kg〕}}{\text{水蒸気を含む空気の質量〔kg〕}}$$

で表す。ω には上限（水蒸気が飽和）があり，上限の値は温度 T〔K〕と圧力 P〔Pa〕によって変化する。水蒸気の量は小さな値なので，「水蒸気を含む空気の質量」は「乾燥した空気の質量」と同じであると考えてよい。また，以下では，簡単のために A→B における温度と圧力は一定であるとする。

図 3 は海面付近を進む空気の流れ (A→B) を表しており，海面付近の領域と接する長方形の底面（面積 S〔m^2〕）で高さ z〔m〕の直方体を考える。直方体の空気が A→B を通過するときに抵抗力を受け，同時に，直方体の空気の一部が海面付近の空気と交換される。海面付近の領域では水蒸気が飽和しており，ここでの水蒸気の割合を ω_S と表す。一方 A を通過する空気は，海面から離れた領域から供給されており，水蒸気は飽和しておらず，その割合を $\omega_A (< \omega_S)$ であるとする。

直方体の空気に働く抵抗力の大きさ f〔N〕は，海面付近の領域と接触する面積 S，空気の流れの速さ v〔m/s〕の 2 乗，空気の密度 ρ〔kg/m^3〕に比例することが知られており

$$f = \alpha\rho S v^2 \tag{1}$$

となるものとする。ここで，a)$\underline{\alpha\ \text{は単位を持たない比例定数である}\ (\alpha > 0)}$。直方体の空気が A を速さ v_A〔m/s〕で通過し，B での速さが v_B〔m/s〕になったとする。簡単のために，直方体の空気が A→B を平均の速さ $\bar{v} = \frac{1}{2}(v_A + v_B)$〔m/s〕で移動し，その移動にかかる時間を t〔s〕とする。このとき，抵抗力がする仕事の大きさ W〔J〕は，

$$W = \alpha\rho S t \bar{v}^3 \tag{2}$$

となる。

問 3 A→B を直方体の空気が一定の速さ $\bar{v}$ で移動するとして，式 (1) を用いて式 (2) を導出せよ。

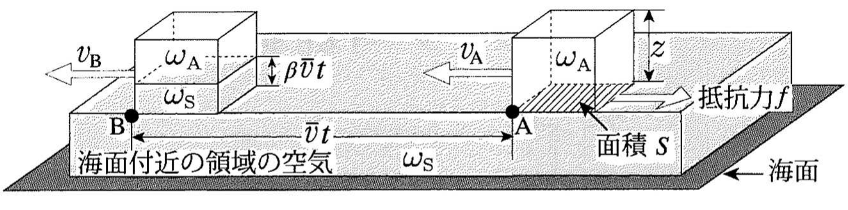


図 3 海面付近での空気の変化

体積 zS の空気が平均の速さ $\bar{v}$ で海面と平行に進む（**問 3**）。

A を通過するときの水蒸気の割合は ω_A で，B を通過するとき体積 $\beta\bar{v}tS$ ($z > \beta\bar{v}t$) の空気が飽和状態 (ω_S) になるとする。海面付近の領域の空気は，海から水蒸気が供給され，常に飽和状態であるとする（**問 5**）。

直方体の空気が A から B へと進む間に,「A を通過する空気」と「海面付近の領域の空気」が交換される。Δt 秒間に交換される空気の体積 ΔV〔m^3〕は, A→B における空気の平均の速さ $\bar{v}$ と海面付近の領域との接触面積 S に比例して,

$$\Delta V = \beta \bar{v} S \Delta t \tag{3}$$

であるとする。ここで, b) <u>β は単位を持たない比例定数である ($\beta > 0$)。</u>このため, **図 3** に示したように, 直方体の空気が A→B に移動する間に, 体積 $\beta \bar{v} S t$ の空気が, A を通過した空気 (水蒸気の割合 ω_A) と海面付近の領域の空気 (水蒸気の割合 ω_S) との間で交換されることになる。

A→B を進んだ体積 zS の空気が B→C→D→A へと進むと, **表 1** および **図 4** のように空気に含まれる水蒸気が変化する。A→B を体積 zS の空気が進み, 海面付近の領域から水蒸気が移動したのち, c) <u>B→C→D→A を進む間に, 水蒸気の質量は $M = \rho\beta\bar{v}St(\omega_S - \omega_A)$〔kg〕だけ減少する。このため, 台風は熱エネルギー $Q = LM$〔J〕を獲得する。</u>ここで, L は水の蒸発熱で, ρ は空気の密度である。

