

第1章 力と運動

§ 1.1 ニュートンの運動の法則

物体の運動について研究を行っていたガリレイは、滑らかな地面を転がる球はどこまでも転がると考えた。一方、ニュートンは力が働かない物体はいつまでも同じ運動を続けると考えた。ニュートンは運動状態が変化するのは力が働くからだと考え、運動の法則に到達した。つまり、物体が運動するときの規則性がなぜ生じるかを明らかにしたのである。こうして物体に働く力と運動の関係を扱う力学が生まれた。そして、私達が観察できるどのような物体の運動もニュートンの運動の3法則に従っている。

ニュートンの運動の法則（3法則）について

(1) 運動の第1法則（慣性の法則）

物体には慣性があり、他から力を受けないとき、静止している物体は静止を続け運動している物体は等速度運動を続ける。

(2) 運動の第2法則（運動の法則）

質量 m の物体が力 F を受けると加速度 a を生じ、次の運動方程式が成り立つ。

$$F = ma$$

これを解けば物体の運動状態が決まる。

<参考：質量 1kg の物体に 1N の力が働くと 1m/s^2 の加速度を生じる>

(3) 運動の第3法則（作用・反作用の法則）

2つの物体が力を及ぼし合うとき、それらの力は大きさと方向がおなじで向きが逆向きである。

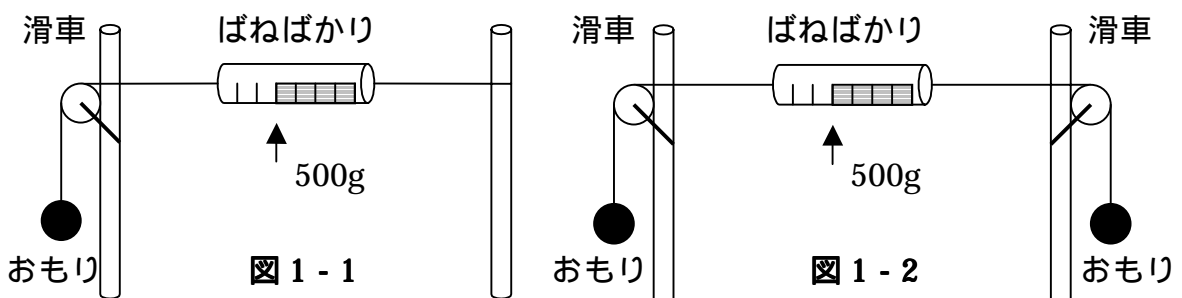
これを検証もしくは体験するための実験をつぎにあげる。

1 A) 作用反作用をはかりで見る

下図のように固定の柱、ばねばかり、滑車、錘を配置する。各部には作用・反作用の原理に従い、重力 mg と張力 T が釣り合う。錘を2倍にして見よ。夫々の力がばねばかりが示すように2倍になるであろう。

