

大学新入生のためのやさしい力学

実験編



2012.02.22

中野 友裕

まえがき

本資料は「大学新入生のためのやさしい力学」の内容について、実際に手を動かすことで理解してもらうための実験編です。

「大学新入生のためのやさしい力学」のまえがきにも書きましたが、力学というのは、目に見えない力のはたらきを説明するためのものですから、それを想像する力というのが重要になります。しかし、現在のようにバーチャルなものが氾濫している時代では、本来の力学現象と仮想上のことの区別を難しく感じ、力の作用を誤って解釈してしまうかもしれません。力学は現実には生じる事柄を説明するための学問ですから、現実には生じる事柄を把握することがなにより大切です。

そのような視点から、「大学新入生のためのやさしい力学」ではなるべく入り組んだ数学を使わないような方針で執筆しましたが、実際の力学現象がテキストに出てくる各種の法則によって説明できることを、ぜひ体験してほしいと願って執筆したのがこの実験編です。

実験器具の製作や実際の測定を行うにあたって必要となるのは、電子はかり（1500 円程度）とストップウォッチ（800 円程度）が大きなもので、あとは比較的大きな百円均一の店やホームセンターに行けば、ほとんどのものが安価にて入手できます。本書では、写真に撮る都合上、写り映えのする材料を用いていますが、実験の本質を理解して空き缶や空箱などを利用すれば、ごくわずかな費用しかかからないようなものがほとんどです。そのあたりは各人で工夫されたらよいと思います。

力学は、力の作用を説明する学問です。力学に取り組もうとする方たちにそのことを知っていただき、力学の面白さを体験していただくことができれば、著者として望外の喜びです。

著 者

この実験編は、インターネットからダウンロードして自由にお使いいただくことが可能です。個人での利用に限らず、学校などでの授業・実験やゼミナール、課題学習の教材などとしてもご利用ください。

力学の実験は、製作や手順を誤るとケガをしたり、物損を生じたりするおそれがありますので、十分に注意して取り組んでください。

●本資料のサポート情報をホームページに掲載する場合があります。下記のアドレスにアクセスし、ご確認ください。

<http://www.morikita.co.jp/support/>

●本資料により得られた情報の使用から生じるいかなる損害についても、森北出版株式会社および本資料の著者は責任を負わないものとします。

製作と考察の難易度

本書に収録された 26 種類の実験について、製作と考察（発展は除く）の難易度を 5 段階でまとめました。マークが多いほど難しいことを示します。製作難易度に他の実験記号のある実験では、その記号の実験で製作された器具を用います（例：実験 D では実験 C で製作された器具を用いる、など）。

A		密度の測定		
		製作		考察
B		1N の力		
		製作		考察
C		異なる作用線上にある力の合成		
		製作		考察
D		力のつりあいの実験		
		製作		考察
E		三角形の重心		
		製作		考察
F		複合図形の重心		
		製作		考察
G		剛体の静止条件		
		製作		考察
H		力のモーメントの実験		
		製作		考察
I		フックの法則		
		製作		考察
J		弾性力の解釈		
		製作		考察
K		ばねの組み合わせ		
		製作		考察
L		張力と滑車		
		製作		考察

M		最大静止摩擦力の実験			
		製作	 	考察	 
N		摩擦角の実験			
		製作	  	考察	  
O		浮力の実験			
		製作		考察	 
P		等速直線運動の観察			
		製作	   	考察	   
Q		等加速度直線運動の観察			
		製作		考察	  
R		負の等加速度直線運動			
		製作	    	考察	    
S		異なる2つの加速度の観察（運動方程式）			
		製作	  	考察	   
T		力学的エネルギー保存の法則①			
		製作	 	考察	   
U		力学的エネルギー保存の法則②			
		製作		考察	   
V		等速円運動の実験			
		製作	    	考察	   
W		ばね振り子の実験			
		製作		考察	 
X		単振り子の実験			
		製作		考察	 
Y		衝突の実験			
		製作	  	考察	 
Z		はねかえり係数（反発係数）の測定			
		製作	 	考察	  

実験 A



密度の測定

目 的 | さまざまな形をした、均質な物体の密度を算出する

関連節 | 1-2 1-3 6-2 6-3

使用道具

- ☐ 千枚通し（またはキリ）
- ☐ はかり：1g 単位で測定できるもの
- ☐ はさみ（またはカッターナイフ）
- ☐ ノギス（または定規）

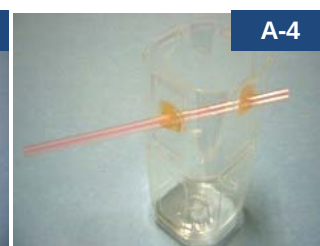
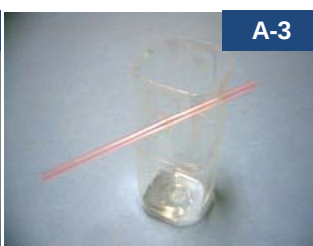
使用材料

- ☐ 500ml ペットボトル：2 個
- ☐ 太いストロー：1 本
- ☐ 塩ビ用接着剤（A-1）
- ☐ アルミ塊：30mm×30mm×30mm 程度：1 個（A-1）
- ☐ 六角ボルト：M16、長さ 30mm 程度：5 個（A-1）



製 作

- ① 2つのペットボトルを、高さ約 15cm(a)と約 10cm(b)になるように切る（A-2）。
- ② 高さ 15cm に切ったペットボトル a の隣り合う 2 面のそれぞれ上から 2cm と 3cm の位置に、千枚通しで孔をあける。ストローが両方の孔に差し込める程度にまで孔を広げる。
- ③ ストローを 10cm 程度に切り、②の 2 つの孔に差し込む（A-3）。
- ④ ストローとペットボトルの間の隙間から水が出ないように、塩ビ用接着剤をペットボトルの両側からつける（A-4）。
- ⑤ ストローが固定されたら、千枚通しでペットボトルの 2 つの孔の中央のストローの位置に、5mm 程度の大きさの孔を上からあけておく。



