

【問 2】物理	受験 番号	
---------	----------	--

(1) 以下の問に答えなさい。ただし、答えだけでなく導出過程も示しなさい。

- (a) 図 1-1 に示すように、地球の中心  $O$  から  $H$  だけ離れて、まっすぐに通り抜ける穴を掘ったと仮定する。この穴に沿って平行に  $x$  軸を取り、地球の中心  $O$  の位置を原点とする。ここで、質量  $m$  の球体  $P$  を、初速  $0$  で地表からこの穴に落とすことを考える。球体  $P$  は質点とし、地球の密度は  $\rho$  で一定、開けた穴は地球の大きさに比べて十分小さく、穴によって欠けた体積の影響は無視できるものとする。また、空気抵抗や、穴の内壁との摩擦や衝突などによる抵抗は働かず、球体  $P$  は  $x$  軸と平行に穴に沿ってなめらかに運動するものとする。公転や自転、他の天体との引力の影響も無視できるものとし、重力定数を  $G$  として以下の問に答えなさい。

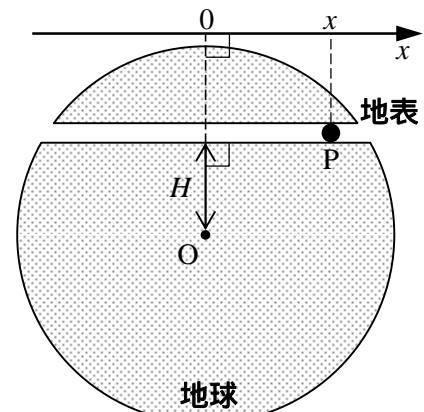


図 1-1

- (i) 球体  $P$  は重力の影響を受け、穴の中で振動運動をする。図 1-1 のように球体  $P$  が位置  $x$  にあり、 $x$  軸方向に加速度  $\ddot{x}$  をもつとき、球体  $P$  の運動を表す運動方程式を導出しなさい。ここで、 $\ddot{x}$  は位置  $x$  の時間に対する 2 階微分を表している。
- (ii) 球体  $P$  の運動の周期  $T$  を、 $H$ 、 $m$ 、 $\rho$ 、 $G$  のうち必要なものを用いて表しなさい。
- (b) 質量  $M$ 、幅  $a$ 、長さ  $b$  で密度が一様な長方形の剛体薄板を考える。厚さは無視できるとして以下の問に答えなさい。

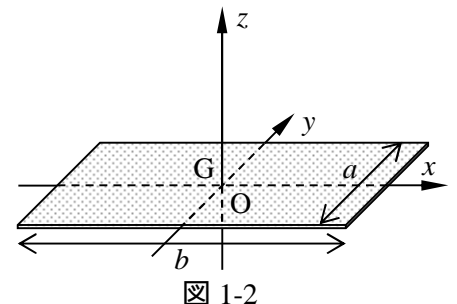


図 1-2

- (i) 図 1-2 に示すように、薄板の重心  $G$  を原点  $O$  とし、薄板が  $xy$  平面と一致するように  $x$  軸、 $y$  軸をとった  $xyz$  直交座標系を考える。 $x$  軸、 $y$  軸、 $z$  軸まわりの慣性モーメントをそれぞれ  $I_x$ 、 $I_y$ 、 $I_z$  としたとき、 $I_z = I_x + I_y$  (薄板の直交軸の定理) が成り立つ。 $M$ 、 $a$ 、 $b$  を用いて  $I_z$  を表しなさい。
- (ii) 次に、図 1-3 に示すように、この薄板を、1 つの頂点を通る固定軸まわりに微小振動させる。固定軸が通る頂点を原点  $O$  として  $x$  軸を鉛直方向に、 $y$  軸を水平方向に取り、それぞれ下向きおよび右向きを正方向とする。このとき、固定軸は  $xy$  平面に垂直、薄板は  $xy$  平面にあり、 $xy$  平面内でのみ運動すると仮定する。また、薄板の重心  $G$  と原点  $O$  を結ぶ線分  $OG$  と  $x$  軸のなす微小角を  $\theta$ 、重力加速度の大きさを  $g$  とし、 $\theta$  は微小なので  $\sin \theta \cong \theta$  が成り立つものとする。固定軸まわりの摩擦を無視できるものとする、この薄板は  $O$  を中心に振り子運動をする。この薄板の振り子運動における角振動数  $\omega$  を、 $M$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $g$  のうち必要なものを用いて表しなさい。

