

事例1 ワイヤレスマウスを用いた時間計測

1 指導の工夫

運動する物体の速度、加速度を調べる方法としては、従来、テープ式の記録タイマーを用いる方法が広く用いられてきたが、テープの摩擦の影響が大きいことや、実験で得られたテープの解析に手間と時間がかかる等の問題点がある。

本事例では、光センサーを用いることで、テープによる摩擦等がない状態で物体の速度を計測し、パソコンに取り込んだデータをExcel等の表計算ソフトで処理することによって、物体の運動の様子を速やかにグラフに表す教材の開発を行った。なお、研究を進めるにあたって、次の二つの点に留意した。

- ・ 入手が容易で、安価な材料を用いること。
- ・ 特別なインターフェイスを使用せず、市販のワイヤレスマウスを利用することで、製作を簡単にすると共に、製作ミスや故障の影響がパソコン本体に及びにくくすること。

2 実験装置について

(1) 原理

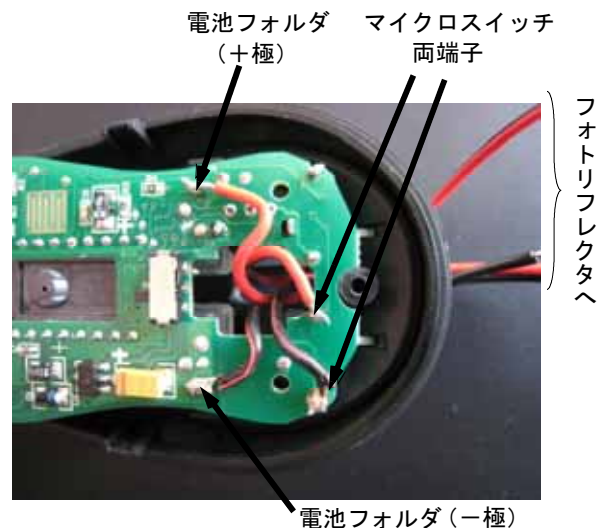
パソコンのマウスをクリックするとタイマーがスタートし、その後はクリックされた瞬間の時刻を記録し続けるようなソフトウェアとワイヤレスマウスを用意する。ワイヤレスマウスのクリックを検出するためのマイクロスイッチに赤外線を用いた光センサーを接続しておき、反射体が接近したときにセンサーが反応してマウスがクリックされた状態になるように工夫すると、光センサーが反射体に接近した時刻をパソコンに取り込むことができる。ワイヤレスマウス及び光センサーを力学台車に載せて運動させ、反射体によって光センサーが反応するようにすると、力学台車の速さや加速度の大きさを測定することができる。この目的のための光センサーとして、フォトリフレクタを用いる。フォトリフレクタは反射型のフォトインタラプタとも呼ばれ、赤外線LEDとフォトトランジスタが一体となっているもので、LEDに電流を流して常に発光させておき、赤外線の反射体が接近すると、反射された赤外線によってフォトトランジスタが導通するようになっている。

(2) 製作のための材料

- ① ワイヤレスマウス（単4乾電池2本で動作し、電波到達距離10m程度のもの。）
- ② フォトリフレクタ（電子部品を扱うインターネットショップ等で入手できる。価格は100円～250円）
- ③ 50Ωの抵抗×1
- ④ リード線4本（ワイヤレスマウスとフォトリフレクタを接続するためのもの 30cm程度）

(3) 製作方法

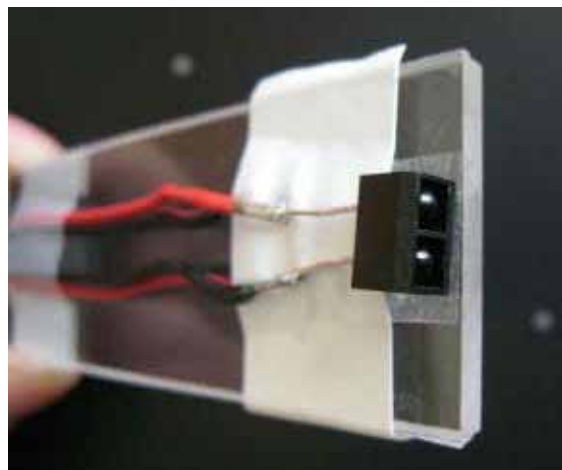
- ① ワイヤレスマウスを分解する。
- ② 4本のリード線を、左クリックのためのマイクロスイッチの両端子、及び電池フォルダの両端子に、それぞれ半田付けする。



