

1 運動と力 (3) 力と加速度

〔ねらい〕 運動する物体の質量を一定に保ち、加える力と生じる加速度との関係を調べる。

〔原理〕 質量 $m[\text{kg}]$ の物体に大きさ $F[\text{N}]$ の力を加えると、加えた力の向きに加速度が生じる。加速度の大きさを $a[\text{m/s}^2]$ とすると、 $ma = F$ (運動方程式) の関係が成り立つ。これを運動の法則という。

〔準備〕 力学台車 (0.980kg), 鉛玉入り布袋 (0.465kg), 滑車, 滑走台, 水準器, おもり (鉛玉入りのポリエチレン製の瓶), ナイロン糸, ばねはかり, 記録タイマー, 記録テープ, 画びょう, 巻尺, セロテープ, 方眼紙

〔方法〕

(1) 装置を右図のように組み立てる。

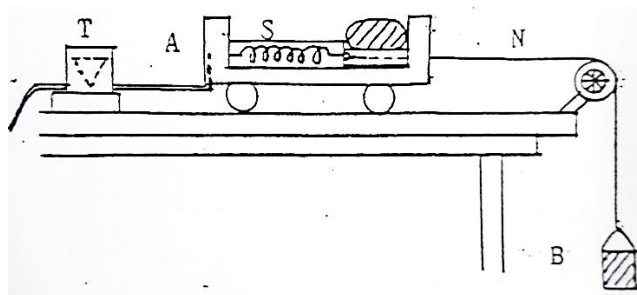
A : 力学台車 (質量を m とする)

S : ばねはかり (張力 F を測る)

N : ナイロン糸

B : おもり (質量を M とする)

T : 記録タイマー



運動する物体は台車 (鉛玉の袋をいくつかのせてよい) であって、糸の張力 F によって加速度運動する。加速度の大きさ a を記録テープから求めて、 F と a との関係を調べる。

(2) はじめ台車に記録テープをつけないで、運動中の糸の張力をばねはかりで読み取る。(数回走らせてみる)

(3) 記録テープの一端を台車に取り付け、テープを記録タイマーに通してばねはかりの指標が (2) で得た値を示すようにして、台車とばねはかりの両方を押さえておく。

(4) 記録タイマーのスイッチをONにして、台車とばねはかりを押さえていた手を同時にはなす。なお、台車が床に落ちないように滑走台の端に到達する前に止める。

(5) おもりの鉛玉の量を加減して張力を変え、記録テープに運動を記録する。

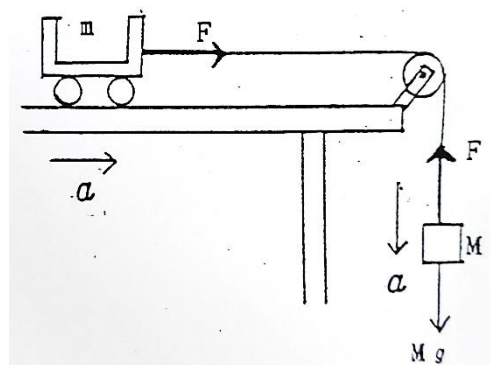
(6) 記録テープ上の打点の座標を読み取り、横軸に時刻を、縦軸に速さをとってグラフを画き、このグラフ (直線) の傾きを求めれば、これが加速度の大きさである。

(7) 張力のいろいろな値について、それぞれの加速度を求め、横軸に張力 (外力) を、縦軸に加速度をとってグラフを画く。

〔参考事項〕

(1) 台車とおもりが静止しているときは、おもりに はたらく重力がそのまま糸の張力となって台車にはたらくが、おもりと台車が加速度運動しているときは、次に示すように、おもりの重さより小さい張力が台車にはたらく。

(2) 右図のように、台車の質量を m , おもりの質量を M , 糸が引く力を F , 台車とおもりの加速度を a とおくと、運動方程式は、



$$ma = F, \quad Ma = Mg - F \quad \text{となり, 両式より} \quad F = \frac{m}{m+M} \cdot Mg = \frac{1}{1+\frac{M}{m}} \cdot Mg \quad \text{となる.}$$

したがって、 M が m に比べて十分小さいとき（1/100 程度のとき）は $F \approx Mg$ とみてよいが、今回の実験のような場合には、 $F < Mg$ であり、 F の値は運動中のばねはかりによって測定する。

(3) ばねはかりの質量を考慮に入れて、 m, M, F の関係を試算したものを下表に示した。これを参考にして、おもりの鉛玉の量を調整するとよい。この表は次の実験でも利用できる。

M [g]の値

| m [kg](鉛玉の袋の数) | F [gw] | 40 | 50 | 80 | 100 | 120 | 150 | 160 |
|------------------|----------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 0.980(0) | | 42 | 53 | 87 | 111 | 137 | 177 | 191 |
| 1.445(1) | | 41 | 52 | 85 | 107 | 131 | 167 | 180 |
| 1.910(2) | | 41 | 51 | 84 | 106 | 128 | 162 | 175 |
| 2.375(3) | | 41 | 51 | 83 | 104 | 127 | 160 | 172 |
| 2.840(4) | | 41 | 51 | 82 | 104 | 125 | 158 | 170 |

