

PhysicsLab-002	Free Falling 落体の運動	Name
----------------	--------------------	------

A	Objectives 目的	<p>1) Investigating the relationship between the distance and time in free falling. Obtaining the gravitational acceleration <math>g</math>. 自由落下における距離と時間の関係を調べる。重力加速度 <math>g</math> を求める。</p> <p>a) Ball ボール [二人一組 4~5 組]  b) Water drops, 水滴 [二人一組 4~5 組]  c) Spark Timer スパークタイマー [二人一組 4~5 組]</p> <p>2) Measuring your reaction time using a rule rod ものさしを使って反応時間を求める (「物理 I」 p.161)</p> <p>3) Observing the behaviors and speed of various falling bodies in vacuum. 真空中でいろいろなものを落とし、落下の様子や速さを観察する。</p> <p>4) Horizontal Shooting 水平発射の実験 (「物理 I」 p.198)</p>
B	Hypothesis 仮説	<p>1) 落下の加速度は質量に無関係で <math>g</math> となる。</p> <p>2)</p> <p>3) 真空中では硬貨も鳥の羽も同時に落下する。</p> <p>4) 鉛直に落としても、水平に発射しても床までの落下時間は同じである。</p>
C	Safety 安全	高いところからボールを落とすとき手すりから身を乗り出さないように。水平発射のボールを人に当てないように。
D	References 文献	Sanseido Physics I p.159 Motion of a Falling Body 三省堂「物理 I」 p.159 落体の運動

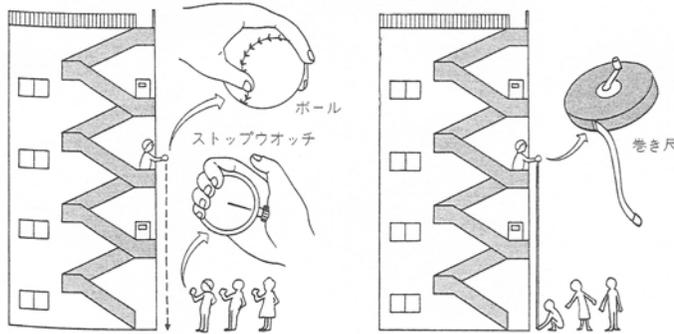
Preparation 準備

1) - a	Ball ボール	Baseball (x2), Rubber Ball(x5), Measure (x8), Stopwatch (x3)
1) - b	Water drops, 水滴	Bullet ビュレット(x5), Funnel ロート(x5), Bucket バケツ (x5), Stopwatch (x3)
1) - c	Spark Timer スパークタイマー	Spark timer (green x5), Tape, PE bag, String
2)	反応時間	Stand, Ring, Separating Funnel 分液ロート, Bucket バケツ Stopwatch
3)	真空中での落下	Free Fall Tube 真空落下実験器
4)	水平発射	Horizontal Shooting Launcher 水平発射装置

1-a ボールを使った実験

③自由落下における距離と時間の関係調べる

- ①いろいろな高さからボールを落とし、それぞれの落下時間をはかる  
 ②ボールを手放したときの高さを、それぞれについてはかる



③①(留意点) 実験は、校舎の非常階段など中に障害物のない場所で行う。

ボールは、ある程度小さくて重いものを用いる。ソフトボールやゴルフボールなどがよい。

落下時間の測定は、複数のものが同時に行うようにする。さらに、同一の高さについて何度か測定し、それらの平均値を求めるようにする。

2階、3階、4階、屋上というぐあいに、いろいろな高さについて測定する。

【注意】 ボールが人に当たらないように、安全を確かめてからボールを落下する。また、落下の際、階段の手すりなどから体を乗り出さないようにする。

【参考】 各階に人がいて、屋上から落としたボールの通過時間をはかる方法もある。しかし、この方法は、反射神経がよほど発達していないと、その瞬間を見逃してしまうことが多い。

- 4人一組  
 1) ボールを落とす人  
 2) 時計係  
 3) 高さを測る人  
 4) 安全係 (通行する人などに注意を払い皆に指令を出す)