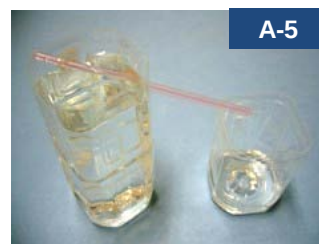
測定方法

測定方法 1

- ① アルミ塊の 3 辺の寸法 a, b, c [mm] を定規で測定する。定規を使う場合、0.1mm の位まで目分量で読み取る。
- ② アルミ塊の質量 m [g] を量る。
- ③ 体積は $V_1 = abc$ [mm³] だから、密度は $\rho_1 = m/V_1$ [g/mm³] となる。

測定方法 2

- ① ペットボトル b の質量 m_b [g] を測定する。
- ② ペットボトル a と b を、A-5 のように配置し、ストローの孔が水につかるまでペットボトル a に水を入れる。
- ③ ストローから流れ落ちる水が止まるまで待つ。
- ④ 水が止まったらペットボトル b を空にし、中の水滴を拭き取る。その後、A-5 の位置に戻す。
- ⑤ ペットボトル a にアルミ塊を静かに沈め、ストローから流れ落ちる水が止まるまで待つ。
- ⑥ 水が止まったら、水の入ったペットボトル b の質量 m_c [g] を測定する。
- ⑦ アルミ塊によって押し出された水の質量は $m_c - m_b$ [g] だから、アルミ塊の体積は $V_2 = m_c - m_b$ [cm³] となる。よって密度は $\rho_2 = m/V_2$ [g/cm³] となる。



考 察

- ① 2つの測定で得られた ρ_1 と ρ_2 は、密度の単位が異なっている。単位を[g/cm³]にそろえ、その値を比較せよ (6-2 の単位変換の考え方を、立体に適用すればよい)。
- ② 測定方法2の⑦において、水の質量[g]の値を体積[cm³]の値としてよい理由を説明せよ (6-3 参照)。
- ③ 1-3 を参照してアルミニウムの密度 ρ_{al} [g/cm³] を調べ、今回の測定値の誤差 ε [%]を以下の式で計算せよ。

$$\varepsilon = \frac{|\rho_{al} - \rho|}{\rho_{al}} \times 100$$

- ④ 測定方法1・測定方法2それぞれについて、誤差の原因を考えよ。

発 展

今回の測定方法2を用いて、六角ボルトの密度を算出せよ。なお、水に沈めるボルトの本数を増やしたほうが、測定誤差は小さくなる。その理由を考えよ。

実験 B



1 N の力

目 的 | 1 N の力を体験し、質量と力の相違を明確に理解する。

関連節 | 1-5 9-2

使用道具

- ☐ 千枚通し（またはキリ）
- ☐ はかり：1g 単位で測定できるもの
- ☐ 水差し（水を満たしておく）

使用材料

- ☐ 洋灯吊：ナット付：5 個（B-1）
- ☐ ビニール製の調味料容器：容量 100～200cc：ふたはねじ型：5 個（B-2）

製 作

- ① 調味料容器のふたを外し、ふたの中央に千枚通しで穴をあける。
- ② 洋灯吊をふたの上側から差し込み、ふたの下側をナットで留める（B-3）。
- ③ 以上を 5 個つくる。

実験方法

- ① ふたと空容器一組をはかりの上に載せる（B-4）。
- ② 空容器の中に水差しで水を入れ、はかりが 102[g]を示すように水を調整する（B-5）。
- ③ ふたと容器をはかりから下ろし、ふたを閉める。
- ④ 以上を 5 個(容器 A,B,C,D,E とする)つくる（B-6）。
- ⑤ 手のひらの上に④の容器 1 個を載せてみる。このときに手のひらに作用している下向きの力が約 1[N]である。
- ⑥ 同様に容器 2 個、3 個と載せてみる。それぞれ 2[N], 3[N]の大きさの下向きの力になる。



B-1



B-2



B-3



B-4



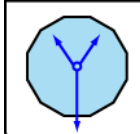
B-5



B-6

考 察

- ① この実験で製作したおもりの質量（102g）に作用する重力の大きさが 1N であることを説明せよ（1-5 参照）。
- ② 身近にあるもの（文房具や食器など）で、おもり A と同程度の重力の作用するものを探してみよ。その上で、その質量をはかりで量り、作用する重力を計算せよ。

実験 C**異なる作用線上にある力の合成**

目 的 | 異なる作用線上の複数の力を合成できることを確かめる.

関連節 | 2-2 2-5

使用道具

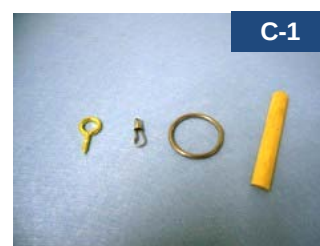
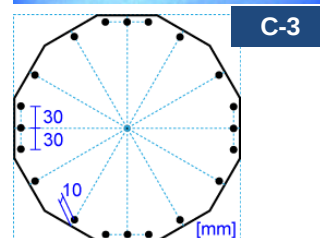
- ☐ キリ
- ☐ のこぎり
- ☐ はかり：1g 単位で測定できるもの
- ☐ 木工用ボンド
- ☐ 水差し

使用材料

- ☐ 一辺 30cm, 厚さ 12mm の正方形の木の板
- ☐ 直径 12mm の半円形工作材 1m (C-1:なくてもよい)
- ☐ 300mL ペットボトル：1 個
- ☐ ヒートン：24 個 (C-1)
- ☐ たこ糸
- ☐ リング (C-1)
- ☐ 小さいナスカン：12 個 (C-1)
- ☐ 実験 B で製作した 1N おもり：2 個

製 作**台座の製作**

- ① 正方形の木の板を, なるべく大きな正 12 角形に加工する.
- ② 正 12 角形の板の側面に, 長さを調整した半円形的工作材をボンドで接着する (C-2): 省略可.
- ③ 切り出した板の図の位置に, キリで下穴をあける (C-3)
- ④ 下穴の位置に, 吊り金具をねじ込む (C-4). ねじ込んだ吊り具の円が正 12 角形の辺と平行になるように調整する.

**C-1****C-2****C-3****C-4****C-5****吊り糸の製作**

- ① 30cm 程度のたこ糸の両端にナスカンをつける (C-5: 撮影の都合上, 写真では緑色のロープを用いている). 結び方は自由.