図1-1のように片側を棒にばねばかりを固定し、他方は滑車にかけておもりをつるす。このときばねばかりは 500g を示す。

次に、図1-1と同じおもりを2個使って、図1-2のようにばねばかりの両端を滑車にかけおもりをつるした。このときのばねばかりの目盛は図1と同じ 500g を示す。



1 B) 浮力による作用反作用

重さを量るはかりに水の入ったビーカーを置く。力と目盛りは比例し、はかりの目盛りは重力を示す(図 1 - 3)。

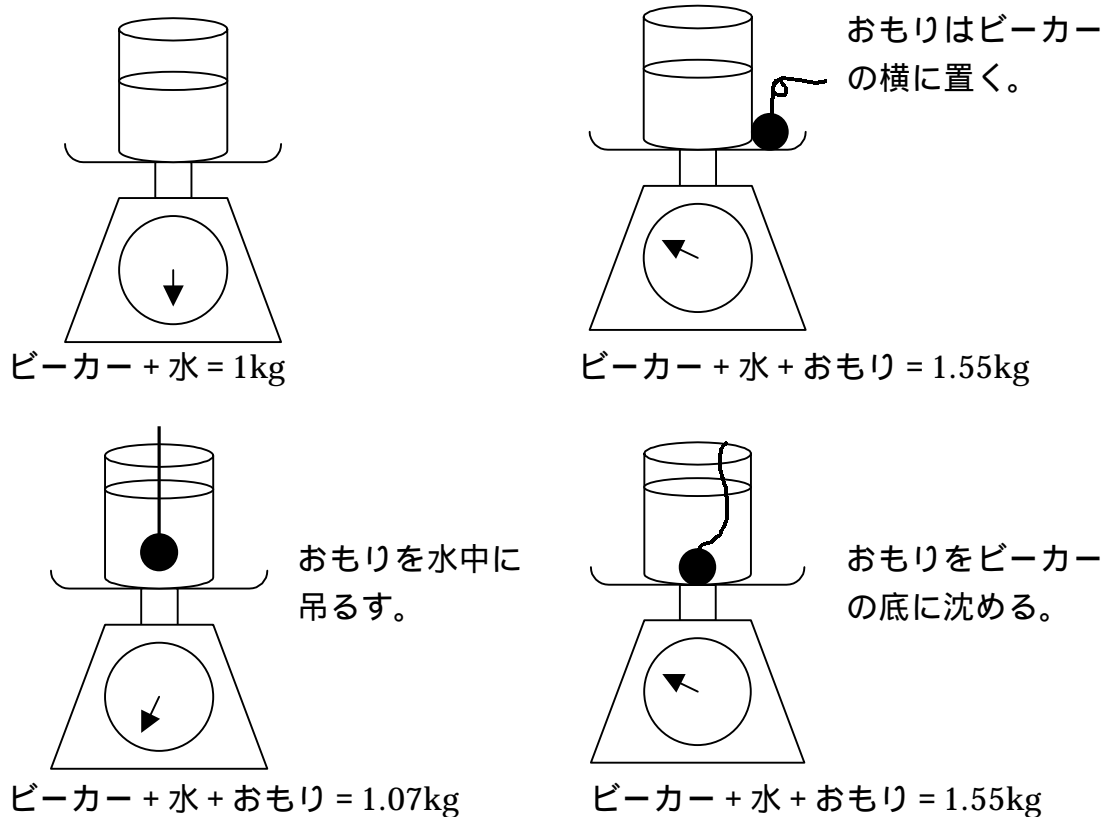


図 1 - 3 浮力による作用・反作用

の表示 マイナス の表示は水の浮力を表し、水の密度はほぼ $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ であるからこれは物体の体積に等しい。これより物体の比重が計算される。

§ 1.2 摩擦

摩擦について

水平に物体を引っ張るときの摩擦力を図 1 で表す。鉛直方向に重力(作用)と抗力 N (反作用)が釣り合っている。水平方向に引っ張る力を f とすると反対方向の摩擦力 F で表す。 f を増して行くと物体が滑り出す直前の最大摩擦力 F_m となり f がこれより大きくなると物体が動き出すことになる。

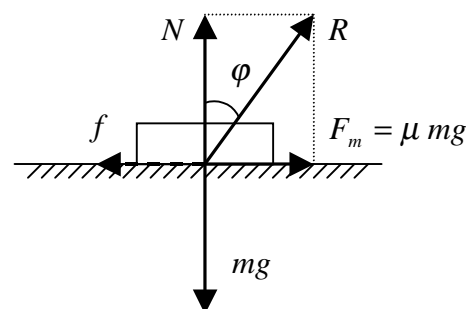


図 1 - 4 摩擦

$F_m = \mu mg$ と表され、 μ は摩擦係数と呼ばれる。また F_m は静止摩擦である。運動摩擦には“すべり摩擦”と“ころがり摩擦”があり前者に比べて後者ははるかに小さい。

3 A) 斜面を転がる2つの球



図 1 - 12 実験装置全体図



図 1 - 13 衝突箇所拡大図

図 1 - 14 のように斜面から剛球 a を滑らせると、剛球は A の位置からは放物運動をして、地面に落下する。

もし、あらかじめ A の位置に斜面を滑らせる剛球 a と同じ条件 ($m_a = m_b$) の剛球 b を置き、a を b に衝突させたとき、それぞれの剛球はどのような運動をするのか？

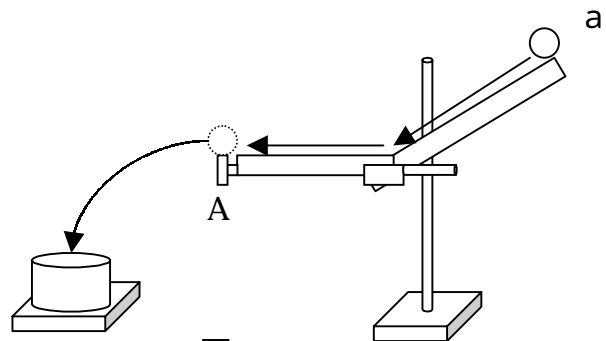
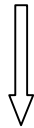


