

# 令和5年度入学試験（後期日程）

## 物 理

### 出題意図及び正答例

1

#### 出題意図

質点が頂点を下に垂直に立てた円すいの内面を水平円運動する例を用い、同じ質点の運動であっても慣性の法則の適用及び運動方程式を組み立てる際の概念が質点を見る観測者の立場のちがいにより異なることを問うている。

用語の定義、運動方程式の組み立て方、質点にはたらく力の図示を問うことで、力学に対する理解力を評価している。

#### 正答例

	あ	垂直抗力 または 抗力	い	向心力
(a)	う	静止	え	慣性
	お	加速 または 加速度運動		

(b)	(i)	$mg = N \sin \theta$	(ii)	$m \frac{v^2}{r} = N \cos \theta$
	(iii)	$r = \frac{v^2}{g} \tan \theta$	(iv)	$\frac{2\pi v}{g} \tan \theta$

	(i)	$m \frac{v^2}{r} \sin \theta = mg \cos \theta$	
(c)	(ii)		

2

## 出題意図

振動数・波長・速さの関係、定在波の性質、ドップラー効果、うなり等、波動の基本的な理解を問うている。

## 正答例

	(i)	$\frac{V}{f}$
	(ii)	200
(a)	(iii)	$\frac{\lambda}{4}$
	(iv)	$f$
	(i)	$\frac{V - v_1}{f}$
	(ii)	$\frac{V}{V - v_1} f$
(b)	(iii)	$\frac{V - v_1}{V} t$
	(iv)	$\frac{v_1}{V - v_1} f$

3

## 出題意図

ピストンによりシリンダー内に封入された気体を対象に、(a)ピストンが静止した条件での加熱、(b)ピストンがばねの一端に固定され、ばねの弾性力と大気圧による力につり合って滑らかに移動する条件での加熱、2つの加熱を扱っている。気体の状態を正しく把握する力、力のつり合いから気体のなす仕事を正しく評価する力、熱力学第一法則を理解し、応用する力を問うている。

## 正答例

	(i)	$\frac{PV_0}{nR}$	[K]
(a)	(ii)	$\frac{Q_0}{nC}$	[K]
	(iii)	体積変化：ア	温度変化：ク

	(i)	$PSL + \frac{1}{2}kL^2$	[J]
	(ii)	$V_1 + SL$	[m <sup>3</sup> ]
(b)	(iii)	$\frac{(P+\frac{kL}{S})(V_1+SL)}{nR}$	[K]
	(iv)	$nC(T_1 - T_0) + PSL + \frac{1}{2}kL^2$	[J]

## 4

## 出題意図

電場や磁場中における荷電粒子の運動に関する問題で、荷電粒子が電場から受ける力によるエネルギー、速さ、位置座標の変化と、荷電粒子が磁場に対し斜めに入射した場合のローレンツ力によるらせん運動による位置座標の変化を問うている。

## 正答例

(a)	$qV$	(b)	$\sqrt{\frac{2qV}{m}}$
(c)	$\ell \sqrt{\frac{m}{2qV}}$		
(d)	速度のy成分： $E\ell \sqrt{\frac{q}{2mV}}$	速度のz成分： $\sqrt{\frac{2qV}{m}}$	
(e)	$\frac{E\ell^2}{4V}$	(f)	$\frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mV}{q}}$
(g)	$-\frac{(L - \ell)^2 B}{2} \sqrt{\frac{q}{2mV}}$	(h)	$(L - \ell) \sqrt{\frac{m}{2qV}}$
(i)	$\frac{E\ell(2L - \ell)}{4V}$	(j)	$\frac{2mE\ell(2L - \ell)}{q(L - \ell)^4 B^2}$