ペットボトルの加工

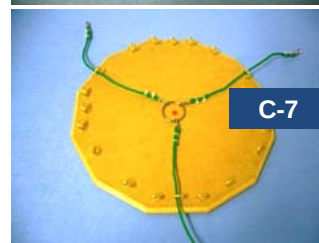
- ① ペットボトルの蓋に, 実験 B のおもりの製作と同じ要領で洋灯吊りをつける (C-6).
- ② ペットボトルに水を入れて, 蓋と合わせて 300g になるようにした上で蓋を閉める.

実験方法

- ① 吊り糸3本を、台座に C-7 のように設置する。
- ② 台座の下に本などを積んで、台座に高さを確保した上で、1本の吊り糸に 300mL ペットボトルのおもりを取りつける。その下に電源を入れたはかりを置く (C-8)。このとき、ペットボトルとつながっている吊り糸を伸ばしたときに、リングが台座中央付近に来るよう、台座の高さを調整しておく。
- ③ 残りの吊り糸に 1N おもりを1個ずつぶら下げる (C-9)。
- ④ はかりの示す値を読み取り、それを a [g] とする。
- ⑤ 台座の上に紙を置いて、3本の糸の交点 O および各糸の方向が分かるように紙に印をつける。その際、つながっているおもりの種類が分かるようにしておく (C-10)。
- ⑥ 紙を台座から取り出し、3本の糸の方向に直線を引く。
- ⑦ O を基準に、以下の長さの矢印を3本の糸を示す方向に描く (C-11)。
 ペットボトルの方向 : $(0.300 - 0.001a) \times 9.8$ [N]
 1N おもりの方向 : 1.0N
 1N を 10cm として矢印を描くと良い。
- ⑧ 1N 方向の2本の力の矢印を、2-2 を参照して合成する。
- ⑨ ペットボトル方向の力の矢印と⑧で合成した矢印が、向きが反対でほぼ同じ長さとなっていることを確認する。



C-6



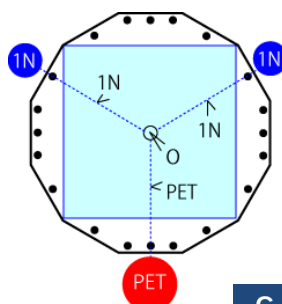
C-7



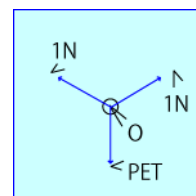
C-8



C-9



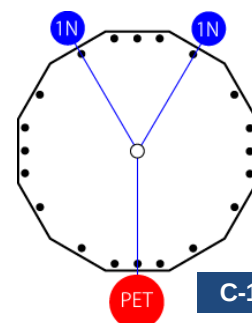
C-10



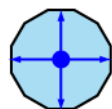
C-11

考 察

- ① 糸 A が点 O を引く力が、 $(0.300 - 0.001a) \times 9.8$ [N] で表される理由を述べよ (1-5 参照)。
- ② C-12 のように吊り糸を配置し直して、同様の実験を行ってみよ。



C-12

実験 D**力のつりあいの実験**

目 的 | 力のつりあいの状態をつくる。

関連節 | [2-4](#) [2-5](#)

使用道具

- ☐ 実験 C で製作した台座・吊るし糸
- ☐ 実験 B で製作した 1N おもり：2 個
- ☐ 千枚通し（またはキリ）
- ☐ はかり：1g 単位で測定できるもの
- ☐ 水差し（水を満たしておく）
- ☐ リング

使用材料

- ☐ 洋灯吊：ナット付：1 個（B-1）
- ☐ ビニール製の調味料容器：容量 300mL 程度：ふたはねじ型：1 個

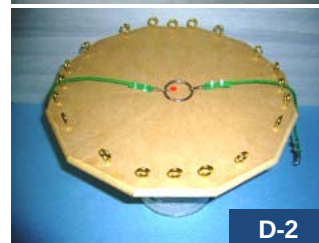
製 作

可変おもりの製作

- ① 実験 B と同様の手順で、調味料容器の蓋に洋灯吊を取り付ける。
- ② 蓋の一部に千枚通しで直径 5mm 程度の孔をあけ、蓋をしめる（D-1）。

**D-1****実験方法**

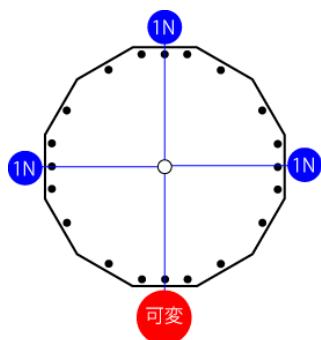
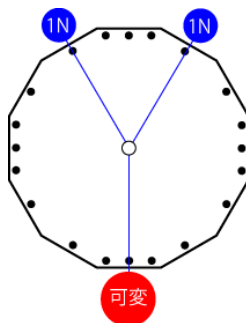
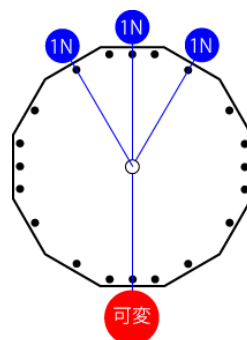
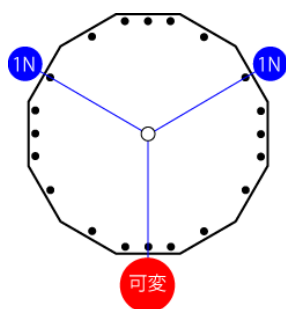
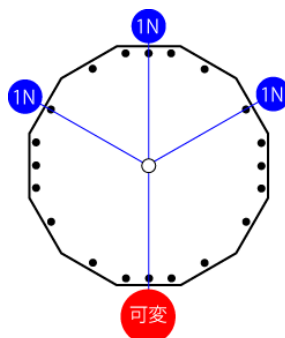
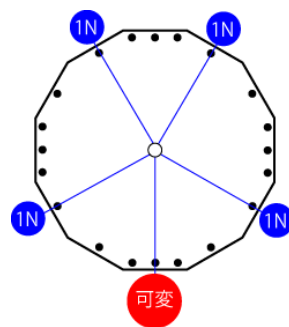
- ① 台座に吊るし糸 2 本とリングを、D-2 のように設置する。
- ② 中央のリングの上に重しを置く（D-3）。
- ③ 片方の吊るし糸に 1N おもりをぶら下げる。
- ④ 他方の吊るし糸に何[N]のおもりを吊るせばよいか計算する（ x [N]とする）。
- ⑤ 可変おもりの孔から水を入れ、 x [N]の重力の作用するおもりにする。容器と水の質量の合計が $1000x/9.8$ [g]になるようにすればよい。
- ⑥ 可変おもりをあいている吊るし糸にぶら下げ、台座中央の重しを持ち上げる。
- ⑦ 中央リングの位置が動かなければ、力はつりあっている（D-4）。