③ マウスのホイールを取り外してできた隙間から4本のリード線を外部に出す。

④ 電池フォルダーからのリード線のどちらかに電流制限のために 50Ω 程度の抵抗を直列に入れ、極性に注意してフォトリフレクタのLEDに接続する。

⑤ マイクロスイッチからのリード線を、フォトリフレクタのフォトトランジスタに接続する。(極性があるため、動作しなければ逆に接続してみる。)



フォトリフレクタ

(4) ソフトウェアについて

① 本事例で使用したソフトウェア（自作）

本事例では、那須清峰高等学校 情報技術科 赤木 潤子 教諭に依頼して作成していただいたものを使用した。Visual Basicで作成されており、マウスの左または右のクリックによってタイマーがスタートし、それ以降に左または右のクリックが起こると、その時刻を10 m s の精度で記録し続ける。なお、記録されたデータは、CSV形式で保存することができ、Excel等の表計算ソフトで加工することができる。



ファイルの書き出し

CSV ファイルに書き出し

	A	B	C	D	E
1	Left Side	0.28	0.35	0.47	0.56
2					
3	Right Side	1.21	1.5	1.59	1.69
4					
5					
6					
7					

使用したソフトウェアの画面と書き出されたデータ

② フリーソフトウェア

ソフトウェアを自作することが困難な場合は、フリーソフトウェアの中にストップウォッチに関するソフトウェアがいくつかあるので、それらをダウンロードして利用することができる。

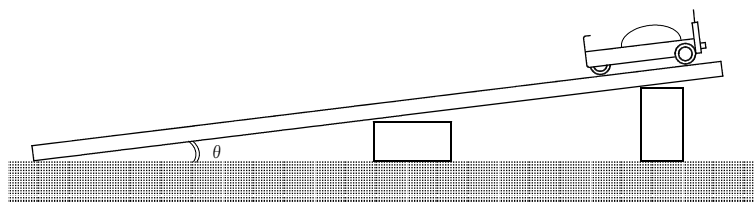
実験Ⅰ 「ガリレオが発見した落下の法則を確かめてみよう」

1 実験のねらい

斜面上に置かれた力学台車が初速度 0 で運動するときの加速度を測定すると共に、一定時間毎の移動距離が 1 から始まる奇数の比になっていることを確かめ、等加速度直線運動や落体の運動についての理解を深める。

2 準 備

- (1) 木の板 (182cm×15cm×1.5cm 艶消しラッカースプレーで塗装しておく)
- (2) 発泡スチロールブロック 2 個 (20cm×10cm×5cm 板を傾斜させる台となるもの)
- (3) 白色テープまたはアルミテープ (赤外線を反射するもの)
- (4) フォトリフレクタを接続したワイヤレスマウス
- (5) 力学台車
- (6) 物差し
- (7) パソコン



3 実験の手順

- (1) 木の板と発泡スチロールブロックを用いて斜面をつくり、斜面の傾き ($\tan \theta$ 又は $\sin \theta$) の値を物差しで測っておく。
- (2) 木の板の数カ所に、赤外線を反射するための白色テープを貼り付ける。このとき、各テープ間の距離が、斜面の上方から順に 1 : 3 : 5 : 7 と、奇数の比になるようにする。



- (3) 力学台車にワイヤレスマウス及びフォトリフレクタを載せ、力学台車が斜面上の白色テープを横切るときフォトリフレクタが反応するように、位置を調節しながらフォトリフレクタを力学台車に固定する。(右写真)
- (4) フォトリフレクタが最も上方の白色テープのわずか手前にくるような位置で力学台車を手で支えておき、パソコンのソフトをスタートさせてから手を離して台車を運動させる。