令和5年度 入学試験問題（後期日程）  
補足説明  
**「物理」**

【問題冊子】

6ページ

2

この問題では風の影響はないものとする。

令和5年度 入学試験問題（後期日程）  
補足説明  
**「物理」**

【問題冊子】

11 ページ **4** 図の補足説明

*x* 軸は紙面に垂直に表から裏の向きにとる。

## 令和5年度入学試験問題

### 物 理

#### 注 意 事 項

1. この問題冊子は、試験開始の合図があるまで開いてはいけません。
2. 解答用紙は問題冊子とは別になっています。解答用紙の指定されたところに解答のみ記入しなさい。それ以外の場所に記入された解答は、採点の対象となりません。解答用紙は4枚あります。
3. 本学の受験番号をすべての解答用紙の指定されたところへ正しく記入しなさい。氏名を書いてはいけません。
4. この問題冊子は、表紙を含めて16ページあります。問題は4ページから11ページにあります。ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、監督者に申し出なさい。
5. 問題冊子の余白等は適宜利用しても構いませんが、どのページも切り離してはいけません。
6. この問題冊子は持ち帰りなさい。

**1** 図に示すように、頂角  $2\theta$  を持つ中空の円すいが、頂点を下にし、軸を鉛直方向に向けて固定されている。質量  $m$  の質点をこの円すいの内面に沿って水平面内で速さ  $v$  の等速円運動をさせた。円すいの軸から質点までの距離を  $r$ 、重力加速度の大きさを  $g$ 、円周率を  $\pi$  とする。中空の円すいの厚さ、質点と円すいの内面との摩擦、および質点にはたらく抵抗は無視できるとして以下の問い合わせよ。

(a) 次の文中の空欄 **あ** から **お** に当てはまる語句を答えよ。

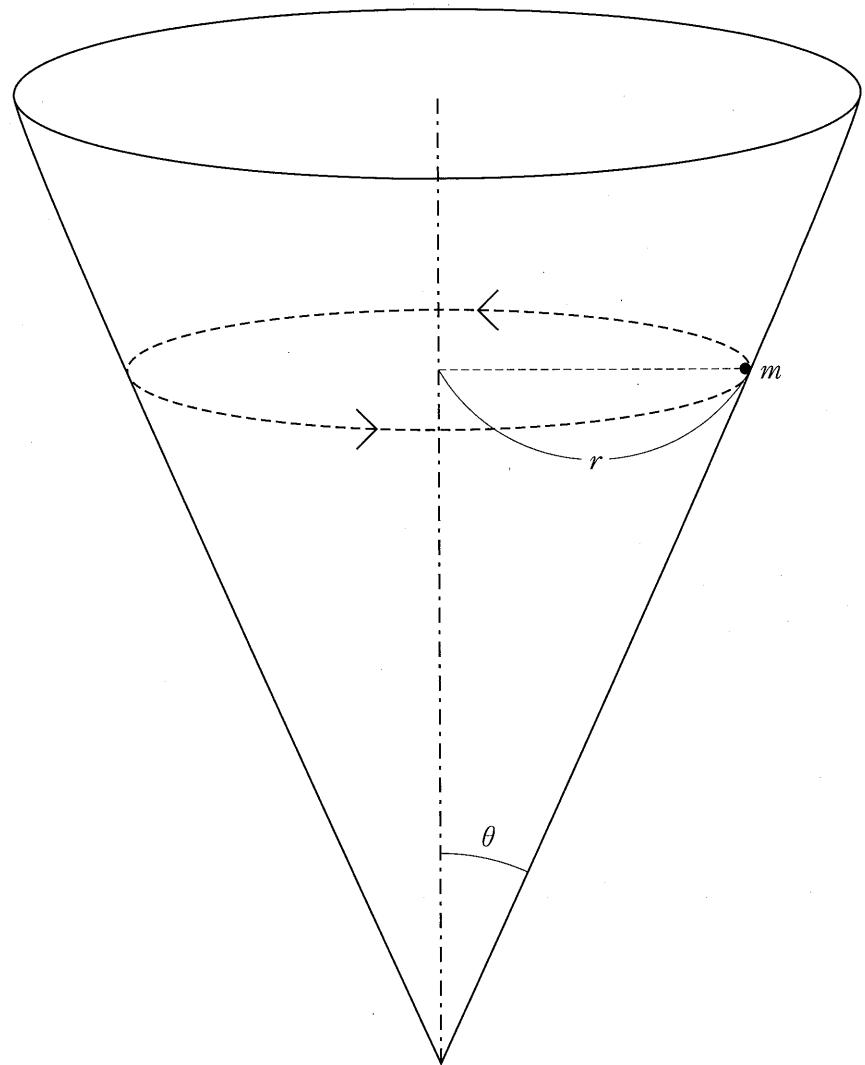
- (i) 静止している観測者から見た質点にはたらく力は 2つあり、1つは鉛直方向に大きさ  $F$  ではなくらく重力で、もう1つは円すいの内面から大きさ  $N$  ではなくらく **あ** である。質点の円運動における円の中心方向について考えると、**あ** の水平方向成分は **い** になる。
- (ii) 同じ質点の運動を、質点といっしょに円運動している観測者の立場で考える。このとき質点にはたらく力を考えよう。観測者から見た質点は **う** して見えるが、質点が重力と **あ** の合力を受けているとき **え** の法則が成り立たない。そこで、観測者から見た質点の運動について、**え** の法則が成り立つように、重力と **あ** に加えて大きさ  $f$  の力が質点にはたらいていると考える必要がある。このような力は観測者が **お** するときに現れる見かけの力であり、一般に **え** 力という。特に今のように観測者が質点といっしょに円運動している場合の **え** 力を遠心力という。