**D-2****D-3****D-4****考 察**

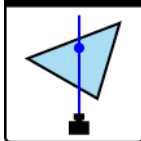
- ① 実験方法⑤において、 x [N]の重力の作用するおもりの質量が $1000x/9.8$ [g]であることを説明せよ（[1-5](#) 参照）。
- ② この実験でリングが動かないとき、リングが [2-5](#) で示した力のつりあいの状態にあることを説明せよ。

発展

実験方法③の段階で、糸を以下の図のように配置したときの x の値を予想し、実際に力がつりあうか確かめてみよ。

D-5**D-6****D-7****D-8****D-9****D-10**

実験 E



三角形の重心

目 的 | 三角形の重心を力学的にとらえる。

関連節 | [3-1](#) [3-5](#) [3-6](#)

使用道具

- ☐ きり
- ☐ のこぎり
- ☐ セロハンテープ

使用材料

- ☐ 実験 B で製作したおもり：1 個
- ☐ たこ糸：30cm 程度：1 本
- ☐ 吊るし糸：1 本
- ☐ 木材：寸法 150mm×150mm×6mm 程度：1 枚
- ☐ A4 コピー用紙：3 枚

製 作

- ① 木材を好きな形の三角形になるべく大きく加工する。
- ② コピー用紙を①の三角形と同じ寸法に 3 枚切りとり，1 枚を板の上に重ねる。その際，3 辺をセロハンテープで留める。
- ③ 三角形の 1 辺から 5mm～1cm 離れた好きな位置にキリで穴をあける (E-1)。
- ④ 別の 1 辺から 5mm～1cm 離れた好きな位置にキリで穴をあける。

実験方法

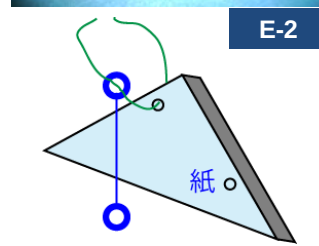
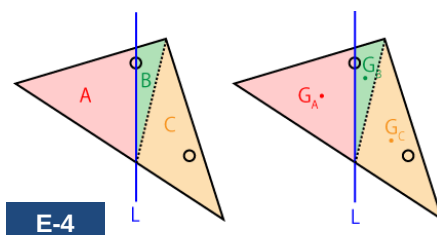
- ① 30cm のたこ糸を吊るし，吊るし糸の金具と三角形のひとつの穴に通し，両端を結ぶ (E-2)。結んだ糸を壁にあるフックなどにぶら下げる。
- ② 吊るし糸の下側の金具に，おもりをぶら下げる (E-3)。
- ③ 静止したら吊るし糸に沿って，紙の上に鉛筆で線を引く。
- ④ ①～③をもう一つの穴について繰り返す。

考 察

- ① 2 枚目の紙に三角形の中線を 2 本引き，その交点を G とする。また，実験で得られた 2 本の線の交点を G' とする。G と G' がほぼ一致していることを確かめよ。
- ② G および G' が，中線を 2:1 の比に分けていることを確かめよ ([3-4](#) 数学の知識③)。

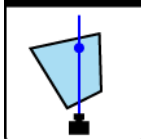
発 展

- ① このように吊るして安定させると，ふつう，実験で引かれる線は E-4 の直線 L のようになる。今回の実験で得られた 1 本を取り上げ，右の図の 3 つの三角形の重心 G_A , G_B , G_C の位置を作図せよ (3 枚目の紙に L を転記して行うとよい)。
- ② ①の 3 つの三角形の面積を算出せよ。
- ③ 点 G_A , G_B , G_C と直線 L の間の距離を測定せよ ([3-3](#) の腕の長さを考える)。
- ④ L 上の孔の位置を回転の中心とすると，左右の三角形に作用する重力のモーメントがつりあうことを示せ ([3-6](#) 参照)。



実験 F

複合図形の重心



目 的 | 複合図形の重心を力学的にとらえる。

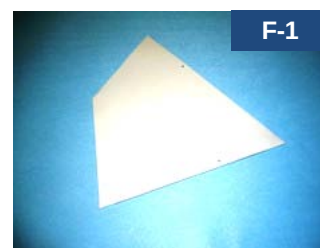
関連節 | 3-5 3-6

使用道具

- ☐ きり
- ☐ のこぎり
- ☐ セロハンテープ

使用材料

- ☐ 実験 B で製作したおもり：1 個
- ☐ たこ糸：30cm 程度：1 本
- ☐ 吊るし糸：1 本
- ☐ 木材：寸法 150mm×150mm×6mm 程度：1 枚
- ☐ A4 コピー用紙：3 枚



製 作

- ① 木材を好きな形の四角形になるべく大きく加工する。
- ② コピー用紙を①の四角形と同じ寸法に 3 枚切りとり，1 枚を板の上に重ねる。その際，3 辺をセロハンテープで留める。
- ③ 四角形の 1 辺から 5mm～1cm 離れた好きな位置にキリで穴をあける (F-1)。
- ④ 別の 1 辺から 5mm～1cm 離れた好きな位置にキリで穴をあける。

実験方法

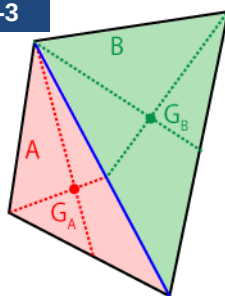
実験 E と同じ (F-2)