表中の数値の計算例： $m = 0.980\text{kg}$ 、 $F = 50\text{gw}$ のとき、 $M = \frac{m \times F}{m - F} = \frac{980 \times 50}{980 - 50} = 52.68$

(4) 表の見方

- ① 例えば、鉛玉入り袋が1個台車に載せてあるとき ($m = 1.445\text{kg}$)、おもりの質量を $M = 131\text{g}$ にして台車につなぎ運動させると、運動中に糸が引く力は $F = 120\text{gw}$ となり、これがばねはかりに示される。(しかし、実際に測ると値がこのとおりにはないので、器具の示す値を記録する)
- ② 次に、 m を①と同じにしたまま、 $F = 160\text{gw}$ に変えたいときは、表から $M = 180\text{g}$ と読み取って、おもりに鉛玉を追加する。

〔注意〕

実験室で初めて実験プリントを渡し、見通しを持たず指示されるままに実験を行うことのないようにする。

・実験の実施時期は「運動の法則」を学習した後にしたい。

・今回の実験は、仮説 「 F と a は比例する」である。

実験概要 「 F を変えて a を測定する。 m は変えない。(※)」仮説が正しい場合、「 F と a のグラフは原点

を通る直線となるはず」という見通しをたてる。

(※) 複数の変数の関係を検証するとき、変化する量を絞り込むことを意識させる。

- ◎ 実験台の上に不必要なものを置かない。必要な時以外はイスに座らず皆立っていること。
- 台車が静止しているときと動いているときで台車を引く糸の張力が異なるため、振動が生じる。あらかじめ動いているときの張力にばね秤の値を固定し (秤の指標を指で押さえる)、手を放す (台車を抑えている手と指標を押さえている指を同時に放す)。
- 記録テープの動きは最初の打点 (1cm 程度) はテープのたるみの影響があり、また打点間隔が狭すぎるので使用しない。読み取る打点 (5 間隔ごと) を丸で囲む。このとき打点に鉛筆の線がかからないよう注意する。
- 机に記録テープをセロテープで固定し、巻き尺で打点の座標を読む。巻き尺の端を机の角にかけ動かないようにし、打点に密着させ最小目盛りの 1/10 まで目分量で読み取る。打点には大きさがあるので

その中心あたりの値とする。(左から右に向けて読み取るように配置する)

- 読み取ったデータを有効数字に注意して処理する。数値の加減で有効数字の桁数が変化することがある。(時刻は秒単位で小数第2までとするが明確な根拠はない)
- グラフ用紙で処理を行う時の注意
 - ① グラフ用紙の端を軸に使わない ② 軸の物理量と単位 (時刻 [s] など) を記入
 - ③ 目盛りを記入 (軸に垂直に短い線を入れて目盛りの位置を明示する、原点が0でない場合もあるので注意する), なるべく大きなグラフとなるよう目盛りをとるが「3マスで1」や「4マスで1」はプロットミスにつながるのでダメ
 - ④ タイトルを記入 (「台車を引く力と加速度の関係」など)
 - ⑤ プロットするときは○や×を用いる (誤差範囲を考慮するとよいがあまりこだわらなくてもよい)
 - ⑥ プロットした点の並びを見て、直線定規や自在定規を用いて連続的な変化を表す線を描く
(点が線からはずれるときは両側に均等な配置となるよう考慮する、ただし前半はすべて線の上で後半は下のような配置はダメ) 不連続な変化らしきものが見られるときは無理に一つの連続変化として処理しない (前半と後半で大きく直線の傾きが異なるような場合)
 - ⑦ 直線グラフの傾きを求めるときは描いた直線のなるべく離れた2点の値をグラフから読み取って計算する (プロットした点の値は用いない)

〔測定値の例〕

「力と加速度との関係」の実験報告書

平成30年10月5日(金)第 校時実施 14:00~15:00
共同実験者氏名

| | | | |
|-----|---|-----|-----|
| 学 年 | 組 | 番 号 | 氏 名 |
| | | | |

〔測定値〕

運動する物体の質量: $M = 1.04$ [kg]

