

# 令和4年度入学試験問題（後期日程）

## 物 理

### 出題意図及び解答例

---

\*すべての問題について、数学的に等価な解答は正答とします

問題 1

出題意図

円すい振り子に関する問題で、力のつり合い、等速円運動、運動エネルギー、ばねの弾性力による位置エネルギーを問うている。

正答

(a)	$\frac{mg}{\cos \theta}$	(b)	$2\pi \sqrt{\frac{\ell \cos \theta}{g}}$
(c)	$\frac{m(\ell^2 + L^2)g}{2\ell L}$	(d)	$2\pi \sqrt{\frac{(\ell^2 - L^2)L}{2\ell^2 g}}$
(e)	$\frac{mgL}{\sqrt{2L^2 - \ell^2}}$	(f)	$2\pi \sqrt{\frac{(\ell^2 - L^2)\sqrt{2L^2 - \ell^2}}{2g\ell L}}$
(g)	$\sqrt{\frac{2\ell k}{m(\ell + L)}}$		
(h)	おもりの運動エネルギー： $\frac{mg\ell(\ell^2 - L^2)}{4L\sqrt{2L^2 - \ell^2}}$ または $\frac{k\ell(\ell^2 - L^2)^2}{4L^2(\ell + L)}$		弾性力による位置エネルギー： $\frac{k(\ell - L)^2}{2}$

問題 2

出題意図

電気と磁気において、回路、電池、抵抗、電気エネルギーに関する基礎的な理解を問うている。

正答

(a)	$V = E - rI$	(b)	$P_1 = \frac{E^2 R}{(R + 3r)^2}$
(c)	$P_2 = \frac{E^2 R}{(R + r)^2}$	(d)	3
(e)	$V = \frac{nR}{R + nr} E$	(f)	$V = \frac{nR}{nR + r} E$
(g)	$V_1 = \frac{R}{r} E$	(h)	$V_2 = \frac{nR}{r} E$
(i)	$P = \frac{E^2 R}{(R + mr)^2}$	(j)	2
(k)	$2r$		
①	大きく	②	小さく
③	並列	④	新しい

3

(a)	$P - g(H - h)d$	
(b)	$n = \frac{m}{Rtd} \left\{ P - g \left( H - \frac{m}{Sd} \right) d \right\}$	
(c)	$\frac{m + \lambda L}{m}$	
(d)	$\Delta U = Q - W$	$Q$ と $W$ の関係      ② $Q = W$
(e)	気体の体積が減少し、重力が浮力より大きくなるため容器は下降する。	
(f)	ピストンの押し下げ時は気体の温度が上昇するが、容器が熱を通すため放置すると $t$ になるまで気体の温度は下がる。	

[出題意図]

等温変化および断熱変化させたときの気体の状態変化と円筒容器の変化から、水圧、浮力、気体の状態方程式、熱力学第1法則、ポアソンの関係式を理解し、利用できるかを問うている。

問題 4

出題意図

くさび形の空気層による光の干渉の問題である。干渉の条件や反射による位相の変化などについて、正しく理解し、説明できるかを問うている。

正答

(a)	経路 ① と ② の 光 が 干 渉 す る た め	15
(b)	0.25 mm	(c) $8.6 \times 10^{-5} \text{ m}$
(d)	㊦ 変化しない	
(d)	㊧ お互いの位置が入れ替わる	
(e)	<p>図：</p> <p>観測位置</p>	
	<p>ガラスは空気より屈折率が大きいので、光の位相について、①は変</p>	
	<p>化せず②は反転するのに対し、③</p>	
	<p>は変化せず④は2回反転し元に戻</p>	
	<p>る。よって明線暗線の条件が入れ</p>	
	<p>替わる。</p>	
(f)	0.19 mm	

