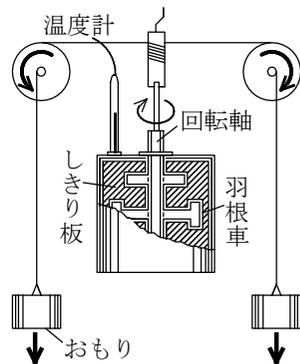


1.

図はジュールの実験装置の略図である。水の入った容器の中に羽根車が入れられ、この回転軸の上部には、ひもが巻きつけてある。ひもはおもりの降下により左右に引かれ、羽根車は回転し、水温が上昇する。ジュールはこの実験より、熱の仕事当量を決定した。この図を参考として、次の問いに答えよ。

- (1) この装置を使って、次の条件で実験を行った。両側のおもりの質量をそれぞれ 13 kg とし、 1.6 m の降下を 20 回繰り返した。このとき水温が $0.31\text{ }^\circ\text{C}$ 上昇した。容器の中の水の質量は 6300 g である。この実験結果から、熱の仕事当量を求めよ。ただし、おもりの降下速度は 6 cm/s とゆっくりであって、水に加えられた仕事はすべて水温の上昇に使われたとする。また 1 g の水を $1\text{ }^\circ\text{C}$ 上昇させる熱量は 1 cal とよばれ、重力加速度の大きさは 9.8 m/s^2 とする。
- (2) (1)の実験条件を変えて、おもりの降下速度が速い実験を行うとすれば、どのようなことを考慮して、熱の仕事当量を求めればよいか。また、求められた熱の仕事当量は(1)で求めた値と比べてどうなるか。
- (3) ジュールの実験から、「熱の仕事当量」が求められた。「熱の仕事当量」にどのような意味があるかを、エネルギー保存則と関連づけて、 100 字程度で述べよ。



解答 (1) 4.2 J/cal

- (2) おもりの降下速度が速い場合は、運動エネルギーおよび、空気抵抗も考慮しなければならない。したがっておもりの重力による位置エネルギーの減少量から、得た運動エネルギーと、空気の抵抗力に抗してした仕事を引いた値が、水温の上昇に使われると考えればよい。これらを考慮して J を求めれば、(1)で求めた値と同じになる。しかし、実際には空気の抵抗力に抗してした仕事を求めることが難しいので、これを無視して求めると、容器の中で熱に変わる力学的エネルギーを実際より多く計算することになり、求められる J の値は大きくなる。
- (3) エネルギーは種々に姿を変えるが、その総量には変化はない。その量を J ではかったとき、 cal ではかったときの数値の換算率が熱の仕事当量である。

解説

- (1) おもりの降下速度は 6 cm/s とゆっくりなのでおもりの運動エネルギーおよび空気の抵抗力による力学的エネルギーの損失は小さく、位置エネルギーに比べて無視でき

る。したがって、重力による位置エネルギーの減少が全部水温の上昇に使われると考えてよいから、熱の仕事当量を $J[\text{J/cal}]$ とすると

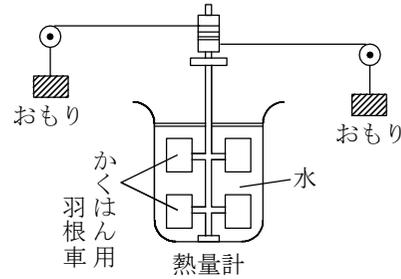
$$13 \times 9.8 \times 1.6 \times 2 \times 20 = J \times 6300 \times 1 \times 0.31$$

$$\text{ゆえに } J = 4.2 \text{ (J/cal)}$$

- (2) おもりの降下速度が速い場合は、運動エネルギーおよび空気の抵抗力も考慮しなければならない。したがって、おもりの重力による位置エネルギーの減少量から、得た運動エネルギーと、空気の抵抗力に抗してした仕事を引いた値が、水温の上昇に使われると考えればよい。これらを考慮して J を求めれば、(1)で求めた値と同じになる。しかし、実際には空気の抵抗力に抗してした仕事を求めることが難しいので、これを無視して求めると、容器の中で熱に変わる力学的エネルギーを実際より多く計算することになり、求められる J の値は大きくなる。
- (3) エネルギーは種々に姿を変えるが、その総量には変化がない。その量を J ではかったとき、 cal ではかったときの数値の換算率が熱の仕事当量である。

2.

仕事と熱との量的な関係を詳しく調べたのはジュールである。彼は、液体をかきまわせばその温度が上昇するという事実を利用した。図は彼の行った実験の装置で、2つのおもりが同時に落下するときに羽根車を回転させる仕事と、羽根車が液体をかきまわして発生した熱量の関係を調べた。その結果、仕事 W [J] と熱量 Q [cal] とは比例関係 $W = JQ$ にあることがわかった。



その比例定数 J [J/cal] を熱の仕事当量という。仕事と熱量に関する次の各問いに答えよ。ただし、重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 とする。

- (1) おもりを 2.0 m の高さ落下させ、羽根車を回転させて水をかくはんした。それを 20 回くりかえした。この間に重力がおもりにした仕事はいくらか。ただし、2つのおもりの質量の和を 20 kg とする。
- (2) (1)のおもりの落下によって水の温度が $0.37 \text{ }^\circ\text{C}$ 上昇した。水と熱量計全体の熱容量を $5.0 \times 10^3 \text{ cal/}^\circ\text{C}$ とすると、おもりの落下によって発生した熱量はいくらか。ただし、熱量計は外部から完全に断熱されており、熱の出入りはないものとし、おもりの行った仕事はすべて水の温度変化に使われたものとする。また、 1 cal とは水 1 g の温度を $1 \text{ }^\circ\text{C}$ 上昇させる熱量である。
- (3) (1)と(2)の結果を用いて熱の仕事当量を求めよ。

解答 (1) $7.8 \times 10^3 \text{ J}$ (2) $1.9 \times 10^3 \text{ cal}$ (3) 4.2 J/cal

解説

(1) 仕事 = おもりの位置エネルギー \times 回数

$$W = 20 \times 9.8 \times 2.0 \times 20 = 7.84 \times 10^3 \quad \text{ゆえに} \quad 7.8 \times 10^3 \text{ J}$$

(2) 発生した熱量 = 熱容量 \times 上昇温度

$$Q = 5.0 \times 10^3 \times 0.37 = 1.85 \times 10^3 \quad \text{ゆえに} \quad 1.9 \times 10^3 \text{ cal}$$

(3) 熱の仕事当量 : $J = \frac{W}{Q} = \frac{7.84 \times 10^3}{1.85 \times 10^3} = 4.2 \text{ (J/cal)}$