台風は外部に仕事をする。この仕事は, 抵抗力がする仕事 W と同じ大きさであるとする。台風を熱機関と考えると, その熱機関の効率 e は

$$e = \frac{W}{Q} \tag{4}$$

と表すことができる。

表 1 循環する空気の水蒸気の割合
図 3 および **図 4** を参照のこと

A	B	C	D
ω_A	ω_S と ω_A の混合	0	0

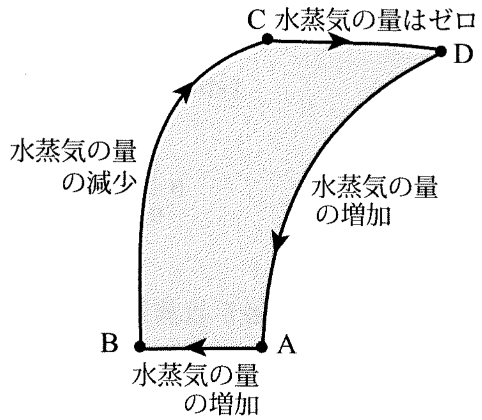


図 4 熱機関の状態変化

問 4 下線部 a) および b) について, 式 (2) と (3) の両辺の単位を比較して, 比例定数 α および β が単位を持たないことを示せ。

問 5 B→C→D→A について水蒸気の量の変化を考えて, 下線部 c) のようになることを説明せよ。なお, C→D において空気は乾燥しており, 水蒸気を含まないものとする。

問 6 式 (2) と (4) を用いて, 風速 $\bar{v}$ を $\alpha, \beta, e, L, \omega_S, \omega_A$ で表せ。

問 7 A→B において圧力が 950 hPa で, A を通過する空気の水蒸気の割合は $\omega_A = 1.6 \times 10^{-2}$ であるとする。A→B の温度が 26 °C の場合, A→B の平均の風速 $\bar{v}$ が 50 m/s であることが知られているとする。A→B の温度が 30 °C となった場合, A→B の平均の風速 $\bar{v}$ を下の選択肢から選び, ①〜⑤の番号で答え, 理由を述べよ。

なお, 26 °C から 30 °C の温度変化について, α, β, L, e の値および A を通過した空気の水蒸気の割合 ω_A は同じ値で, 水蒸気の割合の上限 ω_S だけが変化すると考えてよいものとする。**図 5** から ω_S の値を読み取り, その数値も記載すること。

① $35\ \text{m/s} < \bar{v} \leqq 45\ \text{m/s}$　② $45\ \text{m/s} < \bar{v} \leqq 55\ \text{m/s}$　③ $55\ \text{m/s} < \bar{v} \leqq 65\ \text{m/s}$

④ $65\ \text{m/s} < \bar{v} \leqq 75\ \text{m/s}$　⑤ $75\ \text{m/s} < \bar{v} \leqq 85\ \text{m/s}$