考 察

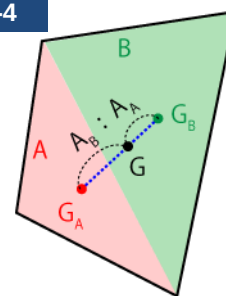
- ① 2 枚目の紙に対角線を一本引き，2 つの三角形 A, B にする。
- ② 三角形 A, B の重心位置 G_A , G_B を作図する (F-3)。
- ③ 三角形 A, B の面積 A_A , A_B を計算する。
- ④ 直線 $G_A G_B$ を $A_B : A_A$ の比に内分する点 G が，この四角形の重心になる (F-4)。実験で得られた重心位置とほぼ同一になっていることを確かめよ。



F-3



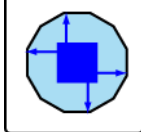
F-4



発 展

考察の方法によって重心位置を作図できることを説明せよ (参考 3-6)。

実験 G



剛体の静止条件

目 的 | 剛体が静止する条件を確かめる。

関連節 | 2-5 3-2 3-5

使用道具

- ☐ 実験 C で製作した台座・吊るし糸
- ☐ 実験 B で製作した 1N おもり
- ☐ キリ

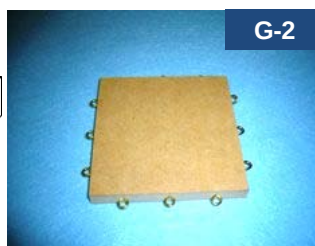
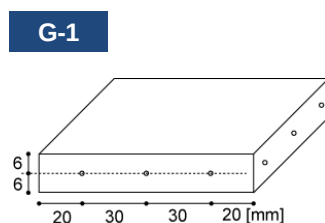
使用材料

- ☐ ヒートン：12 個 (C-1)
- ☐ 一辺 10cm, 厚さ 12mm の正方形の木の板

製 作

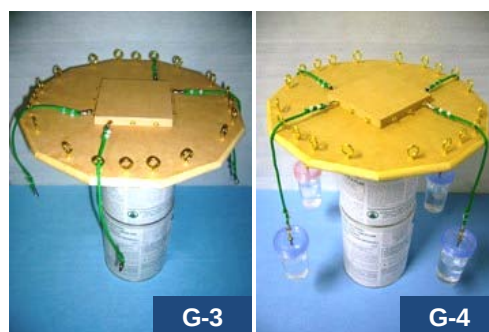
移動板の製作

- ① 正方形の板の側面に、G-1 のような下穴 12 個をキリであける。
- ② ①の下穴に、ヒートンをねじ込む (G-2)。



実験方法

- ① 台座に吊るし糸 2 本と移動板を、G-3 のように設置する。
- ② 移動板の上に重しを置くか、手で押さえつける。
- ③ 移動板が動かないように注意しながら、4 本の吊るし糸にそれぞれ 1N おもりをぶら下げる (G-4)。
- ④ 移動板の上の重しあるいは手を外したときに、移動板が動かなければ、剛体の静止条件を満足している。



考 察

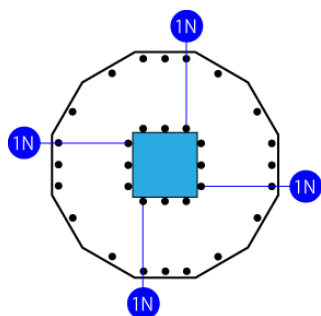
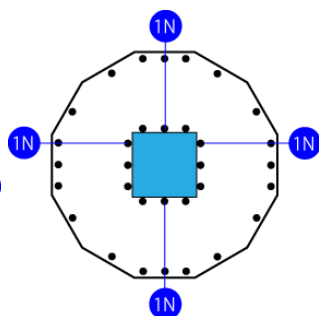
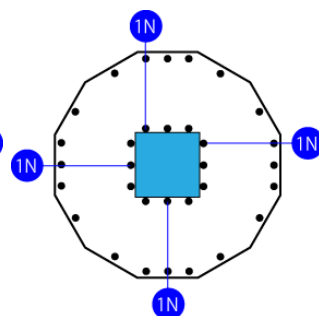
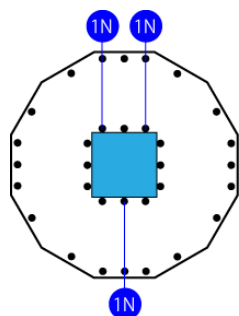
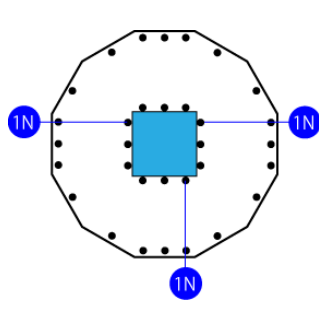
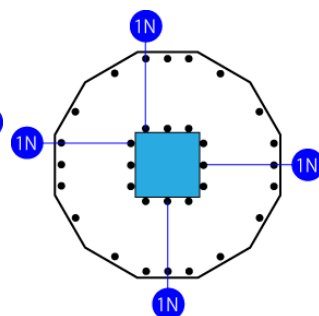
この実験において、剛体の静止条件 3-5 が満足されていることを説明せよ。

注意事項

本実験では、重しあるいは手を外したとき、移動板が浮き上がることを想定している。浮き上がらない場合には、移動板と台座の間に小さなビー玉を 4 個程度はさんで行うとよい。なお、移動板が浮き上らない場合、剛体の静止条件と実験結果が整合しない場合がある。その原因について考察せよ。

