

令和6年度入学試験問題

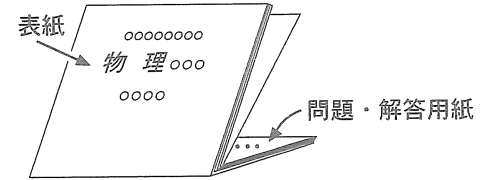
物 理 301

(前 期 日 程)

表紙も問題・解答用紙もすべて
表面のみに印刷している。

(注意事項)

- 1 問題・解答用紙は、解答開始の指示があるまで開かないこと。
- 2 この表紙を除いて、問題用紙は3枚(その1～3)、解答用紙は3枚(その1～3)である。
- 3 解答は、解答用紙の指定された〔式と説明〕の表示がある箇所と答の欄に書くこと。
表紙・問題用紙の余白と裏面を計算のために用いてもよいが、指定された解答箇所以外に書いたものは採点しない。
- 4 〔式と説明〕の表示がある箇所には、答えを導く過程で必要な式と説明を簡潔に書くこと。
- 5 解答開始後、各解答用紙の「受験番号」欄に受験番号をはっきりと記入すること。
- 6 表紙を含め、配付した用紙はすべて回収する。



物 理 301 問題用紙 (その1)

第1問 図1のように、なめらかで水平な床の上に、なめらかな表面をもつ質量 M の台が水平に置かれている。台の右側は、点 O を通る紙面に垂直な軸を中心とした半径 l の半円筒状に、直方体がくりぬかれた形をしている。図1は床に鉛直な断面を示しており、面 AB は水平で、曲面 BC になめらかにつながっている。点 O を原点とし、水平右向きに x 軸、鉛直上向きに y 軸をもつ xy 座標をとる。重力加速度の大きさは g とする。床は十分広く、空気の影響は無視できるものとする。運動はすべて図1の紙面内 (同一鉛直面内) で起きているものとし、以下の問いに答えよ。

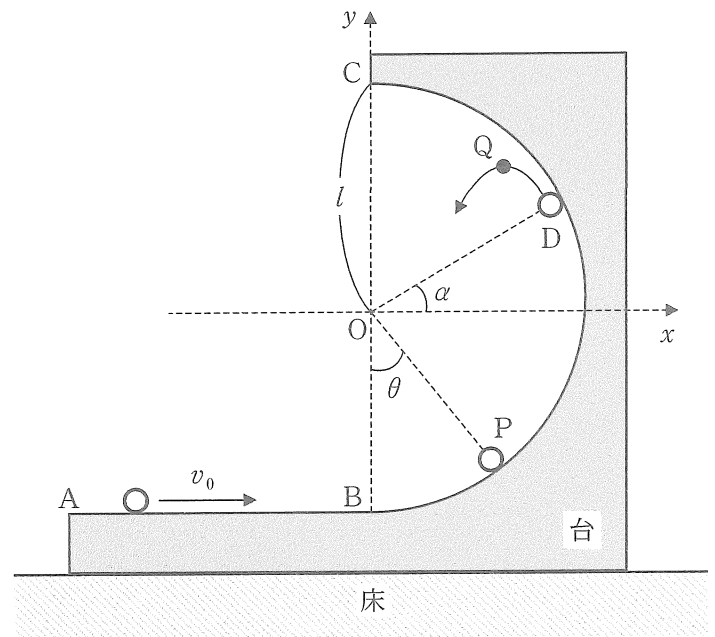


図1

[1] 台を床に固定し、質量 m の小物体を面 AB 上のある点から速さ v_0 で水平右向きにすべらせた。小物体は半円筒に沿って運動し、 BC 間の途中の点 D で台から離れ、最高点 Q に達したのち落下した。 x 軸と OD のなす角を α 、点 D における小物体の速さを v_1 、点 D から点 Q までに要する時間を t とする。小物体の大きさは無視できるとする。

問1 小物体が BD 間の $\angle BOP = \theta$ となる点 P にあるとき、小物体の速さ v を、 v_0, θ, l, g を用いて表せ。

問2 点 P で小物体が受ける垂直抗力の大きさ N を、 m, v_0, θ, l, g を用いて表せ。

問3 速さ v_1 を、 α, l, g を用いて表せ。

問4 時間 t を、 v_1, α, g を用いて表せ。

問5 点 Q の座標 (X_Q, Y_Q) が次の等式で表されるとき、 ~ の空欄に入る式または文字を、 v_1, α, l, g のうちから必要なものを使って書き表せ。

$$X_Q = \text{①} \times \text{②} - \text{③} \times \text{④} \times t$$

$$Y_Q = \text{①} \times \text{④} + \text{③} \times \text{②} \times t - \text{⑤} \times t^2$$

[2] 台の固定を外し、静止した台の面 AB 上のある点から、質量 m の小物体を速さ v_2 で水平右向きにすべらせた。小物体は半円筒に沿って運動してある高さまで上がったのち、台から離れることなく折り返し、半円筒に沿って降りて面 AB に引き返した。小物体の大きさは無視できるとする。