令和4年度 入学試験問題（後期日程）  
問題訂正  
「物理」

【問題冊子】

3 8 ページ 14 行目と 9 ページ 3 行目

(誤) 「断熱過程」

(正) 「断熱変化」

## 令和4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12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** 鉛直方向に立てた細い棒と、伸び縮みしないなめらかな長さ  $\ell$  の軽い糸と、中心を通る穴のあいた質量  $m$  の小さなおもりを用いて振り子をつくる。

まず、糸の一端をおもりに固定し、他端を棒の点 A に固定した。図 1 に示すように、おもりに速度を与え、おもりを水平面内で等速円運動させたところ、糸と棒のなす角が  $\theta$  となった。糸は棒に巻きついたり、たるんだりせず、棒と糸は同一平面内になるようにいっしょに回転している。重力加速度の大きさを  $g$ 、円周率を  $\pi$  とする。以下の問いに答えよ。

- (a) 糸の張力を  $m, \theta, g$  を用いて表せ。
- (b) 等速円運動の周期を  $\ell, \theta, g, \pi$  を用いて表せ。

次に、つなぎかたを変え、糸をおもりの中心を通る穴に通し、糸の両端を棒上の 2 点 A, B に固定した。AB 間の距離は  $L$  で、 $L > \frac{\ell}{\sqrt{2}}$  である。糸を通したおもりは、糸に沿ってなめらかに動くことができる。図 2 に示すように、点 B につながった糸が水平になるようにおもりに速度を与え、おもりを水平面内で等速円運動させた。ただし、糸は棒に巻きついたり、たるんだりせず、棒と糸は同一平面内になるようにいっしょに回転している。

- (c) 糸の張力を  $m, \ell, L, g$  を用いて表せ。
- (d) 等速円運動の周期を  $\ell, L, g, \pi$  を用いて表せ。

次に、図 3 に示すように、おもりに通した糸のおもりの中心の位置での角度が  $90^\circ$  になるようにおもりに速度を与え、おもりを水平面内で等速円運動させた。ただし、糸は棒に巻きついたり、たるんだりせず、棒と糸は同一平面内になるようにいっしょに回転している。

- (e) 糸の張力を  $m, \ell, L, g$  を用いて表せ。
- (f) 等速円運動の周期を  $\ell, L, g, \pi$  を用いて表せ。

次に、軽い糸のかわりに、自然長が AB 間の距離と同じ  $L$  で、ばね定数  $k$  の細くて軽いばねをおもりの中心を通る穴に通し、両端を点 A, B に固定した。ばねを通したおもりはばねに沿ってなめらかに動くことができる。おもりに速度を与え、おもりを水平面内で等速円運動させたところ、ばねが伸びて長さが軽い糸の長さと同じ  $\ell$  ( $\ell < \sqrt{2}L$ ) となり、図 4 に示すように、おもりに通したばねのおもりの中心位置での角度が  $90^\circ$  になった。ただし、ばねは棒に巻きついたり、たるんだりせず、棒とばねは同一平面内になるようにいっしょに回転している。

- (g) 等速円運動の角速度を  $m, L, \ell, k$  を用いて表せ。
- (h) この振り子のおもりの運動エネルギーと弾性力による位置エネルギーを  $m, L, \ell, k, g$  のうち必要なものを用いて表せ。



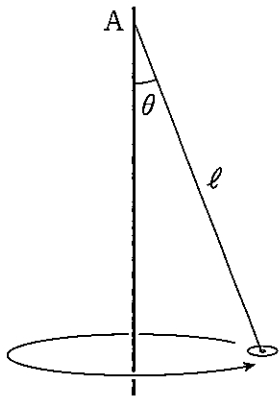


图 1

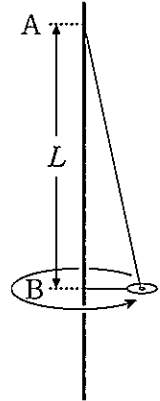


图 2

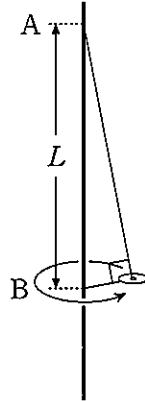


图 3

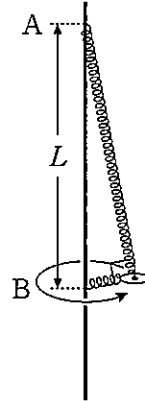


图 4

2 以下の文章の (a) から (k) は適切な式や数値を答え、① から ④ は下の語群の中から最もふさわしいものを選び答えよ。ただし、豆電球の抵抗値は温度によらず、常に一定であるとする。