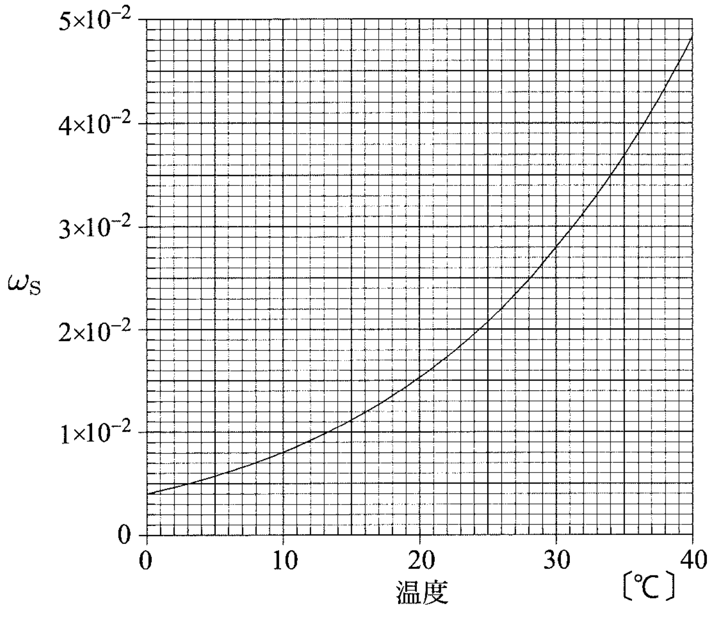


図 5 水蒸気の割合の上限 ω_S の温度変化（圧力 950 hPa の場合）

（このページは空白）

2 以下は,「I. 実験」,「II. 2つの点電荷」,「III. 静電気現象の定理」の3つの項目からなり, それらの関連を議論する。

I. 実験

xy 平面(水平面)に対して鉛直方向上向きに z 軸をとった原点を O とする xyz 空間を考える。重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とする。この空間に設置した **図6**のような装置について考える。質量 m〔kg〕の小さな導体球(以降, 導体球 A)が xyz 空間に固定された点 H から軽くて伸び縮みせず帯電しないひもによってつるされている。点 H から導体球 A までの長さを L〔m〕とする。導体球 A は, 電荷を蓄えることができる質点(質量はあるが大きさの無視できる小さな点)として取り扱うこととし, 導体球 A がもつ電荷の分布については考えないこととする。導体球 A の横には, 接地された無限に広い金属板(以降, 金属板 G)が導体球 A の存在する側の面(以降, この面を「表面」とし, 反対側の面を「裏面」とする。)と yz 平面が一致するように固定されている。導体球 A が最下点にある位置から金属板 G の表面に向かっておろした垂線の長さは d〔m〕$(d > L)$ で, この垂線と表面との交点が原点 O と一致している。接地された金属板 G の裏面より x 軸の負の方向の空間には何も存在しないものとする。

帯電しておらず最下点で静止している導体球 A と金属板 G の間に, 十分に細い導線を用いて電圧が可変な直流電源を接続する。導体球 A と接地された金属板 G に蓄えられる電荷は, 自然には放電を起こさず, 導体球 A と接地された金属板 G 以外のものからの電界の影響も受けないものとする。加えて, 直流電源と導体球 A を接続している導線は, 導体球 A の運動を妨げることはないものとする。この装置に対して以下の操作を行った。すべての操作は真空中で実施し, 真空中でのクーロンの法則の比例定数を k_0〔N·m^2/C^2〕とする。なお, アース(⏚)の電位を 0 V とする。

(操作1) 直流電源の電圧を 0 V から徐々に変えたところ, 導体球 A は接地された金属板 G に xz 平面内で引き寄せられた。導体球 A の電位が $-V$〔V〕になったところで, 直流電源の電圧を一定にした。このとき, **図7** のように鉛直方向とひものなす角度が θ〔°〕(ただし, $0° < \theta < 90°$)になるところでつり合っており, 導体球 A には $-Q$〔C〕の電気量が蓄えられていた。以降,「$-Q$ の電気量をもった導体球 A」を「帯電した導体球 A」という。「帯電した導体球 A」は, $-Q$ の電気量をもった質量 m の質点であると同時に, 質量 m をもった電気量 $-Q$ の点電荷としても取り扱うことができるものとする。