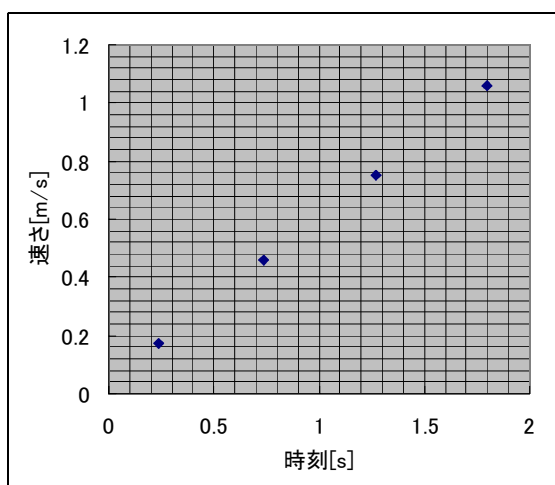
- (5) 得られた時刻のデータがほぼ等間隔になっていることを確認してから、時刻のデータと白色テープ間の距離を表計算ソフトで処理し、 $v-t$ グラフを作成する。このとき、2 本のテープを横切る時刻の差でテープ間の距離を割って得られた平均の速さは、中央の時刻における瞬間の速さと見なす。
- (6) $v-t$ グラフの傾きから加速度の大きさを求め、斜面の傾き θ から計算した理論値 $g \sin \theta$ と比較する。

4 実験結果の例

(1) 力学台車が白色テープを横切る時刻 t と、その中央の時刻 t' 、テープ間の距離 L 、平均の速さ v の関係

t [s]	0	0.48	1.00	1.53	2.06
t' [s]		0.24	0.74	1.27	1.80
L [m]		0.08	0.24	0.40	0.56
v [m/s]		0.17	0.46	0.75	1.06

(2) $v-t$ グラフ



(3) 測定値と理論値の比較

実験で得られた加速度の大きさと、斜面の傾き θ から計算した理論値の値はそれぞれ、

$$\text{測定値} = (v-t \text{ グラフの傾き}) = 0.57 \text{ m/s}^2$$

$$\text{理論値} = g \sin \theta = 9.8 \times \frac{0.10}{1.7} = 0.58 \text{ m/s}^2$$

であり、誤差は1.7%であった。

(4) ガリレオが発見した落下の法則について

初速度 0、加速度の大きさ a の等加速度直線運動をする物体の、時刻 $n \Delta t$ での位置を X_n とすると、

$$X_n = \frac{1}{2} a (n \Delta t)^2$$

であり、時刻 $(n-1) \Delta t$ から時刻 $n \Delta t$ までの物体を変位 $S_n = X_n - X_{n-1}$ は、

$$\begin{aligned} S_n &= \frac{1}{2} a (n \Delta t)^2 - \frac{1}{2} a ((n-1) \Delta t)^2 \\ &= \frac{1}{2} a (\Delta t)^2 \times (2n-1) \end{aligned}$$

と表せるから、一定時間毎の移動距離の比は奇数列 (1 : 3 : 5 : 7 ...) となる。

【参考文献】「ぼくらはガリレオ」板倉 聖宣 (岩波書店)

実験Ⅱ 「ニュートンの運動の第2法則を確かめてみよう」

1 実験のねらい

机の上に置かれた力学台車を定力装置で引いて運動させるときの加速度の大きさを、力学台車の車輪の回転周期を光センサーで計測することによって求め、加速度の大きさと台車の質量、台車に加えた力の大きさとの関係を調べ、運動の法則に対する理解を深める。

2 準備

(1) 黒い紙をドーナツ状に切り抜き、その半分にアルミテープを貼り付けたもの (右写真)

(2) フォトリフレクタを接続したワイヤレスマウス

(3) 力学台車

(4) 定力装置

(5) 台ばかり

(6) 物差し

(7) パソコン



定力装置



ドーナツ状反射板

←各ワイヤの引く力の大きさは、
バネばかりを用いた測定の結果、
小 …0.6N
大 …0.9N

3 実験の手順

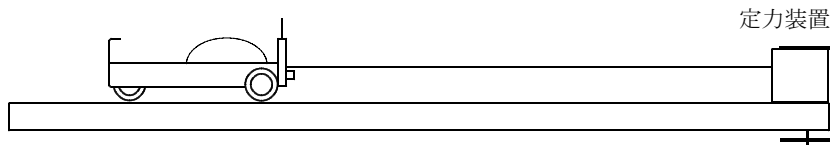
(1) 力学台車の一つの車輪の側面に、ドーナツ状反射板を貼り付ける。

(2) 力学台車の車輪が1回転する毎に、フォトリフレクタがアルミテープに反応するように、フォトリフレクタの位置を調節して固定する。(右写真)