図 1 - 14

A に別の剛球を置いて衝突させたときの a と b の運動の様子

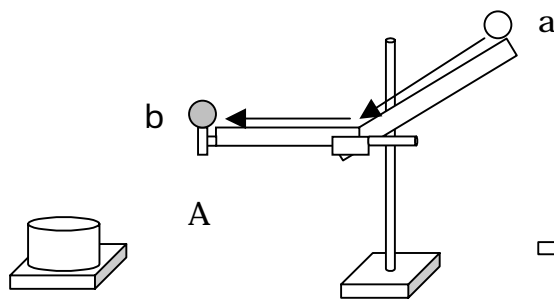


図 1 - 15

衝突

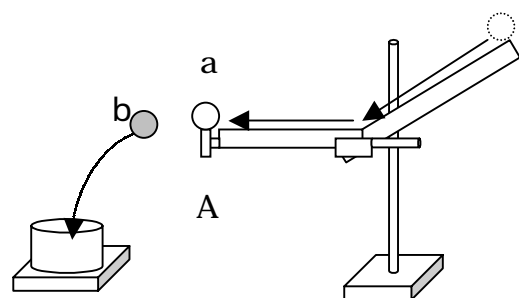
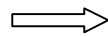


図 1 - 16

A の位置で剛球 a と b が衝突すると a の持っている (力学的) エネルギーが b に移動し、a の代わりに図 1 と同じ位置に落下する。また、a は A の位置で停止する。(図 1 - 16)

(設問) 各自、運動量保存と完全弾性衝突(エネルギー保存)で導く。

3 B) 弾丸の速度測定実験

(1)弾丸および振り子部分の重さを量っておく。弾丸： m 振り子： M

(2)弾丸を発射し、振り子部分の移動距離を測定する。

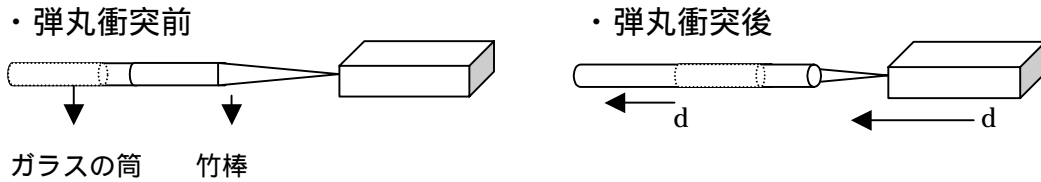


図 1 - 17 振り子部分の移動距離の測定方法

弾丸が衝突して振り子が動いた分だけ竹の棒も動く。動いた長さを振り子の横軸方向の移動距離 d とする。

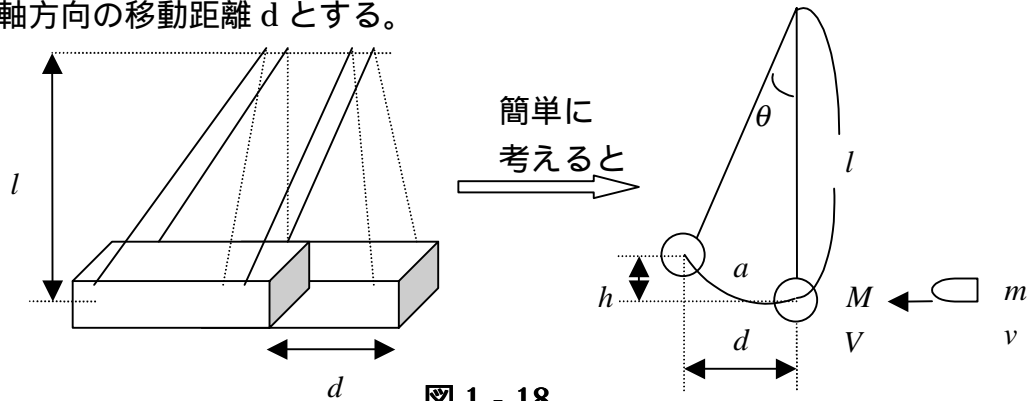


図 1 - 18

(3)以上の測定値により弾丸が振り子に衝突する瞬間の速度が算出できる。

衝突前後での運動量の保存則より $mv = (M + m)V \Lambda$

衝突後の振り子のエネルギー保存則より $\frac{1}{2}(M + m)V^2 = (M + m)gh \Lambda$

より $V = \sqrt{2gh} \Lambda$

に $h = l(1 - \cos \theta)$, $1 - \cos \theta = 2 \sin^2 \frac{\theta}{2}$ を代入

$$V = \sqrt{2gl(1 - \cos \theta)} = 2 \sin \frac{\theta}{2} \sqrt{gl}$$

θ : 小さいなら $\sin \theta \approx \theta$ l : 大なら $\theta l \approx a \approx d$ と考えると