(操作2) 電圧を保ったまま, 装置に触れないように, 直流電源をそっと取り外した。このとき, **図8**のように角度 θ に変化はみられなかった。

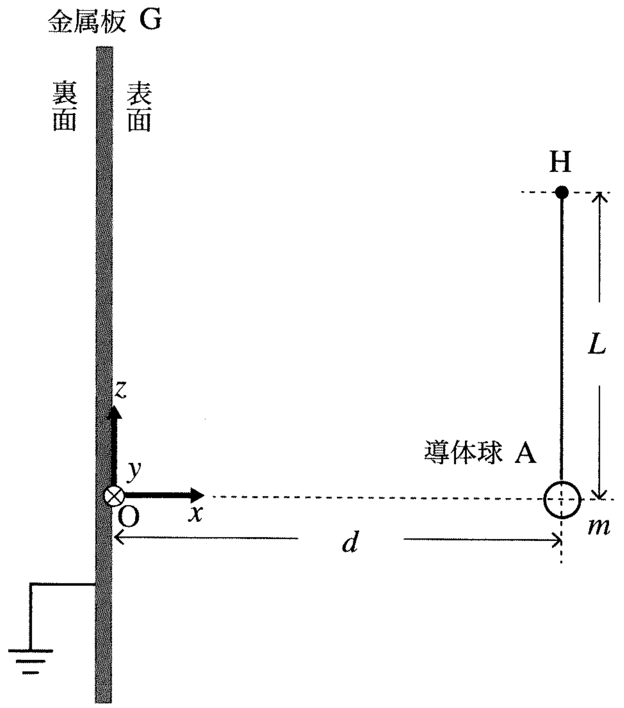


図 6 装置の概要図。y 軸の方向は，紙面に垂直に表から裏に向かう向きで，以降この方向を ⊗ と表記する。

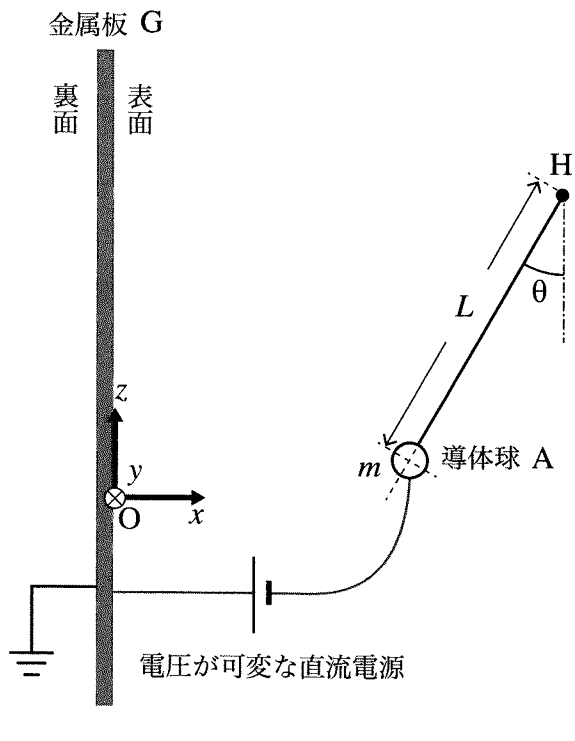


図 7 装置に電圧が可変な直流電源を接続して電圧を与え，$-Q$〔C〕の電気量を導体球 A に蓄えたときの様子

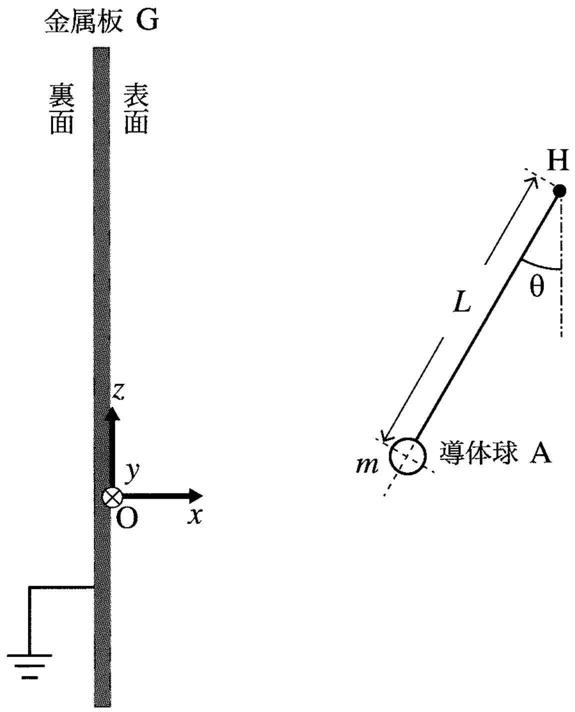


図 8　（操作 2）の後の装置の様子

問 1　（操作 1）のときに，導体球 A が金属板 G に引き寄せられた理由を述べよ。

問 2　（操作 2）において，以下の 2 つにふれて，角度 θ に変化がみられなかった理由を述べよ。

・導体球 A に生じている電荷

・アースに接続された金属板 G に生じている電荷

以降，**（操作 2）**を終えた状況について考える。なお，この状況において無限遠の電位は 0 V になっている。

問 3 接地された金属板 G と帯電した導体球 A が xz 平面上につくる電気力線の模式図を**図 9** に示す。この電気力線に対応する等電位線の模式図として最も適切なものを**図 10** の（ア）～（カ）のうちから選べ。図中に小さい白丸で表記したものが，帯電した導体球 A である。