語群：大きく、小さく、新しい、消耗した、直列、並列

起電力  $E$  [V]、内部抵抗  $r$  [ $\Omega$ ] の電池 1 個と、1 個の豆電球を用いて回路を作った。このとき、回路に流れた電流は  $I$  [A] であったとする。豆電球にかかる電圧の大きさ  $V$  は (a) [V] である。

電池を用いて実験を続けていたら、電池が消耗し、豆電球が点灯しなくなった。そこで、この消耗した電池の電圧の大きさを電圧計で調べたところ、新しい電池とほぼ同じ電圧値であった。ここで、消耗した電池の変化について考えてみる。電池は化学変化を利用しているので、反応する物質が減ってしまえば、使えなくなる。化学変化でできた物質によって電池の内部抵抗が ① なり、電流が ② になったため、豆電球が点灯しなくなったと考えられる。

電池を直列につなげた場合を考える。抵抗値が  $R$  [ $\Omega$ ] の豆電球 1 個に、起電力  $E$  [V]、内部抵抗  $r$  [ $\Omega$ ] の新しい電池 3 個を直列につなごうとしたところ、誤って真ん中の電池 1 個を逆さまにつなげてしまった。この電池 3 個を使った回路 A における豆電球の消費電力  $P_1$  は (b) [W] である。一方、起電力  $E$  [V]、内部抵抗  $r$  [ $\Omega$ ] の新しい電池 1 個と抵抗値が  $R$  [ $\Omega$ ] の豆電球 1 個をつなげた回路 B における豆電球の消費電力  $P_2$  は (c) [W] である。豆電球の明るさは消費電力に比例すると仮定すると、 $P_1$  と  $P_2$  を比較した場合、電池 (d) 個の回路の方が暗くなる。

起電力  $E$  [V]、内部抵抗  $r$  [ $\Omega$ ] の新しい電池を  $n$  個直列につなぎ、抵抗値が  $R$  [ $\Omega$ ] の豆電球 1 個につなげた回路 C を考える。豆電球にかかる電圧の大きさ  $V$  は (e) [V] である。ただし、 $n$  は 2 以上で有限であるとする。

今度は、電池を並列につなげた場合を考える。起電力  $E$  [V]、内部抵抗  $r$  [ $\Omega$ ] の新しい電池を  $n$  個並列につなぎ、抵抗値が  $R$  [ $\Omega$ ] の豆電球 1 個につなげた回路 D を考える。豆電球にかかる電圧の大きさ  $V$  は (f) [V] である。ただし、 $n$  は 2 以上で有限であるとする。

電池  $n$  個を直列につなげた回路 C と並列につなげた回路 D において、 $n$  個とも消耗した電池を誤ってつなげてしまった。このとき、 $R$  は  $nr$  に比べて十分小さく、また、 $nR$  も  $r$  に比べて十分小さく、豆電球の抵抗値は消耗した電池の内部抵抗の値に比べて無視できるとする。消耗した電池を直列につなげた回路 C' の豆電球にかかる電圧の大きさ  $V_1$  は (g) [V]、消耗した電池を並列につなげた回路 D' の豆電球にかかる電圧の大きさ  $V_2$  は (h) [V] となる。よって、 $V_1$  と  $V_2$  を比較した場合、電池を ③ につなげた回路の電圧の方が高くなると考えられる。ただし、消耗した電池の内部抵抗の値はすべて等しいとする。