(b) 問(a)(i)の、静止した観測者から見た質点の運動について考える。

- (i) 質点にはたらく力の鉛直方向のつり合いの式を  $m, g, \theta, N$  を用いて答えよ。
- (ii) 質点の円運動の運動方程式を  $m, r, v, \theta, N$  を用いて答えよ。
- (iii) 質点の円運動の半径  $r$  を  $v, g, \theta$  を用いて答えよ。
- (iv) 質点の円運動の周期を  $v, g, \theta$  を用いて答えよ。

(c) 問(a)(ii)の、質点といっしょに円運動している観測者から見た質点の運動について考える。

- (i) 円すいの斜面に沿う方向の力のつり合いの式を  $m, r, v, g, \theta$  を用いて答えよ。
- (ii) 質点にはたらく3つの力を図で表そう。解答用紙の図は、方眼紙に描かれた円すいの軸と質点を含む面で切った円すいの断面図の一部であり、重力を表す矢印に  $F$  を付して描かれている。また、見やすさのために質点には大きさを持たせてある。残りの2つの力を質点を始点とする矢印で描け。このとき矢印の向きが力の向きに等しく、重力の矢印を含めた3つの力の矢印の長さの比は力の大きさの比と等しくなるようにすること。また、**あ** の力の矢印には  $N$ 、遠心力の力の矢印には  $f$  を付して区別ができるようにせよ。



図

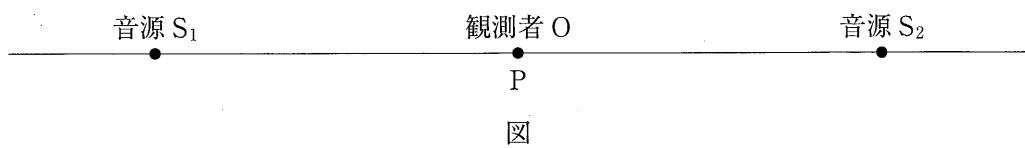
**2** 同じ振動数  $f$  [Hz]で同じ振幅の音を出す2つの音源  $S_1, S_2$  と、点  $P$  に静止した観測者  $O$  を考える。観測者  $O$  は音波の圧力を測定することで音の強弱を判断しているとする。この問題をとおして、図のように  $S_1, O, S_2$  は一直線上にあり、 $S_1$  は  $O$  の左側、 $S_2$  は  $O$  の右側に位置している。音速を  $V$  [m/s] とする。以下の問い合わせに答えよ。