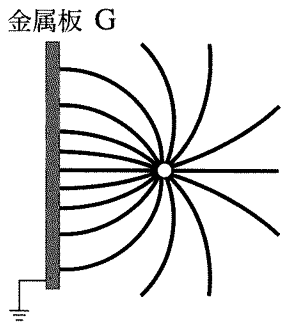


図 9 接地された金属板 G と帯電した導体球 A （小さい白丸）が xz 平面上につくる電気力線の様子。図中の太線は電気力線を表す。

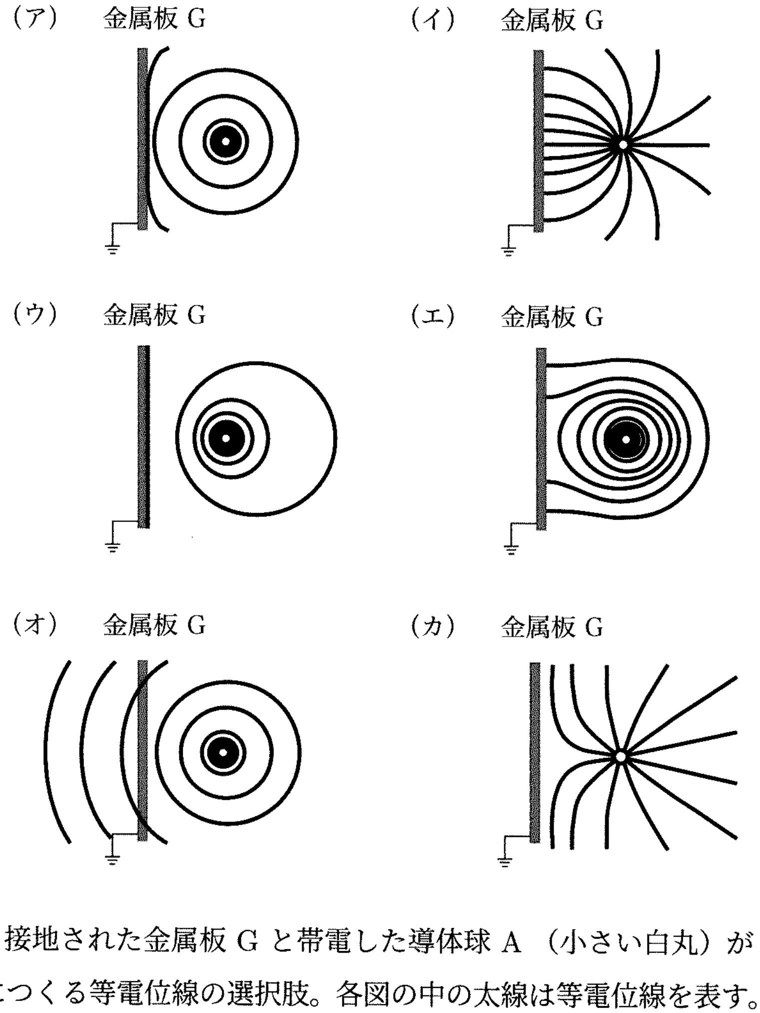


図 10 接地された金属板 G と帯電した導体球 A （小さい白丸）が xz 平面上につくる等電位線の選択肢。各図の中の太線は等電位線を表す。黒く塗りつぶされているように見える部分は等電位線が密集している。

II. 2つの点電荷

図11 のように, 座標 $(a〔\mathrm{m}〕, 0, b〔\mathrm{m}〕)$ に電気量 $-q$〔C〕の点電荷 M, 座標 $(-a〔\mathrm{m}〕, 0, b〔\mathrm{m}〕)$ に電気量 $+q$〔C〕の点電荷 N が置かれている（ただし, $q > 0$）。なお, 無限遠の電位を 0 V とする。

