後期日程

平成３０年度入学試験（後期日程）

物　理

（　理　工　学　部　）

解答上の注意事項

1. 「解答始め」の合図があるまで，この問題冊子を開いてはいけません。
2. この問題冊子は全部で８ページあります。落丁，乱丁又は印刷不鮮明の箇所があったら，手を挙げて監督者に知らせなさい。
3. 解答紙４枚と計算紙１枚は，糊付けされています。「解答始め」の合図があったら，初めにすべての用紙を丁寧に切り離しなさい。上手に切り離せない場合や誤って破いてしまった場合は，手を挙げて監督者に知らせなさい。
4. 問題は $\boxed{1}$ から $\boxed{4}$ まで４問あります。解答のみを，解答紙の指定された箇所に記入しなさい。
5. 解答しない問題がある場合でも，解答紙４枚すべてを提出しなさい。
6. 試験終了後，問題冊子と計算紙は持ち帰りなさい。

1　図のように，質量の無視できる長さ ℓ の棒の一端に取り付けられた質量 m の小球が，棒の他端を中心に鉛直面内で円軌道に沿って運動する。重力加速度の大きさを g とし，空気抵抗は無視できるものとして，以下の問いに答えよ。

(1)　最下点での小球の速さが v_0 で，そこから角度 θ の位置での小球の速さが v であるとき，力学的エネルギー保存の式を書け。

(2)　小球が同じ向きの回転をし続けるための，v_0 の満たすべき条件を不等式を用いて表せ。

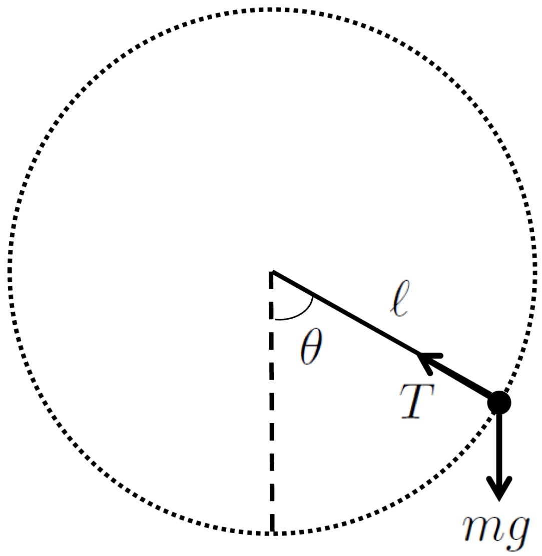
(3)　(2) の条件が満たされず，小球が円軌道に沿って往復運動をする場合を考える。小球が最も高い位置に来たときの角度を α とし，$\cos\alpha$ を v_0，g，ℓ を用いて表せ。

(4)　小球が最下点から θ の角度にあるときの，小球と円運動の中心を結ぶ方向の運動方程式を書け。その方向に小球が棒から受ける力を T とし，小球が引かれるとき $T > 0$ とする。ここで，各瞬間において，小球と円運動の中心を結ぶ方向の加速度は等速円運動の場合と同じになる。

(5)　(1) と (4) の結果から v を消去し，T を m，g，v_0，ℓ，θ を用いて表せ。

次に，棒の代わりに糸を用いて，小球を運動させる場合を考える。糸の重さは無視できるものとする。糸は小球を引くことはできるが押すことはできない。

(6)　小球が円軌道に沿って同じ向きの回転をし続けるための，v_0 の満たすべき条件を不等式を用いて表せ。


ℓ
θ
T
mg

2

滑らかに動くピストンを備えたシリンダーが，気圧 p_0 の大気中に鉛直に立てられていて，中には単原子分子の理想気体が閉じ込められている。ピストンの質量を M，断面積を S とする。シリンダーとピストンは断熱材でできており，これらの熱容量は無視できるとする。また，シリンダーの底には体積を無視できるヒーターが取り付けてあり，気体に熱を加えることができる。重力加速度の大きさを g とする。

はじめ，ピストンは静止しており，ピストンの下面はシリンダーの底から高さ a の位置にあった（図１）。次に，理想気体にゆっくりと熱を加えて，圧力を一定に保ったまま，ピストンを $2a$ の位置まで上昇させた（図２）。