最後に、豆電球を並列につなげた場合を考える。抵抗値が  $R$  [ $\Omega$ ] の豆電球を  $m$  個並列につなぎ、起電力  $E$  [V]、内部抵抗  $r$  [ $\Omega$ ] の電池 1 個をつなげたとき、1 個の豆電球が最も明るくなる条件を求めたい。ただし、 $m$  は 2 以上で有限であるとする。1 個の豆電球の消費電力  $P$  は (i) [W] となる。豆

電球の明るさは消費電力に比例すると仮定すると、電池を使用し、豆電球が個で、  
 $R =$  [ $\Omega$ ]のとき、豆電球が最も明るくなる。

3 図1のように水平面上に置かれた絶対温度  $t$  の水の入った水槽に、水と同じ温度の理想気体が入った円筒容器が沈んでいる。円筒容器の上面は閉じているが、下面は開いている。また円筒容器の下面には一様で曲がりやすく伸び縮みしないひもが取り付けられており、ひもは水槽の底に沈んでいる。円筒容器は質量が  $m$ 、断面積が  $S$ 、高さは  $H$  であり、厚さは無視できるとする。水の圧力(水圧)は水槽に取りつけられたピストンによって変えることができる。以下の問いに答えよ。

この問題を通して水の密度(単位体積あたりの質量)  $d$  と温度  $t$  は一定とし、気体の体積が円筒容器の容量より大きくなることはなく、円筒容器は常に鉛直方向を向き、傾くことはないとする。円筒容器は熱を通すことができるが形は変わらないとし、水槽と円筒容器の下面の間には水が自由に通れるだけのすきまがあるとする。また水の蒸発、円筒容器内の気体の質量、気体の体積変化による水槽全体の水圧の変化、ひもの体積、および摩擦は無視できるとする。気体定数を  $R$ 、重力加速度の大きさを  $g$  とする。重力により、水の中で直立したひもから円筒容器に働く力は、ひもの単位長さあたりの質量を  $\lambda$ 、直立した部分のひもの長さが  $x$  のとき鉛直下向きに  $\lambda x g$  で与えられるとする。ひもの単位体積あたりの質量および円筒容器の単位体積あたりの質量は  $d$  より大きいとする。

一般に理想気体の断熱過程において、 $pV^\gamma = \text{一定}$ 、 $TV^{\gamma-1} = \text{一定}$ 、 $Tp^{\frac{1}{\gamma-1}} = \text{一定}$  が成り立つ。ここで  $p$ 、 $V$ 、 $T$  はそれぞれ圧力、体積、温度であり、 $\gamma$  は1より大きい定数である。

(a)~(d)の解答で使用できる文字は、 $t$ 、 $m$ 、 $S$ 、 $H$ 、 $d$ 、 $R$ 、 $g$ 、 $\lambda$  および以下で定義する  $P$ 、 $h$ 、 $L$ 、 $Q$ 、 $W$  のみとする。

- (a) ピストンを操作して水槽の底の水圧を  $P$  にした。このとき円筒容器は沈んだままで、図1のように気体の体積が  $Sh$  ( $0 < h < H$ ) となった。このときの気体の圧力を求めよ。
- (b) 図1の状態から容器に気体を追加した。容器内の気体の物質量が  $n$  となったとき(図2)円筒容器に働く重力と浮力が釣り合った。 $n$  を求めよ。
- (c) 図2の状態からピストンを操作して水圧をゆっくり変化させたところ、容器は自然に水槽の底を離れて水中を上昇し、図3のように高さ  $L$  の位置で静止した。図3の状態における気体の体積が、図2の状態における気体の体積の何倍になるか答えよ。ただし、ひもの全長は  $L$  より長く、ひもは円筒の下面から測って  $L$  の長さだけ直立している。また、円筒の上面はピストンに達していない。
- (d) 図2の状態から図3の状態への変化による気体の内部エネルギーの変化量  $\Delta U$  について考える。

