

令和 2 (2020) 年度入学試験問題 (後期)

理 科

注 意

1. 合図があるまで表紙をあけないこと。
2. 化学，物理，生物のうちから 2 科目を選択し，別紙解答用紙に受験番号，氏名を記入すること。
(ただし受験票，入学願書に記入した 2 科目に限る。)
3. 選択した科目以外の科目(例えば化学，物理を選択した場合は生物)の解答用紙にも受験番号，氏名を記入し，全体に大きく×印をすること。
4. 解答は解答用紙の枠内に記入すること。
5. 裏表紙は計算に使用する。
6. 選択した科目以外の解答用紙に解答を記入した場合，及び解答用紙に解答以外のことを書いた場合，その答案は無効とする。
7. 問題冊子は 1 冊，別紙解答用紙は各科目それぞれ 1 枚である。
8. 受験票は机に出しておくこと。

I 質量が無視でき伸び縮みしない長さ L [m] の糸によって、質量 m [kg] の小球が床からの高さ H [m] ($H < L$) の固定点 P からつり下げられ、等速円運動をしている。糸はたるまず、糸と鉛直線のなす角は一定である。また、小球の速さを v [m/s]、重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。

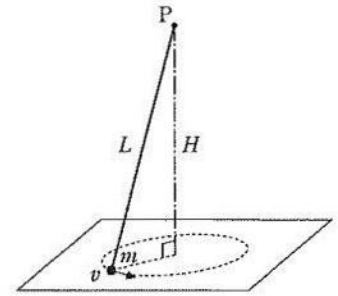


図 1

(1) 図 1 のようになめらかな床面で小球が運動しているとき、

(a) 小球にはたらく向心力の大きさ、糸にかかる張力の大きさ、およびこの振り子の周期を、 $\{L, H, v, m, g\}$ のなかから適当なものを用いて数式で答えよ。

(b) 小球が床から垂直に受ける抗力を $\{L, H, v, m, g\}$ のなかから適当なものを用いて数式で答えよ。

(c) 小球の速さ v をゆっくり増加させたとき、小球が床を離れた。この瞬間の v と糸にかかる張力を $\{L, H, m, g\}$ のなかから適当なものを用いて数式で答えよ。

(2) 床に接触しない状態で円運動する振り子は、円錐振り子とよばれる。図 2 には、円錐振り子の場合と yz 平面内で振動する単振り子の場合の運動が示されている。以下の空欄 (d) ~ (f) および (h) を埋める適切な語句を選択肢 { } のなかから選びその記号で答えよ。また、[g] と [i] には、選択肢 { } のなかから適当な記号を用いた数式を記入せよ。

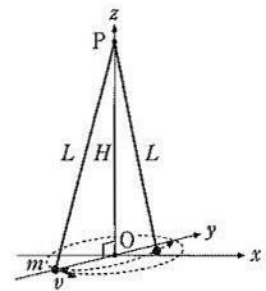
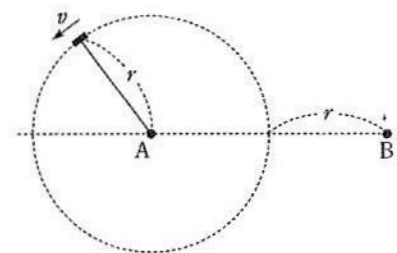


図 2

振り子は等時性をもつとして、歴史的に時計の主要部品とされてきた。単振り子は等時性を持ち、その周期は 2 つの値 (d) [ア: 糸の長さ L , イ: 小球の速度 v , ウ: 小球の質量 m , エ: 重力加速度 g] で決まる。その振れは一平面内であり、振幅が (e) [ア: L , イ: v , ウ: m , エ: g] にくらべて非常に (f) [ア: 小さい, イ: 大きい]。しかし、現実の振り子では、さまざまな要因のため、一平面に収まらない運動をすることがある。特殊な場合が円錐振り子である。円錐振り子の周期は [g] $\{H, m, g\}$ となる。しかし、円運動の半径が (h) [ア: L , イ: v , ウ: m , エ: g] に比べて非常に (f) とするとき、円錐振り子の周期は単振り子の周期 [i] $\{L, m, g\}$ とほぼ一致する。

II A 君が両端の閉じた長さ l [m] の筒に切れ目を入れ、これに糸を付け、糸の端を持って一定の高さ、一定の速さ v [m/s] で、半径 r [m] で水平に振り回すと音が鳴った。B 君は回転する円の中心から $2r$ の位置に立っており、周波数が周期的に変化する音を聞いた。図はこの状況を上から見たものであり、回転する筒の位置は常に B 君の耳と同じ高さであった。A 君と B 君は静止しており、風は吹いていないものとし、音の速さを s [m/s] として以下の間に答えよ。なお、筒の速さ v は音の速さ s に比べるとかなり遅いものとする。



(1) 筒で発生した音の周波数は 1 つだけであり、[気柱の共鳴現象] で発生した基本音であるとする。基本音の周波数 f_B [Hz] を求めよ。

(2) B 君が聞いた音のうち、一番高い周波数 f_H [Hz] と一番低い周波数 f_L [Hz] を、 f_B を用いて答えよ。

(3) B 君が聞いた周波数 f_B, f_H, f_L の音は筒がどの位置にあるときに発せられたものか。その位置を解答欄の図に、 f_B のときは●、 f_H のときは▲、 f_L のときは■で示せ。ただし、複数の箇所がある場合はそれらを全て記せ。また作図の際の補助線と直角記号等も描くこと。