(a) 最初に、音源  $S_1$  と  $S_2$  がともに静止している場合を考える。

- (i) 観測者  $O$  が測定する音源  $S_1$  から出た音の波長  $\lambda$  [m]を、 $f, V$ を用いて表せ。
- (ii) 音源  $S_1$  から出た音の波長が  $1.70\text{ m}$ 、音速が  $340\text{ m/s}$  であるとき、観測者  $O$  が測定するこの音の振動数は何 Hz か。
- (iii) 音源  $S_1$  と  $S_2$  から出た音波の合成波は定在波になつていて、点  $P$  で音が最も強かった。観測者  $O$  が点  $P$  からゆっくり右に移動すると、音が弱くなる場所と強くなる場所が交互に現れた。最初に音が最も弱くなる場所と点  $P$  の間の距離を、 $\lambda$  を用いて表せ。
- (iv) 観測者  $O$  が測定する音源  $S_1$  と  $S_2$  から出た音波の合成波の振動数は何 Hz か。 $f$  を用いて答えよ。

(b) 次に、点  $P$  に静止した観測者  $O$  に向かって音源  $S_1$  が速さ  $v_1$  [m/s] で近づき、音源  $S_2$  は静止している場合を考える。ただし、 $v_1 < V$  とする。

- (i) 観測者  $O$  が測定する音源  $S_1$  から出た音の波長  $\lambda'$  [m]を、 $f, V, v_1$ を用いて表せ。
- (ii) 観測者  $O$  が音源  $S_1$  から出た音を測定するときの振動数  $f'$  [Hz]を、 $f, V, v_1$ を用いて表せ。
- (iii) 音源  $S_1$  が音を出した時間が  $t$  秒間であるとき、観測者  $O$  にはこの音が何秒間聞こえるか。 $t, V, v_1$  を用いて答えよ。
- (iv) 観測者  $O$  は、音源  $S_1$  と  $S_2$  の音から生じたうなりを観測した。うなりの回数は毎秒いくらか。 $f, V, v_1$  を用いて答えよ。



図

**3** 図1, 図2のように, 2つのシリンダーのそれぞれに定積モル比熱  $C[J/(mol \cdot K)]$  の理想気体  $n[mol]$  を封入する。シリンダー内には体積と熱容量を無視できる発熱装置が入っており, またピストンはシリンダー内を滑らかに動くことができる。ピストンとシリンダーは熱を通さず, 热容量は無視できるとする。この問題をとおして, 大気圧  $P[Pa]$  は一定, 温度は絶対温度とし, 気体定数を  $R[J/(mol \cdot K)]$  として以下の問い合わせに答えよ。

(a)

- (i) 図1のように, 理想気体を封入したシリンダーを大気中で水平に設置したところ, 体積が  $V_0[m^3]$  となる位置でピストンが静止した。このときの気体の温度を求めよ。
- (ii) 問(i)でピストンが静止した後, ピストンに外力を加えることで気体の体積を  $V_0$  に固定したまま, 発熱装置をはたらかせて  $Q_0[J]$  ( $Q_0 > 0$ ) の熱を気体に加えた。加熱前後の気体の温度差を求めよ。
- (iii) 問(ii)で加熱した後, ピストンに加えた外力をゆっくり弱めたところ, 気体の状態が断熱的に変化しつつ, ピストンは気体の圧力が  $P$  と等しくなるまで移動した。このときの気体の体積の変化の仕方として適切なものを下の(ア), (イ), (ウ)より1つ, また温度の変化の仕方として適切なものを下の(カ), (キ), (ク)より1つ選べ。ただしピストンが移動する間, ピストンにかかる力は常につり合っているとする。

(ア) 増加する	(イ) 変化しない	(ウ) 減少する
(カ) 上がる	(キ) 変化しない	(ク) 下がる

- (b) 図2のように, 理想気体を封入した断面積  $S[m^2]$  のシリンダーを大気中で水平に設置したところ, 体積が  $V_1[m^3]$  となる位置でピストンが静止した。この状態を保ったまま, ピストンの外側にばね定数  $k[N/m]$  のばねの一方の端を取りつけた。また, ばねの他端に取りつけられているストッパーを, ばねが自然長となる位置でシリンダーに固定した。このときの気体の温度を  $T_0[K]$  とする。この状態から発熱装置をはたらかせてゆっくり熱を加えるとピストンは移動を始めた。ばねが  $L[m]$  縮んだところで発熱装置を停止させると, そこでピストンは静止した。この間に発熱装置が加えた熱は  $Q_1[J]$  である。ただしピストンが移動する間, ピストンにかかる力は常につり合っているとする。