(3) 力学台車の車輪が1回転する毎の力学台車の移動距離を測定する。

(4) 定力装置を机の端にクランプで固定する。



(5) 力学台車を机の上に置き、手で支えながら定力装置のワイヤーを力学台車に取り付ける。

(6) パソコンのソフトをスタートさせてから、手を離して台車を運動させる。

(7) 得られた時刻のデータと、(3)で測定した、力学台車が車輪1回転毎に移動する距離を表計算ソフトで処理し、 $v-t$ グラフを作成する。

(8) $v-t$ グラフの傾きから加速度の大きさを求める。

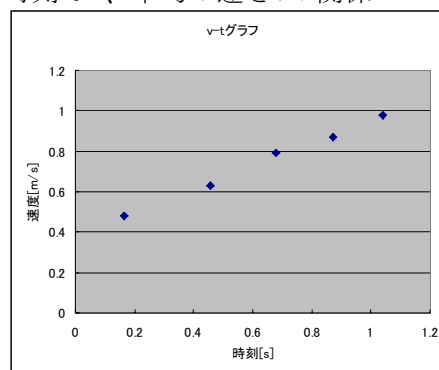
(9) 力学台車におもりを載せることで力学台車の質量を変化させ、定力装置のワイヤーを使い分けることによって加える力の大きさを変化させながら、加速度の測定を繰り返す。

4 実験結果の例

(1) フォトリフレクタが反応した時刻 t と、その中央の時刻 t' 、平均の速さ v の関係

- ・台車の質量 $M = 1.0 \text{ kg}$
- ・定力装置の力 $f = 0.6 \text{ N}$
- ・車輪 1 回転毎の移動距離 $L = 0.157 \text{ m}$

$t \text{ [s]}$	0	0.33	0.58	0.78	0.96	1.12
$t' \text{ [s]}$		0.17	0.46	0.68	0.87	1.04
$v \text{ [m/s]}$		0.48	0.63	0.79	0.87	0.98



(傾き) $= 0.57 \text{ m/s}^2$

(2) 力の大きさと加速度の大きさの関係 (台車の質量 1 kg)

力の大きさ 0.6 N

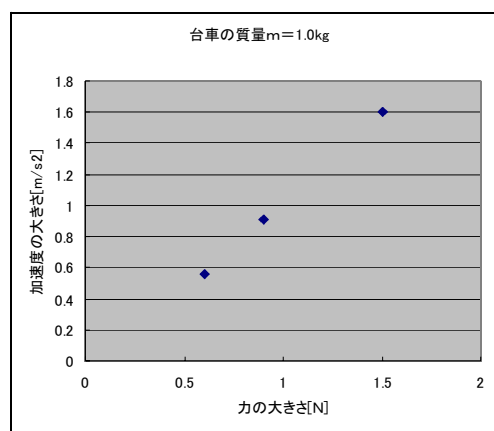
	1回目	2回目	3回目	平均
加速度 $[\text{m/s}^2]$	0.57	0.57	0.54	0.56

力の大きさ 0.9 N

	1回目	2回目	3回目	平均
加速度 $[\text{m/s}^2]$	0.91	0.90	0.92	0.91

力の大きさ 1.5 N

	1回目	2回目	3回目	平均
加速度 $[\text{m/s}^2]$	1.6	1.5	1.7	1.6



(3) 力学台車の質量と加速度の大きさの関係 (力の大きさ 0.6 N)

質量 1.0 kg

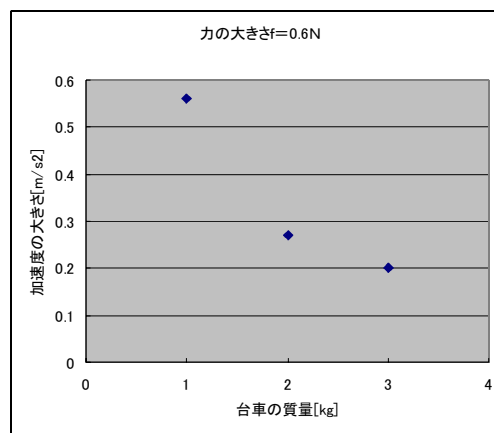
	1回目	2回目	3回目	平均
加速度 $[\text{m/s}^2]$	0.57	0.57	0.54	0.56