問6 小物体が最大の高さに達したときの小物体の床に対する速さを、 v_2, m, M を用いて表せ。

問7 面 AB に引き返した小物体が、床に対して左向きに進むのは、 m と M の間にどのような関係があるときか。次の①~⑧のうちから最も適切なものを1つ選んで番号で答えよ。

- ① $m < \frac{1}{2}M$ ② $m > \frac{1}{2}M$ ③ $m < M$ ④ $m > M$ ⑤ $m < \sqrt{2}M$ ⑥ $m > \sqrt{2}M$
 ⑦ $m < 2M$ ⑧ $m > 2M$

物 理 301 問題用紙 (その2)

第2問 図1のように中空で半円状の電極を、距離 d の間隔をあけて2つ並べて水平面上に設置する。距離 d に比べて電極の半径は十分に大きいとする。図1を真上から見た図2において、左側の電極 D_L の電位は常に 0V に保ち、右側の電極 D_R の電位は一定値に保つ。電極 D_L と電極 D_R それぞれに磁束密度 B (B は正の値) の一様な

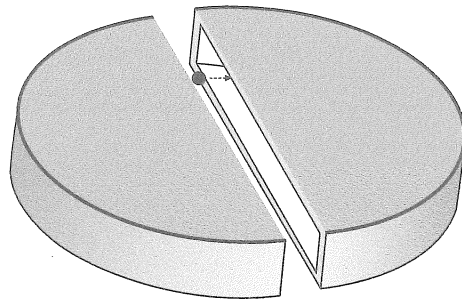


図1

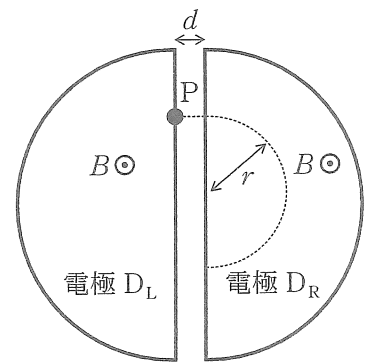


図2

磁場が図2の紙面の裏から表の向きにかかっている。電極以外の場所の磁束密度は 0T である。電極の内部は空洞になっており、電極の周囲および電極の空洞内は真空に保たれている。電極 D_L と D_R の空洞内の電位はそれぞれ電極の電位と同じ一定値になっているとする。また、重力は無視できるとし、以下の問いに答えよ。円周率は π を使うこと。

[1] 電極 D_R の電位が $-V$ (V は正の値) のときに、電極 D_L の空洞の右端に正の電荷 q をもつ粒子 P を静かに置くと、粒子 P は電極 D_R に向かって加速され、電極 D_R の空洞入口の面に対して垂直に入って円運動する。粒子 P の質量は m とし、大きさは無視できるとする。

問1 粒子 P が電極 D_R の左端入口に到達したとき、粒子 P の速さ v を、 d, q, V, B, m のうちから必要なものを用いて表せ。

問2 粒子 P が電極 D_R の空洞中を運動しているときに、粒子 P にはたらく力の名称を答えよ。

問3 粒子 P が電極 D_R の空洞中を運動しているときに、粒子 P にはたらく力の大きさ F を、 v, q, B を用いて表せ。

問4 粒子 P が電極 D_R の空洞中を円運動するときの半径 r を、 v, q, B, m を用いて表せ。

問5 粒子 P が電極 D_R の空洞に入ったあと、半周して電極 D_R の空洞から出るまでの時間 t を、 q, B, m を用いて表せ。

[2] 粒子 P は電極 D_R の空洞中を図2のように半円状の軌道を描いて運動する。粒子 P が電極 D_R の空洞内を進んで空洞から出たときに電極 D_R の電位を $-V$ から $+V$ に変化させる。その後、粒子 P は電極 D_L に入って電極 D_L の空洞中を円運動する。粒子 P が電極 D_L の空洞を出たときに電極 D_R の電位をふたたび $-V$ にする。

問6 粒子 P がこのようにして1周して電極 D_R の空洞にふたたび入ったとき、粒子 P の速さ v_1 を、 q, V, m を用いて表せ。

問7 このふたたび入った粒子 P が D_R の空洞内を円運動するときの半径 r_1 を、 v_1, q, B, m を用いて表せ。

問8 上記の操作を繰り返すことで、粒子 P は2つの電極空洞内をそれぞれ半円状に運動することを繰り返す。これまでの問題解答からわかることについて述べた次の①～⑤の文章のうち、正しいものをすべて選んで番号で答えよ。

- ① 粒子 P は、電極 D_L と D_R の間を通過するときに加速されて運動エネルギーが大きくなる。
- ② 粒子 P が電極 D_R の空洞中を通過するのにかかる時間は、粒子 P が速くなるに従って短くなる。
- ③ 粒子 P は、電極 D_R の空洞中を通過する間に運動エネルギーが大きくなる。
- ④ D_R の空洞中を通過する粒子 P の円運動の半径は1周するごとに大きくなる。
- ⑤ 上記①～④に正しいものはない。

物 理 301 問題用紙 (その3)