- (i) 加熱開始からピストンが静止するまでの間に気体が外部にした仕事を  $k$ ,  $L$ ,  $P$ ,  $S$  を用いて表せ。
- (ii) 加熱後の気体の体積を  $L$ ,  $S$ ,  $V_1$  を用いて表せ。
- (iii) 加熱後の気体の温度  $T_1[K]$  を  $k$ ,  $n$ ,  $L$ ,  $P$ ,  $R$ ,  $S$ ,  $V_1$  を用いて表せ。
- (iv) 発熱装置が加えた熱  $Q_1$  を  $k$ ,  $n$ ,  $C$ ,  $L$ ,  $P$ ,  $S$ ,  $T_0$ , および問(iii)の  $T_1$  を用いて表せ。

【加熱前】

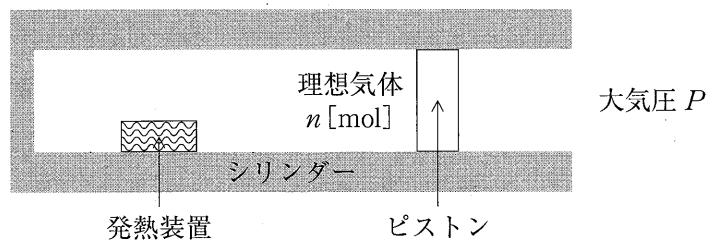


図 1

【加熱前】

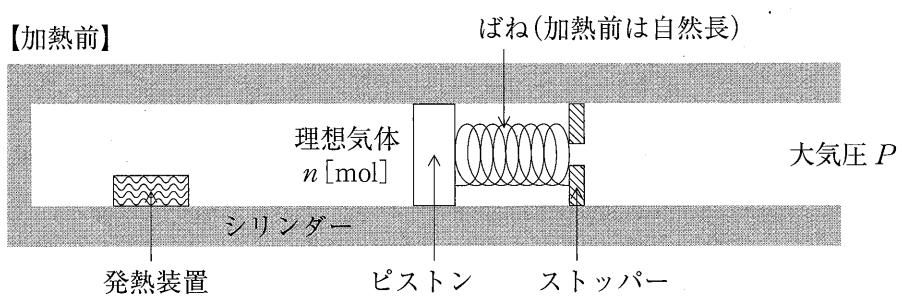


図 2

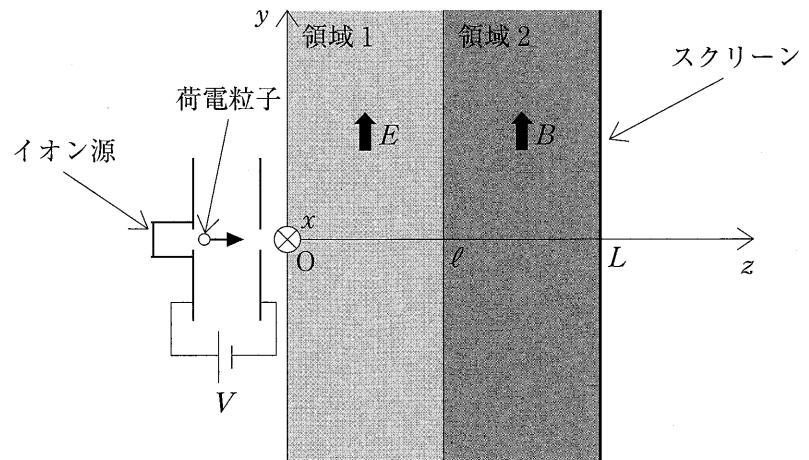
4

図に示すように、電荷  $q (q > 0)$ 、質量  $m$  を持つ荷電粒子がイオン源から放出され、2枚の孔のあいた電極板にかけられた電圧  $V$  によって加速される。イオン源から放出された荷電粒子が電極板の孔を通って2枚の電極板間に入った直後の速度はじゅうぶん小さく、無視できるものとする。加速された荷電粒子は、領域1に入射される。このときの入射位置を原点Oとし、入射方向を  $z$  軸方向とする。 $x$  軸と  $y$  軸は図のようになると。領域1の範囲は  $0 \leq z \leq \ell$  であり、 $y$  軸の正の方向に大きさ  $E (E \neq 0)$  の一様な電場がかけられている。領域2は  $\ell < z \leq L$  の範囲であり、 $y$  軸の正の方向に磁束密度の大きさ  $B (B \neq 0)$  の一様な磁場がかけられている。荷電粒子は領域1と領域2にかけられた電場と磁場から力を受けて運動の方向を変え、 $z = L$  に設置されたスクリーンに到達し、その到達位置が測定される。荷電粒子は真空中を運動し、重力の影響は無視できるとする。以下の問い合わせに答えよ。

- (a) 2枚の電極板間を通過した直後の荷電粒子の運動エネルギーを、 $q$ 、 $V$  を用いて表せ。
- (b) 2枚の電極板間を通過した直後の荷電粒子の速さを、 $q$ 、 $m$ 、 $V$  を用いて表せ。
- (c) 荷電粒子が領域1を通過するのにかかる時間を、 $q$ 、 $m$ 、 $V$ 、 $\ell$  を用いて表せ。