| テープの番号 | NO. 1 | | | NO. 2 | | | NO. 3 | | | NO. 4 | | | NO. 5 | | | |
|------------|---|--------------|---------|---|--------------|---------|---|--------------|---------|---|--------------|---------|---|--------------|---------|-------------|
| おもりの質量 m | 200 [g] | | | 170 [g] | | | 140 [g] | | | 109 [g] | | | 80 [g] | | | |
| 加える力 F | 165 [gw] | | | 140 [gw] | | | 115 [gw] | | | 92 [gw] | | | 68 [gw] | | | |
| 打点番号 | 時刻 [s] | 選んだ点の座標 [cm] | 間隔 [cm] | 平均の速さ [m/s] | 選んだ点の座標 [cm] | 間隔 [cm] | 平均の速さ [m/s] | 選んだ点の座標 [cm] | 間隔 [cm] | 平均の速さ [m/s] | 選んだ点の座標 [cm] | 間隔 [cm] | 平均の速さ [m/s] | 選んだ点の座標 [cm] | 間隔 [cm] | 平均の速さ [m/s] |
| 0 | 0.00 | 16.42 | | | 14.65 | | | 11.62 | | | 9.26 | | | | | |
| 1 | 0.10 | 19.59 | 3.17 | 0.317 | 17.01 | 2.36 | 0.236 | 13.91 | 2.36 | 0.236 | 9.46 | 2.07 | 0.207 | 10.91 | 1.65 | 0.165 |
| 2 | 0.20 | 24.10 | 4.51 | 0.451 | 20.67 | 3.66 | 0.366 | 17.35 | 3.37 | 0.337 | 12.42 | 2.96 | 0.296 | 13.17 | 2.26 | 0.226 |
| 3 | 0.30 | 30.33 | 6.23 | 0.623 | 25.48 | 4.81 | 0.481 | 21.77 | 4.42 | 0.442 | 16.33 | 3.91 | 0.391 | 16.12 | 2.95 | 0.295 |
| 4 | 0.40 | 37.76 | 7.43 | 0.743 | 31.68 | 6.20 | 0.620 | 27.29 | 5.52 | 0.552 | 21.03 | 4.70 | 0.470 | 19.71 | 3.59 | 0.359 |
| 5 | 0.50 | 46.75 | 8.99 | 0.899 | 39.26 | 7.58 | 0.758 | 33.81 | 6.52 | 0.652 | 26.61 | 5.58 | 0.558 | 23.98 | 4.27 | 0.427 |
| 6 | 0.60 | 56.74 | 10.19 | 1.019 | 48.03 | 8.77 | 0.877 | 41.42 | 7.61 | 0.761 | 32.86 | 6.25 | 0.625 | 28.83 | 4.85 | 0.485 |
| 7 | 0.70 | 72.64 | 11.70 | 1.170 | 57.70 | 9.87 | 0.987 | 50.20 | 8.78 | 0.878 | 40.00 | 7.14 | 0.714 | 34.38 | 5.55 | 0.555 |
| 加速度 a | $\frac{1.102 - 0.246}{0.60 - 0.00} = 0.856$ | | | $\frac{1.072 - 0.173}{0.70 - 0.00} = 0.899$ | | | $\frac{0.921 - 0.178}{0.70 - 0.00} = 0.743$ | | | $\frac{0.775 - 0.163}{0.70 - 0.00} = 0.612$ | | | $\frac{0.586 - 0.132}{0.70 - 0.00} = 0.654$ | | | |
| (v-tグラフより) | $= 1.4 \times$ [m/s ²] | | | $= 1.2 \times$ [m/s ²] | | | $= 1.1 \times$ [m/s ²] | | | $= 0.87 \times$ [m/s ²] | | | $= 0.6 \times$ [m/s ²] | | | |

〔グラフ〕

$$F = 165 \text{ (gw)}$$

$$= 1.62 \text{ (N)}$$

$$Ma = 1.04 \times 1.42$$

$$= 1.47 \text{ (N)}$$

$$F = 140 \text{ (gw)}$$

$$= 1.37 \text{ (N)}$$

$$Ma = 1.04 \times 1.28$$

$$= 1.33 \text{ (N)}$$

$$F = 115 \text{ (gw)}$$

$$= 1.12 \text{ (N)}$$

$$Ma = 1.04 \times 1.06$$

$$= 1.10 \text{ (N)}$$

〔考察・感想〕

$$F = 92 \text{ (gw)}$$

$$= 0.90 \times \text{ (N)}$$

$$Ma = 1.04 \times 0.87 \times$$

$$= 0.91 \times \text{ (N)}$$

$$F = 68 \text{ (gw)}$$

$$= 0.66 \times \text{ (N)}$$

$$Ma = 1.04 \times 0.648$$

$$= 0.67 \times \text{ (N)}$$

(グラフは裏面)

・ F-aグラフが原点を通らないのは摩擦や記録テープの抵抗。実験台の傾斜の影響も考えられる。今回の結果は傾斜の影響とすると $g \sin \theta = 0.08$: $\theta = \frac{0.08}{9.8} \times \frac{180}{\pi} = 0.48^\circ$

・ まじりに加わる重力の大きさと斜んでいると台車を引く力の大きさが異なることについて。
・ 台車の速さが速くなるほど台車に引く力が常に一定になっていることが不思議だった。
・ v-tグラフで平均速度と中央時刻の平均値の根拠がよくわからなかった。