(1)　図１の状態から図２の状態になるまでに理想気体が外部にした仕事を求めよ。

(2)　図１の状態から図２の状態になるまでの内部エネルギーの増加量を求めよ。

次に，シリンダーの底とピストンの下面をばねでつなぎ，単原子分子の理想気体を閉じ込めた。このときの理想気体の圧力は大気圧と等しく，ばねの長さは ℓ_1 であった（図３）。続いて，理想気体にゆっくりと熱を加えて，ばねが自然長 ℓ_0 となるまでピストンの位置を上昇させた（図４）。ただし，ばねの体積と熱容量は無視でき，ばねの自然長とばね定数は温度によって変化しないとする。

(3)　ばね定数を求めよ。

(4)　図３の状態から図４の状態へと変化する過程において，ばねの長さが ℓ であるときの理想気体の圧力 p を求めよ。

(5)　図３の状態から図４の状態になるまでに理想気体が外部にした仕事を求めよ。ただし，この過程において，気体がする仕事は，気体の状態変化を表す $p-V$ 図（p は気体の圧力，V は体積）上でグラフが V 軸との間につくる面積に等しいことに注意せよ。

(6)　図３の状態から図４の状態になるまでに理想気体に加えられた熱量を求めよ。

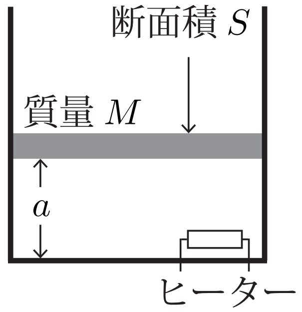


図 1

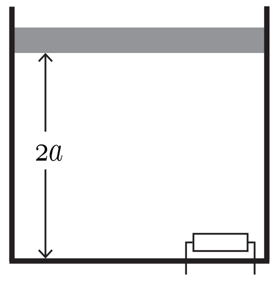


図 2

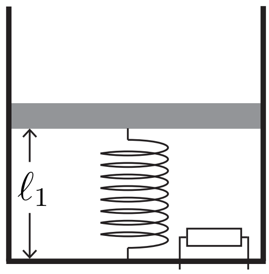


図 3

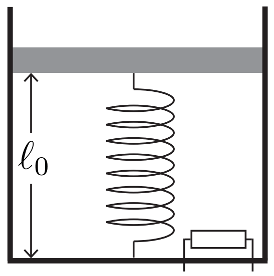


図 4

3 図のように，高さ h，幅 d の断面をもち，長さ ℓ の直方体の導体がある。導体内には，質量 m，電荷 $-e$ の自由電子が，単位体積あたり n 個存在しているとする。両端面 S_1–S_2 間に電位差を与えることにより，導体内には y 軸方向に大きさ E の一様な電場が形成され，電子は電場から力を受ける。電子は，電場による加速と原子との衝突を繰り返しながら移動することになる。 ここで，電子は原子と衝突するまで一定の時間 T の間に等加速度運動を行い，衝突によってすべての運動エネルギーを失うとする。

(1)　電子の加速度の大きさを求めよ。

(2)　原子と衝突する直前の電子の運動エネルギーを求めよ。

(3)　電流の大きさは，単位時間あたりに断面を通過する電気量で表される。電子の平均速度を考え，導体を流れる電流の大きさを求めよ。

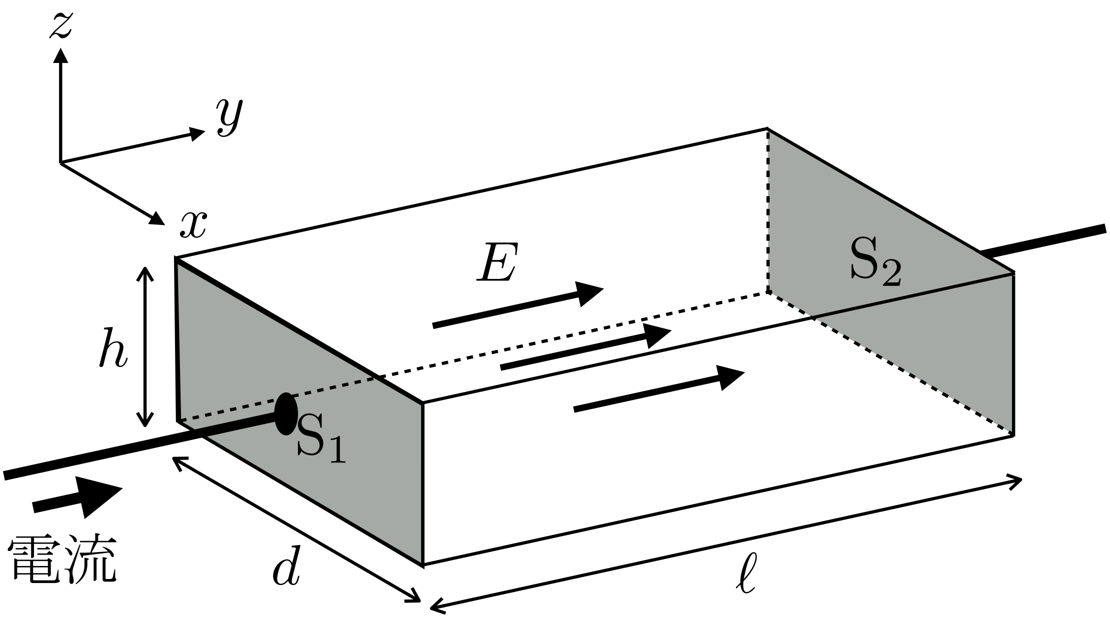
(4)　単位時間あたりに，導体中のすべての電子が失う運動エネルギーの総和を求めよ。この損失するエネルギーがジュール熱となる。