質量 2.0 kg

	1回目	2回目	3回目	平均
加速度 $[\text{m/s}^2]$	0.27	0.28	0.26	0.27

質量 3.0 kg

	1回目	2回目	3回目	平均
加速度 $[\text{m/s}^2]$	0.20	0.21	0.20	0.20



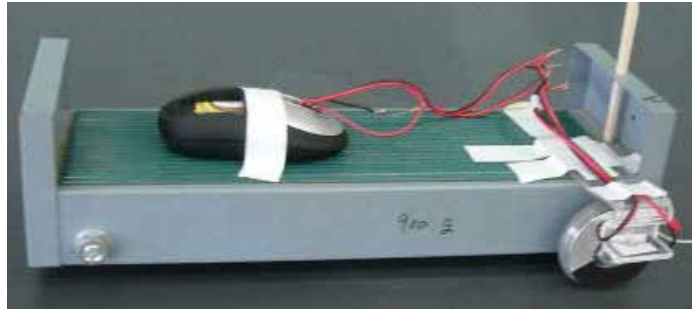
実験Ⅲ 「運動方程式が成り立つことを調べてみよう」

1 実験のねらい

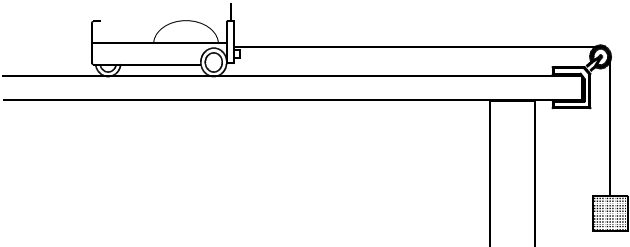
滑車を通した糸によって連結された力学台車とおもりが運動するときの加速度の大きさを、力学台車の車輪の回転周期を光センサーで計測することによって求め、力学台車とおもりの運動方程式を解いて得た理論値と比較し、運動方程式に対する理解を深める。

2 準 備

- (1) フォトリフレクタを接続したワイヤレスマウス
- (2) ドーナツ型の反射板（前述の実験Ⅱと同様）
- (3) 力学台車
- (4) クランプ付滑車
- (5) 台ばかり
- (6) 力学実験用おもり
- (7) パソコン

