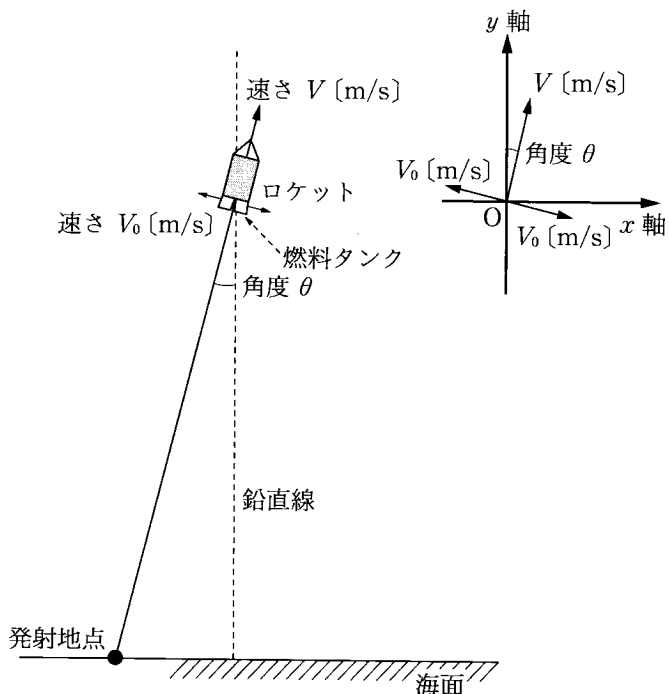


1

図のように、鉛直方向と角度  $\theta$  をなす方向に一定の速度  $V$  [m/s] で上昇中のロケットがある高度に達すると、燃焼の終わった燃料タンクを切り放す。切り放された燃料タンクを確実に回収するため、いくつかの条件下で燃料タンクが海面上に達するまでにどのような運動を行うかを調べた。燃焼し終わった燃料タンクの質量を  $M$  [kg]、重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>]、ロケットも燃料タンクもその運動には空気抵抗の影響はなく、小物体として扱えるものとする。また、燃料タンクの運動は、燃料タンクが切り放される位置を原点  $O$  とし、水平方向を  $x$  軸、鉛直方向を  $y$  軸とする  $x$ - $y$  平面内で行われるとして次の各問いに答えよ。



- (1) 燃料タンクが静かにロケット本体を離れるとしたとき、燃料タンクが切り放されてから  $t$  [s] 後のその鉛直方向の位置を  $y$  [m] とする。 $y$  を  $t$  で表せ。

次に、燃料タンクの切り放しを確実にを行うために、燃料タンクを同じ  $\frac{M}{2}$  [kg] の質量の 2 つの部分に分割してロケットの軌道に対して垂直な方向に切り放す場合を考える。切り放しには、ばねの力が用いられる。ばねの力はロケットの軌道に対して垂直な方向に作用し、分割された燃料タンクの 2 つの部分はロケット本体に対しそれぞれ等しい速度  $V_0$  [m/s] で反対方向に打ち出される。ただし、ばねの力はロケット本体には作用せず、ばねの質量は考えないものとする。

- (2)  $x$  軸の正および負の方向に打ち出される 2 つの燃料タンクの  $t$  [s] 後の鉛直方向の位置をそれぞれ  $y_1$  [m] および  $y_2$  [m] とするとき、 $y_1$  および  $y_2$  を  $t$  で表せ。
- (3) (1) で得た  $y$  を  $y_1$  および  $y_2$  で表せ。

新たに、燃料タンクを異なる質量の 2 つの部分に分割してロケットの軌道に対して垂直な方向に切り放す場合を考える。 $x$  軸の正および負の方向に打ち出される 2 つの燃料タンクの質量をそれぞれ  $m_1$  [kg] および  $m_2$  [kg] ( $M = m_1 + m_2$ ) とする。切り放しにはばねの力が用いられ、そのばねは (2) で用いたばねと同じで、燃料タンクの切り放しに用いたばねのエネルギーも (2) の場合と同じである。また、ばねの力はロケットの軌道に対して垂直な方向に作用し、ロケット本体には作用しないものとする。

- (4)  $x$  軸の正および負の方向に打ち出される 2 つの燃料タンクの  $t$  [s] 後の鉛直方向の位置をそれぞれ  $y_3$  [m] および  $y_4$  [m] とするとき、 $y_3$  および  $y_4$  を  $t$  で表せ。
- (5) (1) で得た  $y$  を  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $y_3$  および  $y_4$  で表せ。

2

半径  $r$  [m]、長さ  $l$  [m] の導体の両端に電圧  $V$  [V] を加えたときに導体を流れる電流と導体の抵抗について、導体中を移動する自由電子の運動をもとにして考えてみよう。導体中の自由電子は電界によって加速されるが、正イオンと衝突して減速される。このように、自由電子は加速と減速を繰り返しながら導体中を移動する。自由電子の数はきわめて多いので、全体として平均すると自由電子は一定の速さ  $v$  [m/s] で導体中を移動すると考えられる。

電気素量を  $e$  [C]、アボガドロ定数を  $N_0$  [1/mol]、導体の密度を  $d$  [kg/m<sup>3</sup>]、導体を構成している原子の原子量を  $A$ 、また、導体中の自由電子の数は導体を構成している原子の数に等しいとして、次の各問いに答えよ。