$Q$ : 図2の状態から図3の状態へ変化する際に気体が吸収した熱の絶対値、または気体が放出した熱の絶対値

$W$ : 図2の状態から図3の状態へ変化する際に気体がされる仕事の絶対値、または気体がした仕事の絶対値

として、 $\Delta U$  を  $Q$  と  $W$  を用いて表せ。また、 $Q$  と  $W$  の関係としてふさわしいものを①:  $Q > W$ 、

②:  $Q = W$ 、③:  $Q < W$  の中から1つ選んで答えよ。

(e) 図3の状態からピストンを素早く押し下げ固定した。ピストンの押し下げ幅はわずかであるが水圧は上昇し、それによって気体の状態は変化し、ひもの直立した部分の長さ $L$ も変化した。このときの水圧の上昇に伴う気体の状態変化が断熱過程とみなせるとして、円筒容器が上昇したか、下降したか理由をつけて答えよ。

(f) (e)のピストンの押し下げ後、しばらく放置した。ピストンの押し下げ後、および放置した間に起こる気体の温度の変化について簡潔に述べよ。

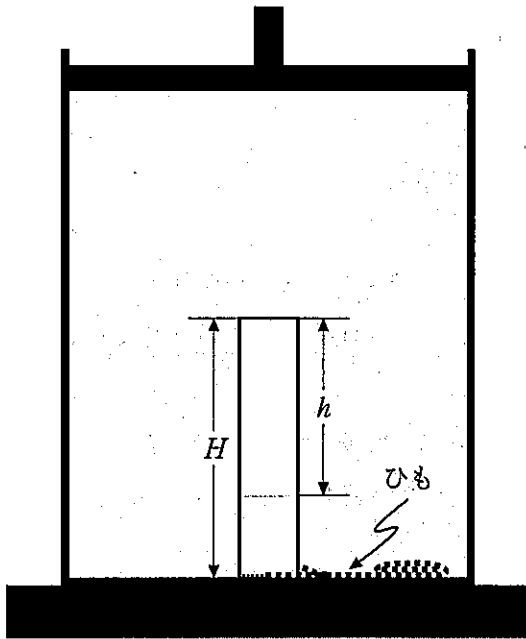


図1

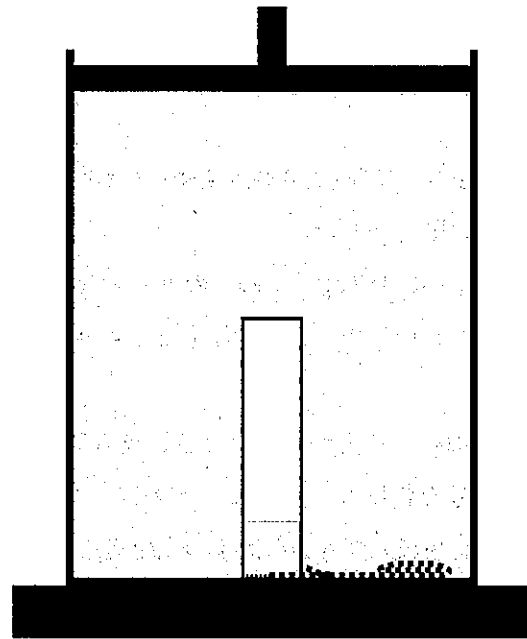


図2

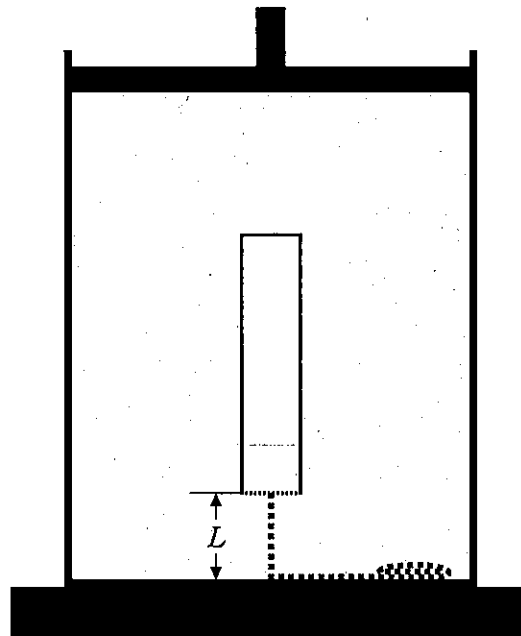


図3