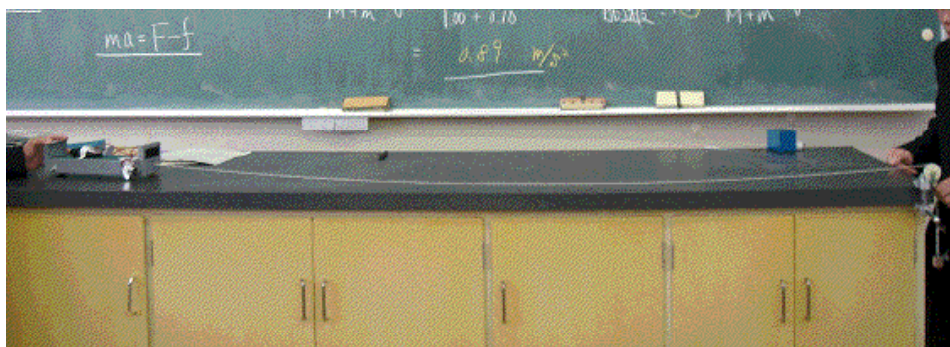


3 実験の手順

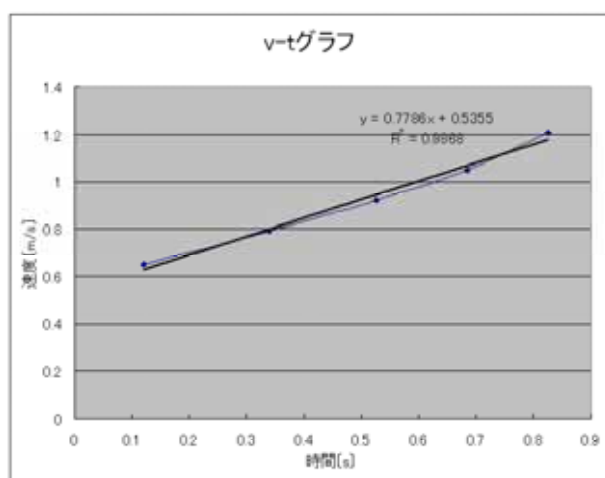
- (1) 前述の実験Ⅱと同様に、力学台車の車輪の側面にドーナツ型の反射板を貼り付け、力学台車の車輪が1回転する毎に、フォトリフレクタがアルミテープに反応するようにする。
- (2) 力学台車の車輪が1回転する毎の力学台車の移動距離を測定する。
- (3) クランプ付滑車を机の端に固定する。
- (4) 力学台車とおもりを糸で結び、糸を滑車にかけておもりをつるす。
- (5) 力学台車を手で押さえて糸がピンと張った状態で全体を静止させ、パソコンのソフトをスタートさせてから手を離す。
- (6) 得られた時刻のデータと、(3)で測定した、力学台車が車輪1回転毎に移動する距離を表計算ソフトで処理し、 $v-t$ グラフを作成する。
- (7) $v-t$ グラフの傾きから加速度の大きさを求める。
- (8) 得られた加速度の測定値と、理論値 $\frac{m}{M+m}g$ とを比較する。
- (9) 加速度の大きさが、加える力の大きさに比例し、質量に反比例することを確認する。

4 実験結果の例

(1) 実験風景



(2) 台車の質量 $M=1.0\text{kg}$ 、おもりの質量 $m=0.10\text{kg}$ の場合



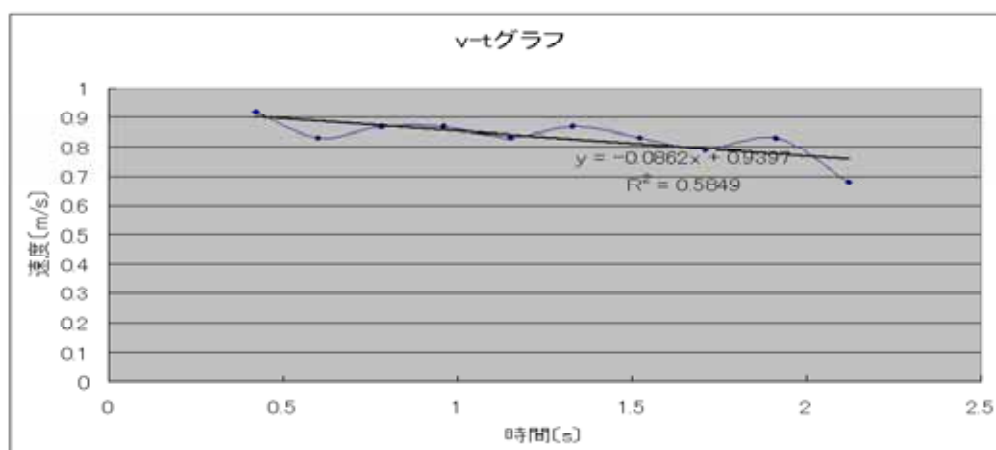
測定値 $=0.78\text{m/s}^2 \cdots \textcircled{1}$

$$\begin{aligned} \text{理論値} &= \frac{m}{m+M} g \\ &= \frac{0.10}{0.1+1.0} \times 9.8 \\ &= 0.89\text{m/s}^2 \cdots \textcircled{2} \end{aligned}$$

①、②より、相対誤差は12%であった。

(3) 誤差の考察

得られた速度データが $v-t$ グラフ上で、ほぼ直線にのっていることから、誤差の主原因が速さに依存しない抵抗（台車の摩擦力や、机が水平でないために生じた重力の運動方向成分など）と仮定した。そこで、力学台車から糸とおもりをはずし、台車のみ に初速度を与えて運動させたときの加速度を測定した。以下にその結果を示す。



加速度の測定値 0.086m/s^2 より、質量 1.0kg の台車にはたらく抵抗力の大きさ f は、 $f = 1.0 \times 0.086 = 0.086\text{N}$ と考えられ、この抵抗力を考慮して理論値 a を計算し直すと、

$$a = \frac{0.10 \times 9.8 - 0.09}{0.1 + 1.0} = 0.81\text{ m/s}^2 \text{ となり、相対誤差は4\%に減少する。}$$