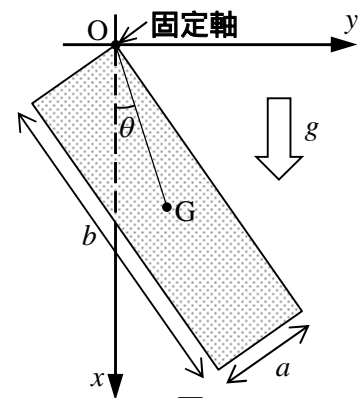


図 1-3

---

以下に記入すること

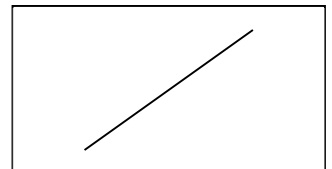
---

( 1 )

(a)

(i)

【裏面につづく】



---

以下に記入すること

---

(ii)

(b)

(i)

---

以下に記入すること

---

(ii)

【問 2】物理	受験 番号	
---------	----------	--

(2) 以下の問に答えなさい。

- (a) 以下の文章中の (ア) から (サ) に入る適切な語句、数式、数字を答えなさい。解答欄に選択肢がある場合には、適切なものにつけなさい。解答欄にそれぞれ(数式又は数字)、(選択)、(語句)と記載してあるので、その指示に従うこと。

系に入る熱を正、系が外に対してする仕事を正とする。ある系に熱  $Q$  を与え、さらに系に対して仕事  $W$  をする。このとき、系の内部エネルギー  $U$  の変化量である  $\Delta U$  は以下の式で表される。

$$\Delta U = \text{ (ア) }$$

これを熱力学第 1 法則と呼ぶ。ここで、外部から熱を一切供給しなくても外部に仕事をす  
るサイクルを行う系(第 1 種永久機関と呼ばれる)を考える。この系(第 1 種永久機関)  
を 1 サイクル動かしたとき、 $\Delta U$  は以下の関係式を満たすことになる。

$$\Delta U = \text{ (イ) }$$

一方で、熱は (ウ) となり、仕事は (エ) となる。ゆえに、第 1 種永久機関は熱力学第 1 法則と (オ) と言える。

1 つの熱源から熱をとり、これを仕事に変えるサイクルを行うものを第 2 種永久機関と呼ぶ。第 2 種永久機関は熱力学第 1 法則と (カ)。熱力学第 2 法則は、第 2 種永久機関という言葉を用いて「第 2 種永久機関は (キ)」という記述で表すことができる。ここで、温度  $T_1$  の高温熱源と  $T_2$  の低温熱源 ( $T_1 > T_2$ )、第 2 種永久機関であるサイクル A、逆の Carnot サイクルである B を考える。A により、低温熱源から  $Q_1$  の熱を受け取り、全て仕事  $W$  に変換する。この  $W$  で逆の Carnot サイクル B を運転する。B は低温熱源から  $Q_2$  をとり、高温熱源へ (ク) の熱を与える。A、B を連結して 1 つのサイクルとみなせば、熱力学第 2 法則の別の記述である「(ケ) の物体から (コ) を受け取り、(サ) の物体へ (コ) を与える以外に何の変化も残さないようなサイクルを行う系は存在しない」が導かれる。

- (b) 1 気圧の圧力がかけられたピストンによって密封したシリンダーの中に、 $100^\circ\text{C}$ 、1 mol の液体の水のみが入った系を考える。この中の水が全て気化するまで加熱したとき、内部エネルギーの変化量を求めなさい。なお、1 mol の液体の水の体積は 18.0 mL、1 mol の水蒸気の体積は 22.4 L、1 気圧は  $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$  とし、 $100^\circ\text{C}$  における水の気化のエンタルピーを  $40.7 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  とする。ただし、答えだけでなく導出過程も示しなさい。
- (c) 平衡状態 1 から平衡状態 2 へ不可逆的に断熱変化させたとする。平衡状態 1 のエントロピーを  $S_1$ 、平衡状態 2 のエントロピーを  $S_2$  とすると、 $S_2 > S_1$  となることを Clausius の不等式を用いて示しなさい。