$$V = 2 \cdot \frac{\theta}{2} \sqrt{gl}$$

$$= \frac{d}{l} \sqrt{gl}$$

$$= d \sqrt{\frac{g}{l}} \Lambda$$

に で算出した V とあらかじめ測定しておいた M と m の値を代入することで、振り子に衝突する瞬間の弾丸の速度が求められる。

実験値： $M = 810 \text{ g}$ $m = 13.7 \text{ g}$ $l = 75 \text{ cm}$ $d = 10 \text{ cm}$ $g = 980 \text{ cm / s}^2$ より

$$V = 10 \cdot \sqrt{\frac{980}{75}} = 36.14 \quad 36 \text{ (m/s)}$$

$$13.7 \cdot v = (810 + 13.7) \cdot 36 \quad v = \frac{2164.4}{13.7} \approx 158 \text{ (m/s)}$$



図 1 - 19 実験装置全体



図 1 - 20 弾丸発射装置部分



図 1 - 21 弾丸受け取り用振り子部分



図 1 - 22 振り子の移動距離測定部分
振り子の端に竹の棒が接するようにセットする。

3 C) モンキーハンティング

速度独立 (重力に対する水平方向と鉛直方向の速度は独立していること) を検証する実験。

ハンターが狙った木にぶらさがったサルを打ち落とそうと銃を発射する。音に驚いてサルが発射と同時に木から手を離して落ちても必ず命中する。

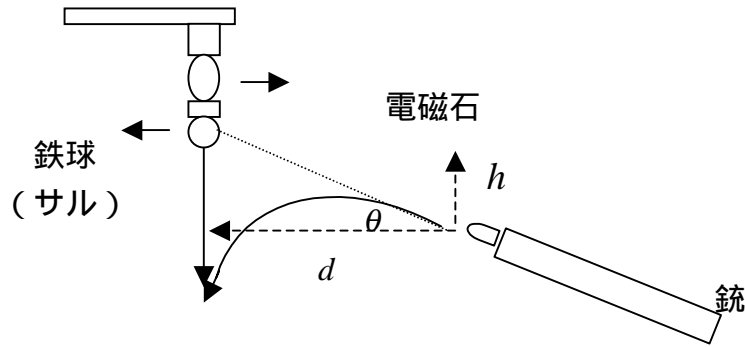


図 1 - 23

弾丸の初速を v_x , v_y とし、サルは h の高さにおり、水平方向に d だけ離れているとする。銃を向ける角度を θ とすると

$$\tan\theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{h}{d}$$

また銃弾がサルのいる (水平) 位置まで達する時間を t とし、 y 座標を調べると

$$d = v_x \cdot t$$

$$y_m = h - \frac{1}{2}gt^2 \quad (\text{サルの } y \text{ 座標})$$

$$y_b = v_y t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (\text{弾丸の } y \text{ 座標})$$