- (1) 導体中を一定の速さ  $v$  [m/s] で移動している自由電子は、正イオンから速さ  $v$  [m/s] に比例する抵抗力  $kv$  [N] ( $k$  は比例定数) を受けるものと考え、 $v$  [m/s] を求めよ。
- (2) 導体中の単位体積あたりの自由電子数  $N$  [個/m<sup>3</sup>] を求めよ。
- (3) 導体を流れる電流を、 $N$  と  $v$  を用いて表せ。
- (4) この導体の抵抗率を、 $N$  と  $k$  を用いて表せ。
- (5) この導体で発生する単位時間当たりのジュール熱を、 $N$  と  $k$  を用いて表せ。
- (6) 導体中の全自由電子が、抵抗力  $kv$  [N] を受けることによって単位時間に失うエネルギーを、 $N$  と  $k$  を用いて表せ。

3

温度 300 K、圧力 5.00 気圧、体積  $1.00 \times 10^{-2} \text{ m}^3$  のヘリウムガス (理想気体とみなせる) が、なめらかに移動できるピストン付き容器にはいつている。今、ピストンに加える圧力を 5.00 気圧に保ったまま、このヘリウムガスを 400 K の温度まで熱した。1 気圧を  $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、標準状態 (273 K、1 気圧) における 1 mol の理想気体の体積を  $2.24 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ 、ヘリウムガスの定圧モル比熱を  $20.9 \text{ (J/mol}\cdot\text{K)}$  として、次の各問いに答えよ。答えは各問いの解答群の中から最も適当なもの一つを選び、解答欄の記号にマークせよ。

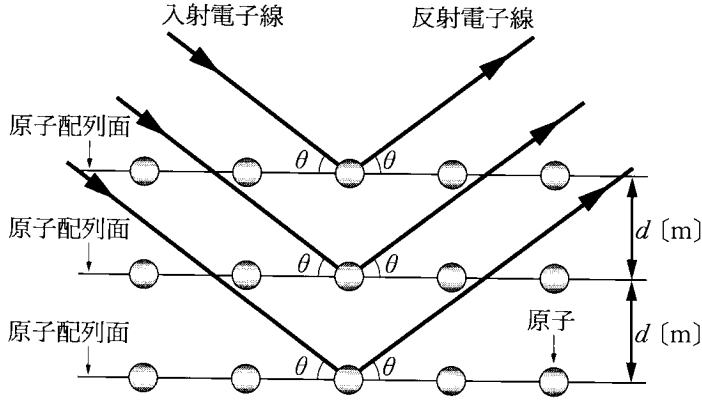
- (1) ヘリウムガスの体積は何  $\text{m}^3$  になったか。
- (2) ヘリウムガスが外部に対してした仕事は何 J か。
- (3) この容器には何 mol のヘリウムガスがいつているか。
- (4) ヘリウムガスを 300 K から 400 K まで熱するのに何 J の熱量が必要であったか。
- (5) ヘリウムガスの定積モル比熱は何  $\text{J/mol}\cdot\text{K}$  か。

[解答群]

- |                              |                          |                          |                          |                          |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| (1) ア. $7.50 \times 10^{-3}$ | イ. $1.00 \times 10^{-2}$ | ウ. $1.33 \times 10^{-2}$ | エ. $2.24 \times 10^{-2}$ | オ. $3.28 \times 10^{-2}$ |
| (2) ア. 0                     | イ. $1.15 \times 10^3$    | ウ. $1.26 \times 10^3$    | エ. $1.67 \times 10^3$    | オ. $6.26 \times 10^3$    |
| (3) ア. $3.70 \times 10^{-1}$ | イ. $4.46 \times 10^{-1}$ | ウ. 1.00                  | エ. 1.68                  | オ. 2.03                  |
| (4) ア. $2.09 \times 10^3$    | イ. $4.24 \times 10^3$    | ウ. $7.73 \times 10^3$    | エ. $9.32 \times 10^3$    | オ. $3.51 \times 10^4$    |
| (5) ア. 1.52                  | イ. 5.74                  | ウ. 6.92                  | エ. 12.7                  | オ. 25.6                  |

4

図のように、原子が規則的に並んでいる間隔  $d$  [m] の原子配列面に対し、角度  $\theta$  をなすように電圧  $V$  [V] で加速された電子線を入射し、同じ角度  $\theta$  で反射した電子線の強度を検出器で測定した。電子の質量を  $m$  [kg]、電荷を  $-e$  [C] ( $e$  は電気素量)、プランク定数を  $h$  [J·s] として、次の各問いに答えよ。



- (1) 電圧  $V$  [V] で加速された電子の速さを求めよ。ただし、電子の初速度は  $0$  m/s とする。
- (2) 加速された電子のド・ブROI波長  $\lambda$  [m] と加速電圧  $V$  [V] の間の関係式を求めよ。
- (3) 原子配列面に入射する波長  $\lambda$  [m] の電子線の入射角度  $\theta$  を  $0^\circ$  から少しずつ大きくしていくと、反射した電子線の強度には極大と極小が交互にみられる。強度が最初の極大を示すときに、 $d$ ,  $\lambda$ ,  $\theta$  の間に成り立つ関係式を求めよ。
- (4) 入射角度  $\theta$  をさらに増大させると、反射した電子線の強度は  $\theta = 30^\circ$  で 2 回目の極大を示した。原子配列面の間隔  $d$  [m] を求めよ。ただし、 $V = 2.42 \times 10^3$  V,  $e = 1.60 \times 10^{-19}$  C,  $m = 9.00 \times 10^{-31}$  kg,  $h = 6.60 \times 10^{-34}$  J·s とする。
- (5) 入射角度を  $\theta = 30^\circ$  に固定し、電子の加速電圧の値を  $V = 2.42 \times 10^3$  V から少しずつ大きくしていった。反射した電子線の強度が次に極大値を示す加速電圧を求めよ。