発展

吊るし糸を次頁の図のように配置したとき、移動板は静止するか移動するか予測し、実際に確かめてみよ。

G-5**G-6****G-7****G-8****G-9****G-10**

実験 H



力のモーメントの実験

目 的 | 力のモーメントが足し引きできることを確認する。

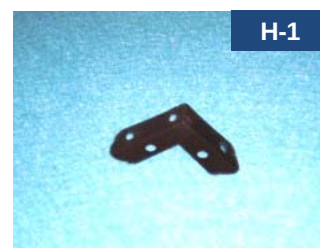
関連節 | 3-3 3-4

使用道具

- ☐ 実験 C で製作した台座・吊るし糸
- ☐ 実験 B で製作した 1N おもり：4 個
- ☐ キリ
- ☐ プラスドライバー

使用材料

- ☐ 洋灯吊またはヒートン：ねじ込み式：8 個（C-1）
- ☐ 一辺 2cm の正方形断面の木材の棒：12cm：2 本
- ☐ 一辺 10cm，厚さ 12mm 程度の木の板：1 枚
- ☐ 隅金物（H-1 のような形状）：4 個
- ☐ 隅金物に適合するネジ：4 本または 8 本：隅金物の穴の数に応じて

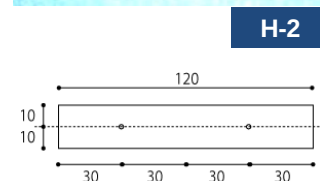


H-1

製 作

回転棒の製作

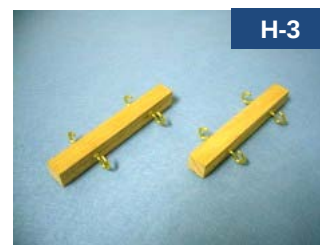
- ① 2本の棒の側面に、キリでH-2のような穴をあける。その裏面にも同様の穴をあける。
- ② 棒の穴の位置に、洋灯吊またはヒートンをねじ込む（H-3）。



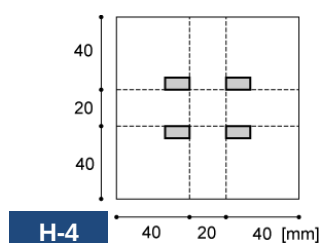
H-2

回転板の製作

- ① 回転板の H-4 の位置に、隅金物を取り付ける。完成したとき、H-5 のようになるよう、金物の方向に注意する。
- ② 完成した回転板に、回転棒 2 本が H-6 のように差し込めることを確認する。



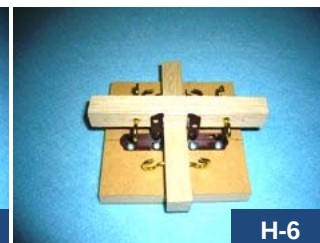
H-3



H-4



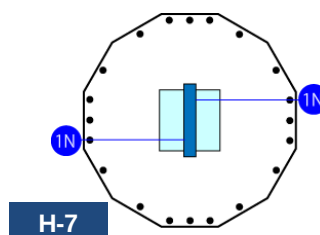
H-5



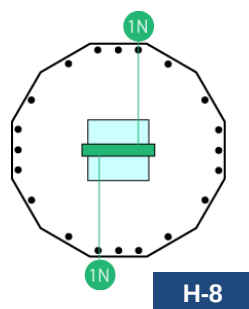
H-6

実験方法

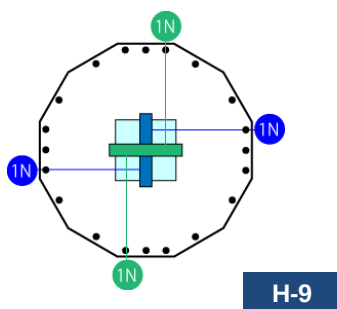
- ① 回転板に回転棒 1 本を設置し、台座の上に吊るし糸 2 本とリングを、H-7 のように設置する。
- ② 回転棒を上から押さえて動かないようにしてから、1N おもりを吊るし糸に取り付ける（H-7）。
- ③ 手を離すと、回転板が回転することを確認する。



H-7



H-8



H-9



H-10

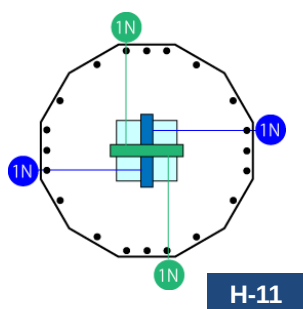
- ④ 同様に H-8 のように設置した場合にも回転することを確認する。
- ⑤ 2 本の棒を回転板に設置し，上から押さえながら H-9 のように吊るし糸とおもりを設置する．手を離したときに回転するか回転しないかを確認する。

考 察

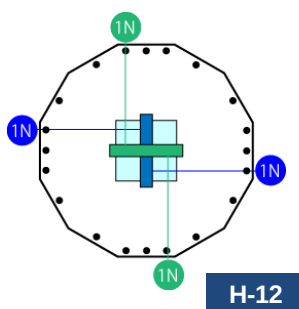
- ① H-7, H-8 の設置状態において，回転板の中心に作用する力のモーメント[N・cm]を符号をつけて求めよ (3-3 参照)。
- ② H-9 の設置状態において，回転板の中心に作用する力のモーメント[N・cm]を求めよ。
- ③ H-9 の状態は，H-7 と H-8 を重ね合わせたものである．このことから力のモーメントを足し引きできることを説明せよ (3-4 参照)。

発 展

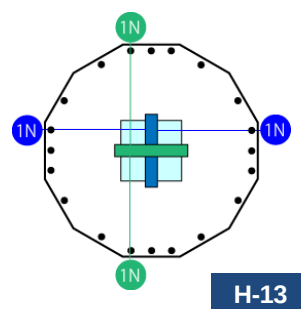
吊るし糸とおもりおよび回転棒を以下の図のように配置したとき，回転板が回転するか回転しないかを述べよ．その上で実際に確かめてみよ。



H-11

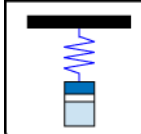


H-12



H-13

実験 I



フックの法則

目 的 | ばね定数を求め、フックの法則を確認する。

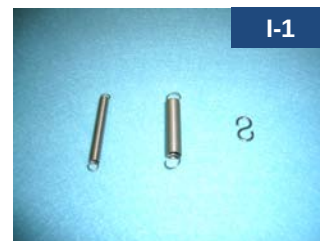
関連節 | 4-1 4-3

使用道具

- ☐ きり
- ☐ はかり：1g 単位で測定できるもの
- ☐ 水差し

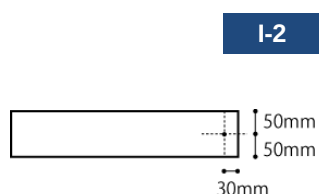
使用材料

- ☐ 実験 D で製作した可変おもり
- ☐ 吊るし糸：1 本
- ☐ S 字フック：1 個 (I-1)
- ☐ 洋灯吊：ナット付：1 個 (B-1)
- ☐ 引ばね：同じ長さで巻きの太さの異なるもの：各 1 本 (I-1)
- ☐ 木材：寸法 500mm×100mm×6mm 程度：1 枚