ところが

$$v_y t = \frac{h \cdot v_x}{d} t = h$$

となり必ず命中する。

< 実験装置 >

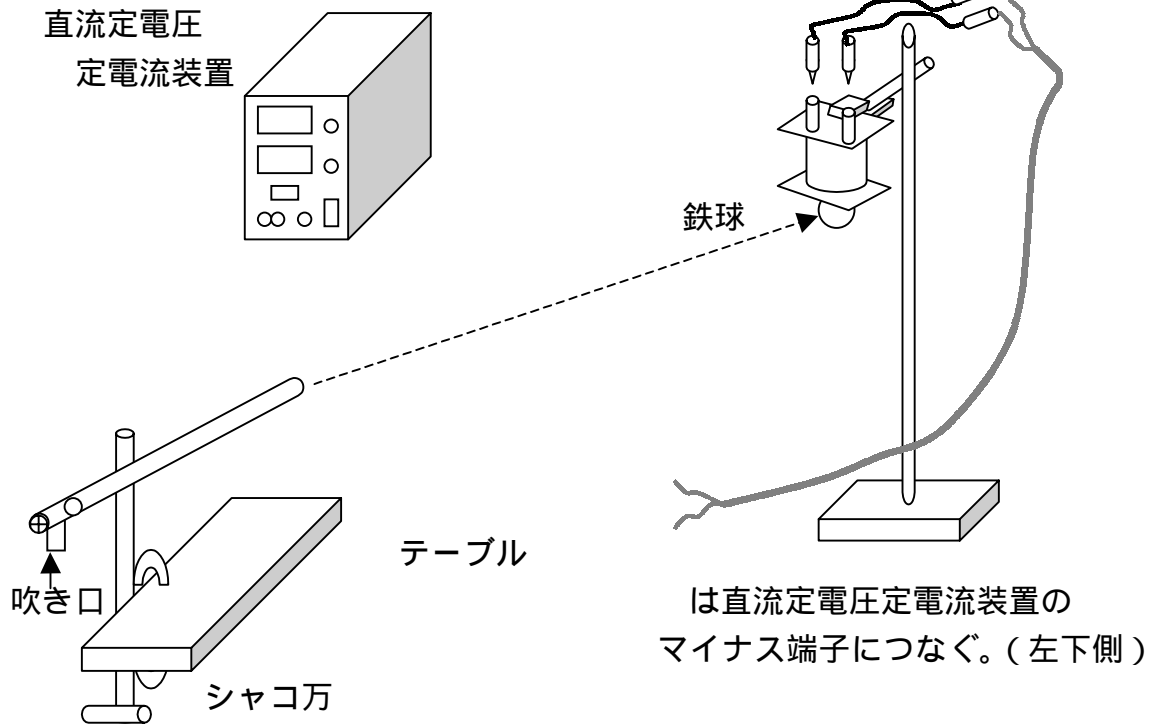


図 1 - 24 実験装置配置図

注意) 直流定電圧定電流装置の電流の値は 0.5A 位に設定する。
このとき、電圧の値は 0 からほんの少し上げる程度で良い。



図 1 - 25 実験装置全体



図 1 - 26 弾丸 (鉄球) 発射装置 <銃>

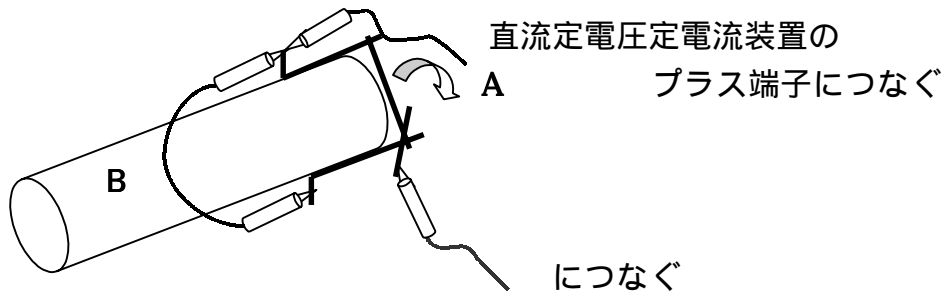


図 1 - 27 銃口部分の拡大図

注意) 弾丸にする鉄球を銃の中に入れるときは、回路とは別に B のように接続しておく。

(理由) 鉄球を投入するために A を開くことによる回路切断を暫定的に防ぐため

<もし接続し忘れると、電磁石にぶら下げている鉄球が落ちてしまう>



図 1 - 28 銃口部分の拡大 (その 1)



図 1 - 29 銃口部分の拡大 (その 2)

<装置のしくみ>

弾丸が銃から発射される際 A が開き、この瞬間回路が切断されることにより、電磁石にぶら下がっている鉄球が落下を始める。

<その他>



図 1 - 30 鉄球 (サル) 保持の電磁石

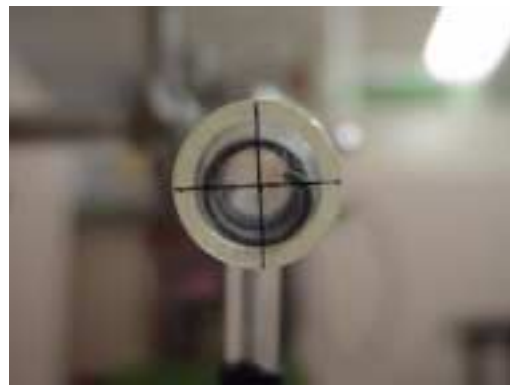


図 1 - 31 焦点を合わせるための標線