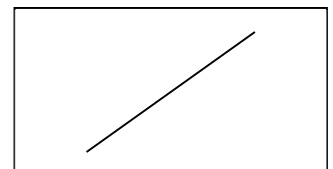
以下に記入すること

( 2 )

(a)

(ア) (数式又は数字)	(イ) (数式又は数字)
(ウ) (選択) $Q > 0$ ・ $Q = 0$ ・ $Q < 0$	(エ) (選択) $W > 0$ ・ $W = 0$ ・ $W < 0$
(オ) (選択) 矛盾する ・ 矛盾しない	(カ) (選択) 矛盾する ・ 矛盾しない
(キ) (語句)	(ク) (数式又は数字)
(ケ) (語句)	(コ) (語句)
(サ) (語句)	

【裏面につづく】



---

以下に記入すること

(b)

---

以下に記入すること

---

(c)



【問 2】物理	受験 番号	
---------	----------	--

( 3 ) 以下の問に答えなさい。ただし、答えだけでなく導出過程も示しなさい。

- (a) 図 3-1 に示すように、無限に続く導体の表面から距離 $d$ だけ離れた位置に、半径 $a$  ( $a \ll d$ ) の導体球が置かれているとき、両者の間の電気容量 $C$ を求めなさい。ただし、全体は真空中にあり、真空の誘電率は $\epsilon_0$ とする。

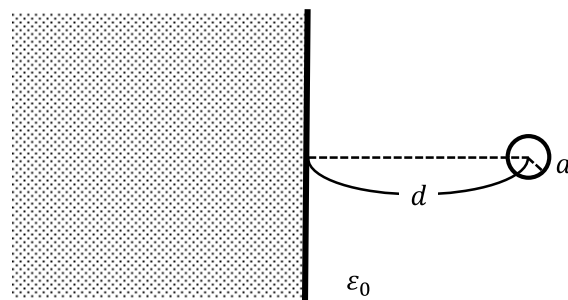


図 3-1

- (b) 図 3-2 に示すように、鉛直下向きに無限に延びる幅が $L$ で電気抵抗が無視できるコの字型の導線に対して、質量 $m$ 、抵抗 $R$ の導線 $ab$ を水平にかけて閉回路を作る。この閉回路に対して垂直に一樣な強さ $B$ の静磁場をかけて、導線 $ab$ がコの字型の導線に接触しながら自由落下したとき、その終端速度を求めなさい。ただし、全体は真空中に置かれ、導線間の摩擦力、ならび閉回路内の誘導電流の作る磁場は無視できるものとし、重力加速度の大きさは $g$ とする。

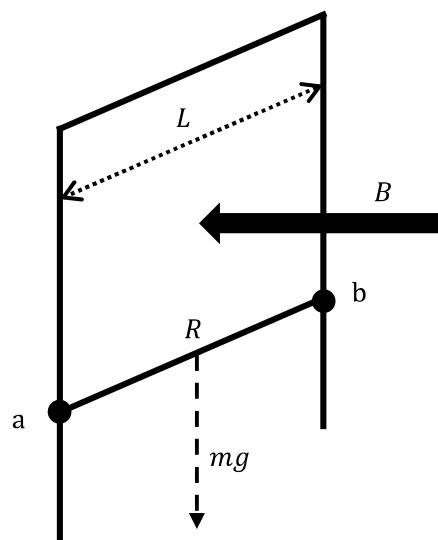


図 3-2

---

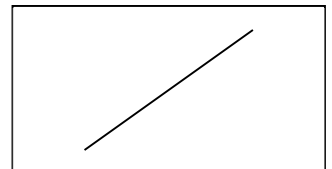
以下に記入すること

---

( 3 )

(a)

【裏面につづく】



---

以下に記入すること

---

---

以下に記入すること

---

(b)