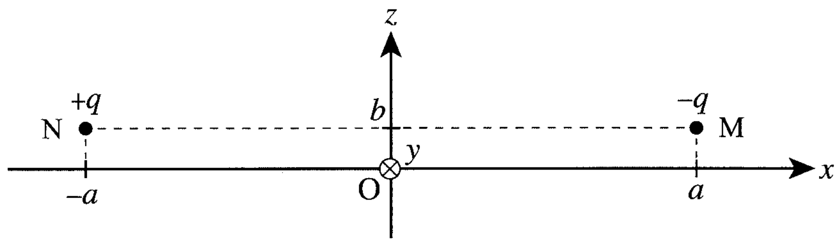


図11 2つの点電荷の配置

問4 $\boxed{1}$ ～ $\boxed{8}$ に適切な数式や数値を入れよ。また, $\boxed{\text{あ}}$ ～ $\boxed{\text{え}}$ は選択肢から最も適切な語句を選べ。

$x \geqq 0$ の領域における座標 $(a, 0, b)$ を除く任意の点 R の電位 V_{R}〔V〕について考える。点 R の座標を $(x〔\mathrm{m}〕, y〔\mathrm{m}〕, z〔\mathrm{m}〕)$ と表す（ただし, $x \geqq 0$）。V_{R} は, 点電荷 M が点 R につくる電位 V_{M}〔V〕と点電荷 N が点 R につくる電位 V_{N}〔V〕を用いて, $\boxed{1}$ と表すことができる。したがって, 2つの点電荷が点 R につくる電位 V_{R} は

$$\frac{-\boxed{5}}{\left\{\left(x-\boxed{2}\right)^2+y^2+\left(z-\boxed{3}\right)^2\right\}^{\boxed{4}}}+\frac{\boxed{5}}{\left\{\left(x+\boxed{2}\right)^2+y^2+\left(z-\boxed{3}\right)^2\right\}^{\boxed{4}}}$$

となる。この式において, $x = 0$ とすると V_{R} の値が $\boxed{6}$ V となっており, yz 平面は $\boxed{6}$ V の等 $\boxed{\text{あ}}$ 面になっていることがわかる。

つぎに, $x = 0$ の yz 平面上の電界について考える。電界は, $\boxed{\text{い}}$ なので, 大きさと向きをもった量である。yz 平面上の任意の点 T の座標は, $(0, y, z)$ と表すことができる。したがって, 2つの点電荷が点 T につくる電界の大きさは

$$\frac{\boxed{8}\times\boxed{2}}{\left\{\left(\boxed{2}\right)^2+y^2+\left(z-\boxed{3}\right)^2\right\}^{\boxed{7}}}$$

であり, その向きは $\boxed{\text{う}}$ の方向で, yz 平面に対して $\boxed{\text{え}}$ である。

$\boxed{\text{あ}}$ の選択肢： 電気力, 電界, 磁界, 電位

$\boxed{\text{い}}$ の選択肢： スカラー, ベクトル, 運動量, 電気素量, エネルギー

$\boxed{\text{う}}$ の選択肢： x 軸正, x 軸負, y 軸正, y 軸負, z 軸正, z 軸負

$\boxed{\text{え}}$ の選択肢： 平行, 垂直, 斜め 30°, 斜め 45°, 斜め 60°

III. 静電気現象の定理

「I. 実験」と「II. 2つの点電荷」について調べた結果, $x = 0$ の yz 平面上の電位が一致していることがわかった。静電気現象に関する理論において, 以下の定理が知られている。

> 「I. 実験」と「II. 2つの点電荷」において,
>
> ・$x > 0$ の点電荷の配置が同じで,
>
> ・$x = 0$ の yz 平面上の電位が一致していれば,
>
> $x > 0$ の空間のすべての場所で「I. 実験」と「II. 2つの点電荷」の電位および電界が一致する。

このため, 「II. 2つの点電荷」について考えることで, 「I. 実験」の状況についての電位や電界を求めることができる。

以降, 「III. 静電気現象の定理」を使って, 「I. 実験」の状況を「II. 2つの点電荷」と対応づけるために, 座標 $(a, 0, b)$ にある点電荷 M を「I. 実験」における帯電した導体球 A に置き換えて考える。

問 5 帯電した導体球 A はひもでつながれており, 鉛直方向とひものなす角度が θ であることから, q と a, b を Q, d, L, θ のうち必要なものを使って表せ。

問 6 「II. 2つの点電荷」および「III. 静電気現象の定理」を使って, 「I. 実験」の状況についての電気量 Q を m, g, d, L, k_0, θ を用いて表せ。その導出過程も記すこと。

なお, 導体球 A が持つ電荷によってつくられる電界から導体球 A 自身が受ける力については考えない。