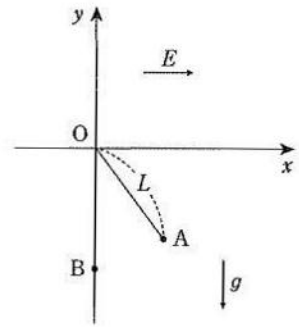
(4) B 君が周波数 f_H の音を聞いたのは、その音が筒で発せられてから T_a [s] 後であった。 T_a を求めよ。

(5) B 君は時刻 t_1 に周波数 f_B の音を聞いてから、時刻 t_2 に高い周波数 f_H を聞き、再び時刻 t_3 に周波数 f_B の音を聞いた。時刻 t_1 から t_3 の間の時間 T_b [s] を求めよ。

(6) B 君は時刻 t_4 に周波数 f_B の音を聞いてから、時刻 t_5 に低い周波数 f_L を聞き、再び時刻 t_6 に周波数 f_B の音を聞いたのち、時刻 t_7 に高い周波数 f_H の音を聞いた。時刻 t_4 から t_7 の間の時間 T_c [s] を求めよ。

III 長さ L [m] の軽い糸の一端を原点 O に固定し、他端に正電荷をもつ質量 M [kg] の小球をつけた。空気抵抗や摩擦などの影響は無視できるものとし、①～⑦に適当な数値または式を入れよ。⑧と⑨は、{ } 中の選択肢から適当な記号を選べ。

図のように、 x 軸の正方向に強さ E [V/m] の一様な電場がある。重力加速度は y 軸の負方向に g [m/s²] とする。いま、小球を点 $A(\frac{3}{5}L, -\frac{4}{5}L)$ で静かに放したところ、そのまま静止した。小球のもつ電荷は(①) [C] である。点 A の電位と、点 A で小球のもつ重力の位置エネルギーは、点 $B(0, -L)$ を基準(ゼロ)として、それぞれ、(②) [V]、(③) [J] である。よって小球を、点 A から点 B に移動させるために必要な仕事は(④) [J] である。



小球を、点 A から点 B へ移動させてから、静かに放した。小球が点 A を通過するとき、その速さは(⑤) [m/s]、糸にかかる張力は(⑥) [N] であった。また、点 B で x 軸の正方向に(⑦) [m/s] 以上の初速度を与えたら、糸がたるまずに一回転した。

次に、小球の持つ正の電荷量と質量をそれぞれ 2 倍にして、ある位置で小球を静かに放したところ、そのまま静止した。その位置の y 座標の値は、点 A の y 座標の値(⑧ [ア. より大きい, イ. と等しい, ウ. より小さい])。小球をその位置から点 B まで移動させるために必要な仕事 [J] は、(④) の値と比較して(⑨ [ア. 大きい, イ. 等しい, ウ. 小さい])。

IV 以下の問に答えよ。

(1) 真空中で向かい合った 2 枚の平行な金属板が正と負に帯電し、金属板間には、強さ E [V/m] の一様な電場がある。図 1 のように、この中に導体あるいは不導体を置いた。導体あるいは不導体を置く前の金属板間の電場の強さは図 2、電位は図 3 のように描かれる。導体あるいは不導体を置いたそれぞれの場合の金属板間の電場の強さ、電位の様子を解答欄のグラフに実線で示せ。ただし、不導体の比誘電率は 2 とし、接地した部分の電位をゼロとする。

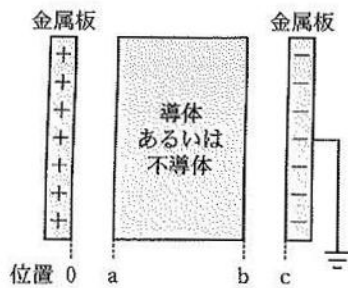


図 1

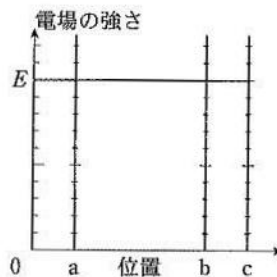


図 2

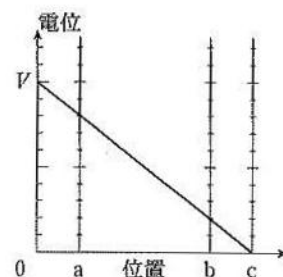


図 3

(2) 下記の単位の中で、エネルギーと同じ次元を持つものをすべて記せ。

- (ア) Bq (イ) cal (ウ) eV (エ) C (オ) Hz
 (カ) J (キ) Pa (ク) W (ケ) Wb (コ) Wh

(3) 図 1 のような長さ L [m] の均質な細い棒の端を接続して、 xyz 座標空間に図 2、図 3 の様なジャングルジムを作った。

- (a) 図 2 のジャングルジムの重心の座標を表せ。
 (b) 図 3 のジャングルジムの重心の座標を表せ。



図 1

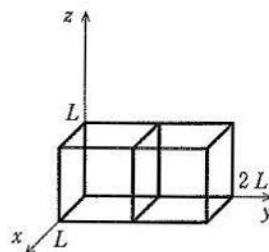


図 2

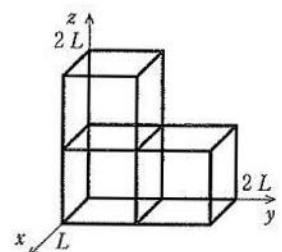


図 3