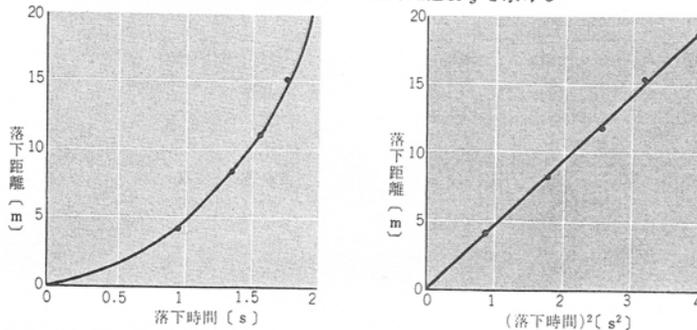
③【解答】 まず縦軸に落下距離、横軸に落下時間をとってグラフ化する。グラフは2次曲線となる。そこで、横軸を(落下時間)<sup>2</sup>に変換すると、落下距離と(落下時間)<sup>2</sup>の間には比例関係があることがわかる。

図中のグラフは、次の実験データ例によるものである。

実験データ例

	距離 (m)	時間 (s)	(時間) <sup>2</sup> (s <sup>2</sup> )
4階	15.4	1.78	3.17
3階	11.9	1.60	2.56
2階	8.3	1.33	1.77
1階	4.6	0.98	0.96

③測定値をグラフ化し、グラフの傾きから重力加速度  $g$  を求める



次に、グラフから重力加速度  $g$  を求める。落下距離  $s$  は、重力加速度  $g$  と時間  $t$  との間には、次の関係がある。

$$s = \frac{1}{2} g t^2$$

上式を  $g$  を求める式に変換すると、

$$g = 2 \times \frac{s}{t^2}$$

となる。この式における  $s/t^2$  は、変換したグラフにおける傾きである。したがって、グラフ上の任意の点から、縦軸と横軸に垂線を下ろしてグラフの傾きを求めることにより、 $g$  が求められる。

実験データ例による計算例を次に示す。

$$\frac{s}{t^2} = \frac{14.2}{3} \approx 4.73$$

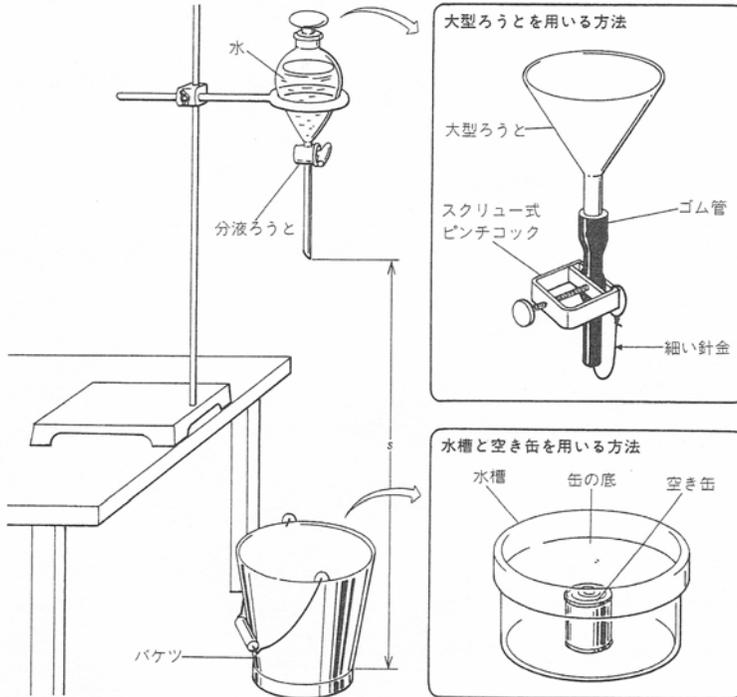
$$g = 2 \times 4.73 = 9.46 (\text{m/s}^2)$$

1-b 水を使った実験

1-b

【別法】水滴を落下させて測定する方法

- ① 水を入れた分液ろうととバケツを図のようにセットし、バケツの底からろうとの下端までの距離  $s$  をはかる



- ② 水滴の落下時間  $t$  を求める



- ① 水滴を1滴ずつ滴下させ、落下した水滴がバケツに落ちる音がすると同時に次の水滴がろうと先端から落ち始めるように、活栓を調整する
- ② ストップウォッチで、水滴が20滴落下する間の時間をはかる
- ③ 水滴1滴の落下時間  $t$  を求める