第3問 図1の実線で描いたような空気中の円柱部分を考える。その円柱は、地表面に垂直で、下面、上面は地表面と平行になっている。その円柱の断面積は S 、厚さは Δh である。空気は理想気体とし、風がなく空気の流れの影響を無視できるとする。重力加速度の大きさは g とし、気体定数は R とする。以下の問いに答えよ。

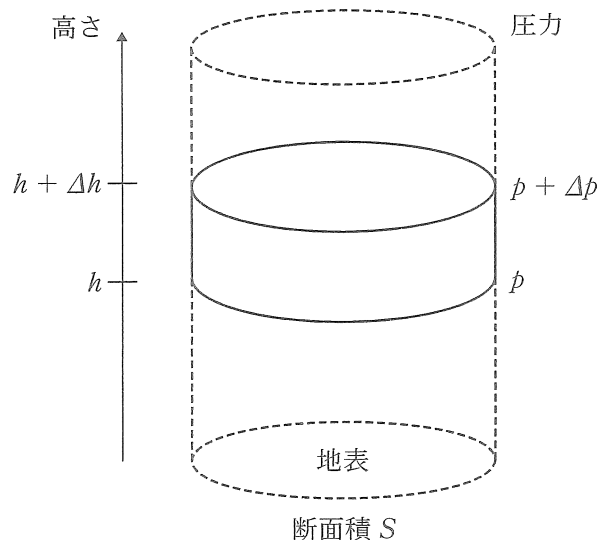


図1

[1] 厚さ Δh が十分小さい円柱状の空気層を考える。地表からの高さ h のところにあるこの空気の密度は d で、絶対温度は T とし、この空気層にかかる下面、上面の圧力をそれぞれ p 、 $p + \Delta p$ とする。

問1 この空気層の下面にはたらく上向きの力の大きさを、 S 、 h 、 Δh 、 p 、 Δp 、 g のうちから必要なものを用いて表せ。

問2 この空気層の上面と下面にはたらく圧力差 Δp を、 d 、 g 、 Δh を用いて表せ。

問3 この空気層の下面の圧力 p を、空気1モルあたりの質量 a と T 、 d 、 R を用いて表せ。

[2] 図1の空気層と同じ形で中全体が空洞になっている円柱状の物体が地表にあるときを考える。地表の空気の密度は d_0 、絶対温度は T_0 、圧力は p_0 とする。物体には、十分に小さな穴があり、空洞中の空気の圧力は p_0 である。物体自身の質量を M とし、物体は断熱材でできており、その体積は無視できるとする。空洞中の空気をゆっくり加熱し絶対温度を T_1 にする。

問4 物体の空洞中の空気を絶対温度 T_1 にしたとき、空洞中の空気の密度 d_1 を、 d_0 、 T_0 、 T_1 を用いて表せ。

問5 物体が浮き上がるために、空洞中の空気の絶対温度 T_1 が満たすべき条件を、 d_0 、 T_0 、 S 、 Δh 、 M を用いて表せ。

問6 以下の説明文中の ① ~ ⑤ にそれぞれ当てはまる適切な語句を、選択肢(A)または(B)から選び、その記号を答えよ。

空気中の物体が、空気から鉛直上向きに受ける力を浮力という。浮力は、物体の上の圧力より、下の圧力の方が ① (A) 小さい (B) 大きい ために生じている。高度が高い方が低い方より上に乗っている空気の量が ② (A) 少なく (B) 多く なるため、圧力は ③ (A) 小さく (B) 大きく なる。

物体に開いている穴をふさいで、物体を浮き上がらせた。上空に行くと、そこにある空気の密度は ④ (A) 小さくなる (B) 大きくなる ために、浮力は小さくなる。浮力と重力が釣り合ったところで、上昇が止まる。さらに上空に行くためには、物体の中の空気をよりあたためるか、空気より ⑤ (A) 軽い (B) 重い ガスに詰め替える必要がある。

物 理 301 解答用紙 (その1)

第1問

問1 (式と説明)

答	
---	--

問2 (式と説明)

答	
---	--

問3 (式と説明)

答	
---	--

問4 (式と説明)

答	
---	--

問5 (式と説明)

答	①		②		③		④		⑤	
---	---	--	---	--	---	--	---	--	---	--

問6 (式と説明)

答	
---	--

問7 (式と説明)

答	
---	--

小計		点
----	--	---

物 理 301 解答用紙 (その2)

第2問

問1 (式と説明)

答	
---	--

問2

答	
---	--

問3 (式と説明)

答	
---	--

問4 (式と説明)

答	
---	--

問5 (式と説明)

答	
---	--

問6 (式と説明)

答	
---	--

問7 (式と説明)

答	
---	--

問8

答	
---	--

小計		点
----	--	---

物 理 301 解答用紙 (その3)

第3問

問1 (式と説明)

答	
---	--

問2 (式と説明)

答	
---	--

問3 (式と説明)

答	
---	--

問4 (式と説明)

答	
---	--

問5 (式と説明)

答	
---	--

問6

答	①		②		③		④		⑤	
---	---	--	---	--	---	--	---	--	---	--

小計		点
----	--	---