製 作

- ① 木材の I-2 の位置にきりで穴をあけ、洋灯吊を差し込みボルトで締める (I-3)。
- ② 組み立てた木材の洋灯吊の部分を机の端から出し、板の上面に本を何冊か載せて動かないようにしておく (I-4)。



実験方法

- ① 以下のような表をつくる。
- ② 引ばね 2 本の全長を測り、荷重 0 の位置に数値を記入する。

荷重[N]		0	1.0	2.0	3.0	4.0
可変おもり質量[g]		0	102	204	306	408
全長 [mm]	ばね I					
	ばね II					

- ③ 可変おもりを 102g にして、以下の順に吊るしていく (I-5)。
(洋灯吊) → S 字フック → 引ばね I → S 字フック → 吊るし糸 → 可変おもり
- ④ 102g の可変おもりを吊るしたときの荷重は 1.0[N]だから、対応する表の欄にばねの全長を測定して記入する。
- ⑤ 可変おもりの質量を 204g、306g と変化させて、同様に記入する。
- ⑥ 引ばね II についても同様に測定し、表に記入する。



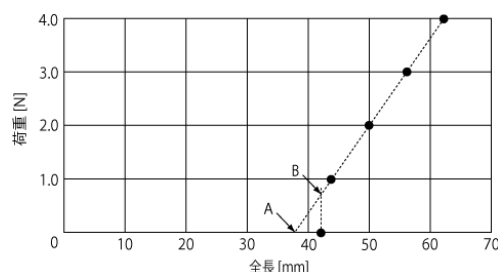
考 察

- ① 測定結果を右のようなグラフにしてみる.
- ② 引ばねを使用すると、ふつうは右のように 0N のところだけ直線上にはのらない. 0N 付近でも比例関係が成立すると仮定すると、自然長は右図の A の位置と予想される. 各自の測定データについて、自然長をグラフから読み取れ.
- ③ フックの法則 4-3 が成り立つのは、右図の B の位置からである. このときの荷重 F_c [N] をグラフから求めよ.
- ④ おもりの中の水量を調整して、 F_c [N] よりも小さい荷重を作用させる. このときばねは伸びないことを確認してみよ.
- ⑤ 測定した 2 つのばねについて、B 点よりも大きな荷重が作用する場合のばね定数を求めよ. $F = kx$ において、 x は全長ではなく自然長からの伸び量であることに注意すること.

I-6

測定例

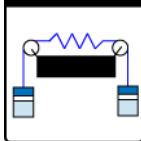
荷重 [N]	0	1.0	2.0	3.0	4.0
全長 [mm]	42	44	50	56	62



補 足

- ① ふつう、引ばねの最初の状態はフックの法則の自然長には対応しない. これは、ばねが自然長に戻ろうとしても、コイル部分が接触するため、それ以上は短くならないことによる.
- ② 引きばねで荷重 0 からフックの法則を適用できるようにしたければ、最初にばねを大きく引っ張って、力を抜いてもコイルが接触しないように塑性化 4-1 させておけばよい (過剰に引っ張りすぎると、ばねとして機能しなくなるので、塑性化させる場合には注意すること).
- ③ 押ばねを使って押す方向について同じことを測定する場合には、荷重 0 のときの全長が自然長になる. 測定するには少し工夫が必要だが、試してみると良い.

実験 J



弾性力の解釈

目 的 | 弾性力は一組の力であることを理解する。

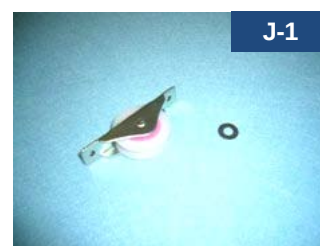
関連節 | 4-2 4-3 4-4

使用道具

- ☐ 1N おもり：4 個
- ☐ きり
- ☐ ドライバー
- ☐ ハンマー
- ☐ 実験 I で使用したばね 2 種類

使用材料

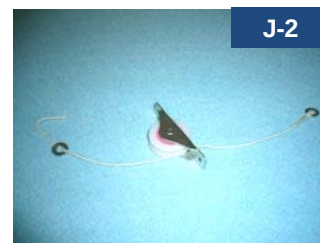
- ☐ 木材：200mm×100mm×6mm 程度：1 枚
- ☐ 工作材：30mm×30mm×100mm 程度：2 個
- ☐ S 字フック：2 個 (I-1)
- ☐ 戸車：2 個 (J-1)
- ☐ ワッシャー（丸座金）：M12：4 個 (J-1)
- ☐ たこ糸：20cm：2 本
- ☐ 木工用ボンドまたは釘：4 本
- ☐ ねじ：戸車の穴に合うもの：2 個



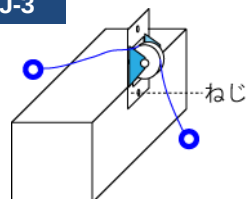
製 作

滑車台座の製作

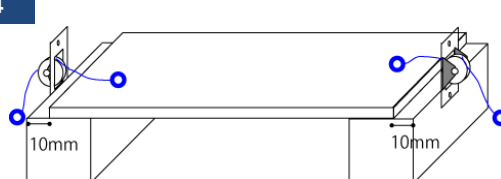
- ① 戸車に糸を通し、糸の両端にワッシャーを結ぶ (J-2)。
- ② J-3 のように、工作材と戸車をねじで留める。ねじ穴を事前にきりであけてから行うのが良い。同じものを 2 個つくる。
- ③ 木材と②でできた 2 個を、J-4 のように接合する。ボンドを用いてもよいし、釘を使ってもよい。