4 図1のように、2枚の平行平面のガラス板(屈折率1.5)を重ねてから上側のガラス板を傾け、右端に厚さが一定の薄膜をはさんで固定し、くさび形の空気層をつくった。ガラス板の上から波長 $6.0 \times 10^{-7} \text{ m}$ の単色光を当てて、上から観察したところ、図2のように明線と暗線からなるしま模様が見られた。また、ガラス板どうしの接触位置から薄膜の左端までの距離を測ると7.2 cmであった。ただし、上のガラス板による光の屈折は考えないものとし、空気の屈折率を1.0とする。以下の問いに答えよ。

- (a) 上から観察したときに目に届いているのは、上側のガラスの下面で反射する経路①の光と下側のガラスの上面で反射する経路②の光であると考えられる(図1)。しま模様が見える理由を15字以内で述べよ。
- (b) しま模様の間隔(隣り合う明線間の距離)を、図2から求めよ。
- (c) 薄膜の厚さを求めよ。
- (d) 他の条件は変えずに、図1の下方からガラス板を観察したときも、しま模様が見えた。上方から見たときと比較して、下方から見たときのしま模様の⑦間隔および⑧明線と暗線の位置はどうか答えよ。
- (e) (d)において下方から見たときの光の経路を、図1を参考にして解答用紙の図に書き入れ、光の経路に番号を付けよ。さらに、(d)の⑧について答えた理由を80字程度で述べよ。ただしその文章では、解答用紙の図および図1の光の経路番号を引用すること。
- (f) 2枚のガラス板の間に水を満たして上方から見た場合、しま模様の間隔はいくらになるか。水の屈折率を1.3として計算せよ。

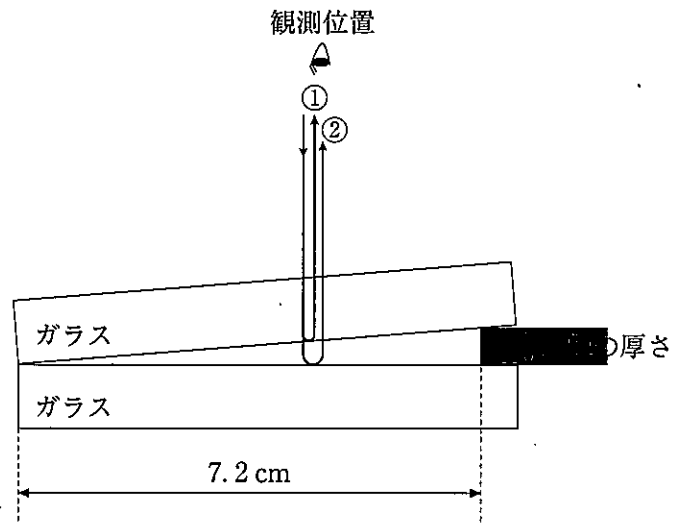


図 1

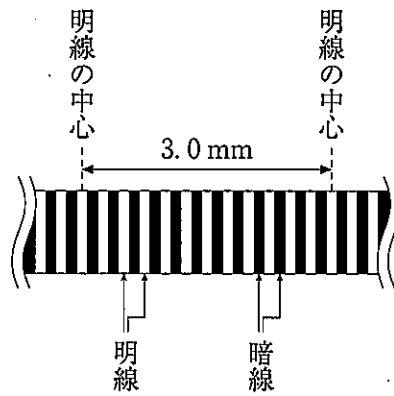


図 2