- ③ 自由落下式から、重力加速度  $g$  を求める

①ではかった落下距離  $s$  と②で求めた落下時間  $t$  を自由落下式に代入し、重力加速度  $g$  を求める

$$s = \frac{1}{2}gt^2 \rightarrow g = \frac{2s}{t^2} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

実験データ例

落下距離 $s$ [m]	20滴落下するのに要した時間[s]					落下時間 $t$ [s]	重力加速度 $g$ [m/s <sup>2</sup> ]
	1回目	2回目	3回目	4回目	平均		
1.5	11.0	11.1	11.2	11.4	11.2	0.56	9.6

【別法】水滴を落下させて測定する方法

解説 水滴の自由落下運動が等加速度直線運動であることを理解しているときには、この方法で実験したほうが簡単である。このほか、単振り子の周期から求める方法などもある。

- ① **留意点** 距離  $s$  は、1.5m 程度(床に立ったときの目線の高さ)がよい。  
分液ろうとがないときには、大型ろうとなどの適当な容器の先にゴム管をつなぎ、スクリー式のピンチコックで調整するようにするとよい。この際、ゴム管の中に細い針金を通しておくと、さらに調整しやすくなる。針金をゴム管の中に通すときには、針金の先端の位置がピンチコックの位置よりも高くなるようにしておく。  
バケツの代わりに、水滴の落下音がよく聞こえるように水槽の中に空き缶を逆さに入れておいてもよい。
- ② **留意点** 水滴が等時間間隔で落下するようにうまく調整できないときには、分液ろうとの代わりに大型ろうとを使った装置(①を参照)で行ってみるとよい。  
解説 1滴の落下時間を簡単に、かつ正確にはかるのは難しいので、このように20滴分の落下時間をまとめてはかった後、1滴分の落下時間を求めるのである。

1-c スパークタイマーを使った実験

①記録タイマーをスタンドに固定する

②おもりをセットし、記録タイマーのスイッチを入れて落下させる

記録タイマー (交流用)

ゴムテープ

交流電源へ

C形クランプ

おもりの衝撃吸収クッション

紙テープ

セロハンテープ

おもり (砂袋)

③紙テープと自由落下式から重力加速度 $g$ を求める

除外する

①打点があきらかに所を除外し、最初と最後の打点間の距離 $s$ をはかる

②距離 $s$ の間の打点の数から、おもりが $s$ だけ落下する時間 $t$ を求める

③ $s$ と $t$ を次の自由落下式に代入し、重力加速度 $g$ を求める

$$s = \frac{1}{2}gt^2 \rightarrow g = \frac{2s}{t^2} \text{ [m/s}^2\text{]}$$

④紙テープでグラフを作り、その傾きから重力加速度 $g$ を求める

〈実験データ例〉(おもり0.5kg)

速さ (cm/s)

時間 (2打時)

①紙テープを2打点ごとにはさみで切りとり、方眼紙にはりつけてグラフを作る

②切りとった各紙テープの上端の中心を結ぶ直線を引き、その直線の傾きから重力加速度 $g$ を求める

$$g = \frac{\text{速さの変化量}}{\text{変化に要した時間}} = \text{グラフの傾き}$$

①留意点 床からおもりまでの高さが1m以上になるように、記録タイマーの高さを調整しておく。スタンドは、C形クランプなどで机に固定しておく。おもりの落下場所には、衝撃吸収用のクッションを置いておく。

②留意点 紙テープの長さは、1mぐらにする。紙テープにおもりをとりつけるときにはセロハンテープを用いればよい。おもりを落下させるとき、紙テープが記録タイマーから離れたら、記録タイマーのスイッチを直ちに切る。おもりが1kg程度のときと、0.5kg程度のときのそれぞれについて実験してみる。