- (d) 荷電粒子が  $z = \ell$  に到達したときの荷電粒子の速度の  $y$  成分と  $z$  成分を、 $q$ 、 $m$ 、 $V$ 、 $\ell$ 、 $E$  から必要なものを用いて表せ。
- (e) 荷電粒子が  $z = \ell$  に到達したときの荷電粒子の  $y$  座標を、 $V$ 、 $\ell$ 、 $E$  を用いて表せ。

荷電粒子は領域2に入ると、らせん運動をはじめ、やがてスクリーンに到達した。領域2での荷電粒子のらせん運動を磁場に垂直な平面内に射影すると、等速円運動になる。一方、荷電粒子は磁場に平行な方向には、等速運動をする。

- (f) 荷電粒子が領域2内において、磁場に垂直な平面内で行った円運動の半径  $r$  を、 $q$ 、 $m$ 、 $V$ 、 $B$  を用いて表せ。
- (g) 荷電粒子がスクリーンに到達したときの荷電粒子の  $x$  座標  $X$  を、 $q$ 、 $m$ 、 $V$ 、 $\ell$ 、 $L$ 、 $B$  を用いて表せ。ただし、 $\left(\frac{L-\ell}{r}\right)^2 \ll 1$  であるとし、近似式  $\sqrt{1 - \left(\frac{L-\ell}{r}\right)^2} \doteq 1 - \frac{1}{2}\left(\frac{L-\ell}{r}\right)^2$  を適用した上で答えること。
- (h) 荷電粒子が  $z = \ell$  の位置からスクリーンに到達するまでの時間を、 $q$ 、 $m$ 、 $V$ 、 $\ell$ 、 $L$  を用いて表せ。ただし、この時間内に荷電粒子が磁場に垂直な平面内で行う円運動の回転角  $\theta$  は小さく、 $\theta \doteq \sin \theta$  と近似してよい。
- (i) 荷電粒子がスクリーンに到達したときの荷電粒子の  $y$  座標  $Y$  を、 $V$ 、 $\ell$ 、 $E$ 、 $L$  を用いて表せ。
- (j) 問(g)と問(i)で求めたスクリーンに到達した荷電粒子の座標( $X$ 、 $Y$ )は、荷電粒子を加速する電圧  $V$  を変化させると、それに応じて変化する。このとき、座標( $X$ 、 $Y$ )がスクリーン上に描く軌跡は放物線となり、 $A$  を比例係数として  $Y = AX^2$  で表すことができる。 $A$  を、 $q$ 、 $m$ 、 $\ell$ 、 $E$ 、 $L$ 、 $B$  を用いて表せ。



図