さらに，z 軸の正の方向に磁束密度 B の一様な磁場をかける。以下では簡単のためにすべての電子は一定の大きさ v の平均速度で運動しているとする。

(5)　磁場をかけた直後に，電子はローレンツ力を受けて運動の方向が曲げられる。電子が曲げられる方向について，以下の (a) ～ (d) の中から正しいものを選び，記号で答えよ。

(a) x 軸の正の方向
(b) x 軸の負の方向
(c) z 軸の正の方向
(d) z 軸の負の方向

(6)　ローレンツ力により曲げられた電子は導体の側面に集まり電場を形成する。十分に時間が経った後，一様な電場が作られ，それによる力とローレンツ力がつり合い，S_1–S_2 間に一定の電流が流れることになる。このとき，側面の間の電位差（ホール電圧）を求めよ。



z
y
x
E
S_2
h
S_1
電流
d
ℓ

$\boxed{4}$ 核反応に関する以下の文章を読み，それぞれの空欄にあてはまる数式や記号を答えよ。

(1) 原子核は核子により構成されているが，それらの核子をバラバラの状態にしたときの質量の和と，それらの核子が原子核として結合しているときの原子核の質量を比べると，原子核として結合しているときの質量の方が小さい。この質量の差を質量欠損と呼ぶ。

この質量欠損 $\varDelta m$ は陽子の数が Z，中性子の数が N である質量 M の原子核について，陽子の質量を m_p，中性子の質量を m_n とすると

$$\varDelta m = \boxed{}$$

と書ける。

(2) ヘリウム原子核とベリリウム原子核が以下の核反応を起こし，ある原子核と中性子がそれぞれ 1 個生成された。

$${}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{9}_{4}\mathrm{Be} \to \boxed{} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$$

(3) 太陽内部では水素原子核 4 個から，いくつかの反応を経て，ヘリウム原子核 1 個が生成され，エネルギーが放出されている。それらはまとめて以下のように表される。

$$4\,{}^{1}_{1}\mathrm{H} \quad \to \quad {}^{4}_{2}\mathrm{He} + 2\mathrm{e}^{+} + 2\nu$$

ここで，e^{+}，ν はそれぞれ陽電子とニュートリノを表している。

この核反応により，太陽が毎秒 E [J] のエネルギーを放出しているとする。${}^{1}_{1}\mathrm{H}$，${}^{4}_{2}\mathrm{He}$ の原子核の質量を，それぞれ m_1 [kg]，m_4 [kg] とし，真空中の光速を c [m/s] とすると，太陽内部で毎秒 $\boxed{}$ [kg] の水素原子核が消失していることになる。ここで，e^{+}，ν のエネルギーは無視している。

(4) 2 個の重水素原子核 ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$ が以下の核反応を起こした。

$${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} \to {}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$$

2 個の重水素原子核が原子核間の静電気力を無視できるほど十分に遠く離れたところから，一直線上を互いに逆向きに同じ運動エネルギー E_0 [J] をもって

近づくとする。上の核反応を起こすには，重水素原子核の間の静電気力に打ち勝って，お互いの核力がはたらく程度の距離まで近づく必要がある。その距離を r_0 [m] として，電気素量を e [C]，クーロンの法則の比例定数を k [$\mathrm{N \cdot m^2/C^2}$] とすると，この反応を起こすために必要な運動エネルギー E_0 [J] の最小値は $\boxed{}$ [J] となる。