実験Ⅳ 「運動量保存の法則が成り立つことを確かめてみよう」

1 実験のねらい

力学台車が衝突し、合体して一体となるときに、衝突の前後で全体の運動量が保存されていることを実験によって確かめ、運動量に関する理解を深める。

2 準備

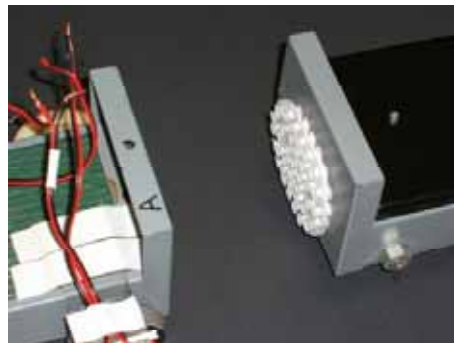
(1) 力学台車×2台（これらを衝突させたとき合体するように、それぞれの台車には吸盤を取り付けておく）

(2) 力学台車に載せるおもり $1\text{kg} \times 3$ 個

(3) フォトリフレクタを接続したワイヤレスマウス

(4) 台ばかり

(5) パソコン



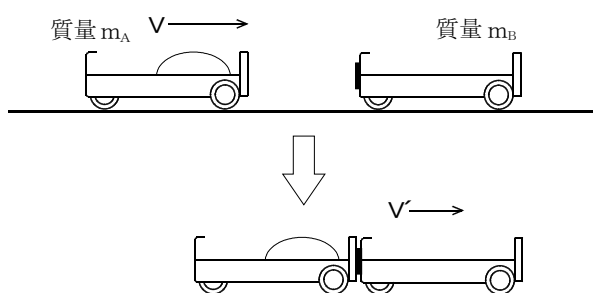
3 実験の手順

(1) 2台の力学台車を用意し、片方の力学台車にはフォトリフレクタを接続したワイヤレスマウスを載せるとともに、8ページの実験Ⅲと同様に力学台車の車輪の側面にドーナツ型の反射板を貼り付け、力学台車の車輪が1回転する毎にフォトリフレクタがアルミテープに反応するようにする。

(2) 力学台車の車輪が1回転する毎の力学台車の移動距離を測定する。

(3) 2台の力学台車の質量をそれぞれ台ばかりで測定する。

(4) ワイヤレスマウスの載っていない方の力学台車を机の上に静止させておき、パソコンのソフトをスタートさせてから、ワイヤレスマウスを載せた台車に、瞬間的に初速度を与え、2台の力学台車を衝突・合体させる。



(5) 得られた時刻のデータと、(2)で測定した、力学台車が車輪1回転毎に移動する距離をExcel等の表計算ソフトで処理して、 $v-t$ グラフを作成する。

(6) グラフより、衝突直前の速さ V と、衝突直後の速さ V' を求め、運動量保存の法則から得られる関係式、

$$m_A V = (m_A + m_B) \cdot V' \\ \therefore V' = \frac{m_A}{m_A + m_B} V$$

が成り立っていることを確認する。

4 実験結果の例



質量比が1:1の場合 $m_A/(m_A+m_B)=0.50$

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	
衝突前の速さV [m/s]	0.92	0.83	0.87	0.68	0.75	
衝突後の速さV' [m/s]	0.40	0.38	0.39	0.30	0.36	平均
速さの比 V' / V	0.43	0.46	0.45	0.44	0.48	0.45

質量比が1:2の場合 $m_A/(m_A+m_B)=0.33$

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	
衝突前の速さV [m/s]	0.71	1.12	0.98	0.98	0.98	
衝突後の速さV' [m/s]	0.20	0.34	0.31	0.28	0.31	平均
速さの比 V' / V	0.28	0.30	0.32	0.29	0.32	0.30

質量比が1:3の場合 $m_A/(m_A+m_B)=0.25$

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	
衝突前の速さV [m/s]	0.98	0.71	1.05	0.98	0.98	
衝突後の速さV' [m/s]	0.23	0.15	0.23	0.22	0.20	平均
速さの比 V' / V	0.23	0.21	0.22	0.22	0.20	0.22