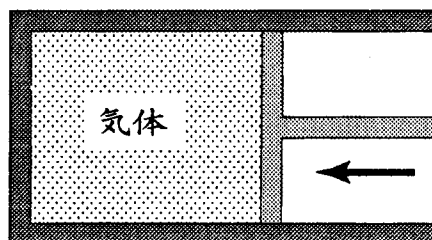


物 理

1 以下の各問いにおける文章中の(1)~(10)に、適切な数式、語句、または文章を記入せよ。(20点)

問 1 水平でまっすぐなレール上を、一定の加速度 $a(a > 0)$ で運動している電車内で小球を静かに落とし、その落下中の運動を車内で観測した。小球は、大きさ の加速度で運動しているように見え、その軌道は になる。ただし、重力加速度を g とする。

問 2 図のように理想気体をシリンダー内に閉じこめ、熱平衡状態にした。この気体の体積をゆっくり圧縮した。このとき熱の出入りがないよう圧縮したときは、外からなされた仕事の分だけ気体の が増加する。一方、温度を一定に保って圧縮した場合には、外からなされた仕事は として放出される。したがって、圧縮した後の温度は、熱の出入りがないようにした場合の方が、温度を一定に保った場合より、 なる。



問 3 X線を静止している電子にあてたとき、X線の波長が長くなる現象をコンプトン効果という。この現象は、振動数 ν 、波長 λ の X線が、エネルギー $E =$, 運動量 $p =$ を持つ光子として、電子に衝突すると考えて議論すると定量的に説明することができる。ただし、プランク定数を h とする。

問 4 ${}^4_2\text{He}$ の原子核は陽子 2 個と中性子 2 個から作られている。しかし、自由な陽子や中性子としてバラバラに存在しているときの全質量に比べて、 ${}^4_2\text{He}$ の原子核の質量は、 になっている。この質量差を という。水素の原子核からヘリウムの原子核が作られる反応は、太陽の中心部のような高温・高圧の状態でない起こらない。それはなぜか。

2 地球の周囲を速さ v で等速円運動している質量 m の人工衛星がある。地球の半径を R 、地球の質量を M 、万有引力定数を G として、以下の各問いに答えよ。 (15 点)

問 1 人工衛星は地球表面から高さ h のところにある。このとき、地球と人工衛星の間にはたらく万有引力の大きさは

$$\frac{GMm}{(R+h)^2}$$
 で与えられる。

(1) 人工衛星の速さは $v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$ となることを示せ。

(2) 地球の周囲を回るすべての人工衛星は、ケプラーの第 3 法則(周期と長半径の関係に関わる法則)に従う。人工衛星の軌道が円である場合についてこのことを示せ。

(3) 人工衛星の高さを h から $2h$ に上昇させて再び等速円運動を行わせたい。そのために必要なエネルギーはいくらか。

問 2 速さ v の人工衛星から質量 $\frac{m}{2}$ の物体を切り離し、(発射直前の)人工衛星から見て速さ v_0 ($v_0 \geq 0$) で後方に発射した。

(1) 人工衛星の発射直後の速さを求めよ。

(2) 質量 $\frac{m}{2}$ の物体を静かに $v_0 = 0$ で切り離したとき、人工衛星はどのような運動をするか。

(3) 人工衛星の運動は v_0 の大きさに応じてどのように変化するかを述べよ。

問 1 電気力線によって電界を表すことができる。電界の強さが E のところの電気力線の本数は、電気力線に垂直な単位面積あたり E 本であると約束する。この場合は、正の電荷 Q から出る電気力線の総本数は $\frac{Q}{\epsilon_0}$ である。ただし、 ϵ_0 は真空の誘電率である。

広い空間に置かれている面積 S の広い金属平板に、全部で Q の電荷が一様に分布している。

- (1) 平板の中心付近の電気力線のようすを書け。
- (2) この平板の表面から d だけ離れた点での電界の強さ E_A を求めよ。
- (3) 負の点電荷 $-q$ をこの平板の表面から d だけ離れた点まで移動させるのに必要なエネルギーを求めよ。
- (4) この平板と同じもう一つの平板に $-Q$ の電荷を一様に帯電させ、 d だけ離してちょうど平行に向かい合わせた。この平板間の電界の強さ E_B と E_A の関係を求めよ。

問 2 図のように抵抗の無い導体棒 ab , cd , ef と抵抗 R とからなる平面回路が磁束密度 B の一様で一定な磁界(鉛直上向き)中に水平に置かれている。導体棒 cd , ef は距離 l を隔てて平行に固定されている。導体棒 ab は、この上に直角に置かれたままで、左右になめらかに動けるようになっている。導体棒 ab が運動すると、導体棒に誘導起電力が生じ誘導電流が流れる(電磁誘導現象)。導体棒 ab を矢印の向きに一定の速さ v で動かす。

- (1) この回路に生じる誘導起電力 V の大きさと定常電流 I の向きを求めよ。
- (2) 導体棒 ab が磁界から受ける力 F の大きさと向きを求めよ。
- (3) 回路に発生する単位時間当たりのジュール熱を F , v を使って求めよ。
- (4) この現象は、自由電子に働くローレンツ力によっても説明をすることが可能である。導体棒 ab に電流が生じる理由をこのローレンツ力によって簡潔に説明せよ。