③留意点 おもりの質量を変えたときのそれぞれについて重力加速度 $g$ を求め、比較してみる。

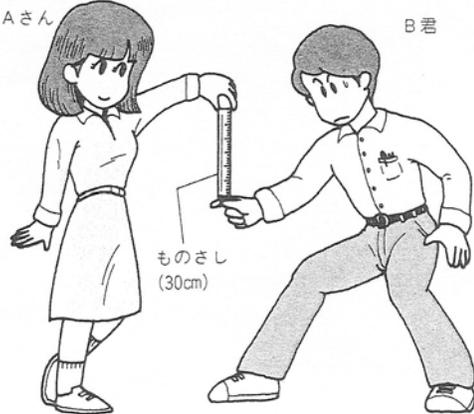
④解説 左のグラフは、0.5kgのおもりを落下させたときの実験データ例であるが、このときの計算例を次に示す。速さが3[cm/2打時]から15[cm/2打時]の間では、速さの変化量は、(15-3)[cm/2打時]となり、このときの変化に要した時間は、(9.5-1.5)[2打時]となる。また、1打時(記録タイマーが1打を打ってから次の1打を打つ間の時間)は、電源周波数が50Hzの地域では1/50秒(60Hzの地域では1/60秒)、つまり0.02秒である。したがって、これらの数値から、グラフの傾きを求めて単位を整理すると、重力加速度 $g$ は、次のように求められる。

$$g = \frac{(15-3) \text{ [cm/2打時]}}{(9.5-1.5) \text{ [2打時]}} = \frac{12 \times 0.01 \text{ [m]}}{8 \times (0.04)^2 \text{ [s}^2\text{]}} = 9.4 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

留意点 おもりの質量を変えたときのそれぞれについてグラフを作って重力加速度 $g$ を求め、比較してみる。また、③で求めた値とも比較してみる。

解説 一般に物体の落下距離が短いときには物体が受ける空気抵抗が無視することができる。このように空気抵抗が無視できるとき、落下の加速度は、物体の大きさや質量に関係なく一定であることがわかる。重力加速度 $g$ の計算値は、必ずしも正確な値9.8[m/s<sup>2</sup>]と一致しないが、これは紙テープと記録タイマーの摩擦などの影響によることが多い。

人間の反応時間の測定



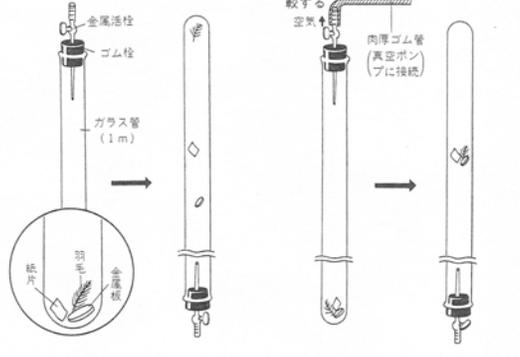
Aさん B君

ものさし (30cm)

- ① Aさんは、ものさしの一端を指で挟んでつり下げる
- ② B君は、ものさしの下端の位置で、それに触れないように指で挟む準備をする
- ③ Aさんが予告なしにものさしを落とす。それを見たB君は素早くものさしを指で挟む
- ④ ものさしの下端から、B君がものさしを挟んだ位置までの距離  $s$  をはかる
- ⑤  $s$  と重力加速度  $g(9.8[m/s^2])$  を自由落下の式に代入し、B君の反応時間  $t$  を求める

$$s = \frac{1}{2}gt^2 \quad t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$$

Observing the behaviors and speed of various falling bodies in vacuum. 真空中でいろいろなものを落とし、落下の様子や速さを観察する。



②いろいろな物体の空気中と真空中での落下の様子を観察する

①空気中で落下させてみる

②真空中で落下させ、空気中の場合と比較する

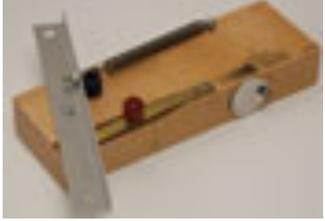
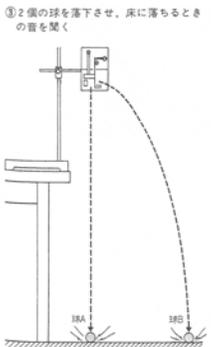
真空落下実験器の中に物体を入れる

素早く倒立させて観察する

管内の空気を真空ポンプで吸引する

素早く倒立させて観察する

Horizontal Shooting Launcher 水平発射装置

③2個の球を落下させ、床に落ちるときのを聞く