J-3



J-4



実験方法

- ① 床面より十分に高さをとった状態で、滑車付台座をセットする。
- ② ばねを中央付近に置き、滑車からのびる糸のワッシャーをばねの両端につなげる。
- ③ 滑車から床面にのびる糸のワッシャーに、1[N]おもりを左右 2 個ずつ吊るす。必要に応じて、S 字フック、吊るし糸を使えばよい (J-5, J-6)。
- ④ 両側のおもりが宙に浮いていることを確認し、ばねの全長

J-5



を測る。ばねは実験Ⅰで用いた2本について行う。

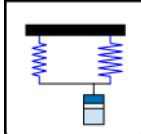
考 察

- ① 得られたばねの全長を、実験Ⅰの結果と比較する。
この場合、ばねの全長は実験Ⅰにおけるどの荷重と等しい（近い）か。
- ② 左側のおもりを外し、ばねの左側を指で挟んで少し左に引っ張る。このとき、ばねが静止した時点でばねの全長を測れ。
- ③ 4-3および4-4を参考にして、弾性力を一組の力として考える必要があることを、簡潔に説明せよ。

J-6**補 足**

考察②で、指で引っ張ったとき、ばねは一瞬のびるが、すぐにある一定の長さに戻る。弾性力はこのときに生じている「もとに戻ろうとする力」ということである（参考 4-4）。

実験 K



ばねの組合せ

目 的 | 並列つなぎによる合成ばね定数を理解する。

関連節 | 3-3 3-5 4-2 4-3 4-5

使用道具

- ☐ 1N おもり：4 個
- ☐ 吊るし糸：4 本
- ☐ きり
- ☐ 実験 I で使用したばね 2 種類
- ☐ リング：材料の棒を差し込める大きさ（大きめの単語帳のリングでよい）：1 個
- ☐ ノギス（または定規）

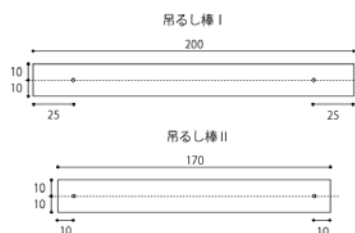
使用材料

- ☐ 正方形断面（20mm×20mm）の棒：長さ 20cm
- ☐ 正方形断面（20mm×20mm）の棒：長さ 17cm
- ☐ 洋灯吊：ねじ込み型：サイズ 16mm：4 本

製 作

- ① 2 本の棒に、右図のような穴をあけ、いずれの場所にも洋灯吊りをねじ込んでおく。吊るし棒Ⅱには、リングを通しておく（K-1, K-2）。
- ② 吊るし棒Ⅱの質量をはかっておく。

K-1



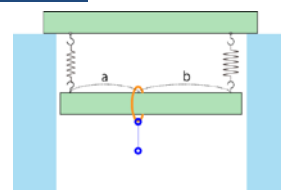
K-2



実験方法

- ① 製作した棒とばね，リング，および吊るし糸を，K-3 のようにセットする．リングは吊るし棒のほぼ中央にすればよい．図の青い四角は，本や箱などを積み上げればよい．
- ② 吊るし糸の下側に，1N おもりを 3 個ないし 4 個吊るす（K-4）その段階で 2 本のばねがともに伸びていることを確認する．のびていなければ，おもりを増やす．
- ③ リングを左右にずらして吊るし棒Ⅰと吊るし棒Ⅱが平行になる位置を探す（K-5）。
- ④ 平行になっているかどうかは，左右のばねの取付位置において吊るし棒Ⅰ，Ⅱの間の間隔が同じになっていることを確かめることで分かる．
- ⑤ 2 本の吊るし棒が平行になったら，

K-3



K-4



K-5



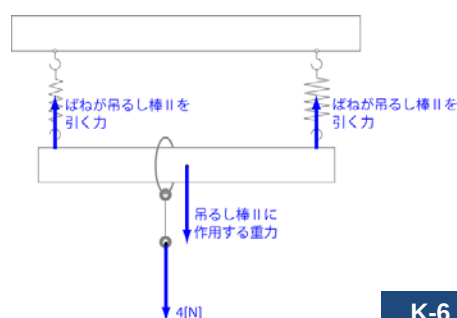
左右のばねの全長および K-3 の a, b の長さを計測する。

考 察

- ① 実験 I で得られたデータおよび、今回の実験で得られたデータを、以下の例のようにまとめる。

	実験 I 結果		実験 K 結果	
	自然長	ばね定数	ばね全長	リングからの距離
左のばね	36 mm	0.143 N/mm	54 mm	62 mm
右のばね	25 mm	0.0770 N/mm	49 mm	88 mm

- ② 今回の実験での力のつりあいを考えると、K-6 のようになる（おもりが 4 個の場合）。鉛直方向の力のつり合いがほぼ成立していることを確認せよ。大幅に異なる場合、測定が誤っている可能性があるので、再度測定する。



K-6

- ③ 吊るし棒 II に作用する力のつりあいから得られるリングの位置を、吊るし棒に作用する力のモーメントのつりあい、および $a + b = 150\text{mm}$ を連立させて求めよ。得られた a, b の値と実験によって得られた値を比較せよ。
- ④ 並列ばねの合成ばね定数を求め、それがフックの法則を満たしているか確認せよ (4-5 参照)。

補 足

- ① ここでいう自然長とは、ばねに力が作用していない状態の長さではなく、ばね定数から算出されたものを使わなければならない。詳しくは実験 I 参照。
- ② 吊るすおもりが 1 個や 2 個、つまりおもりが軽いと、リングの位置は大きく変わってくる。その理由は実験 I の補足①による。

実験 L



張力と滑車

目 的 | 滑車が力の方向を変化できることと、動滑車のはたらきを理解する。

関連節 | 4-6

使用道具

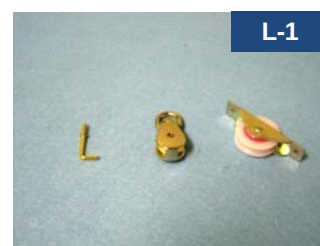
- ☐ 1N おもり：1 個
- ☐ 可変おもり：1 個
- ☐ きり
- ☐ はかり：1g 単位で測定できるもの
- ☐ 水差し

使用材料

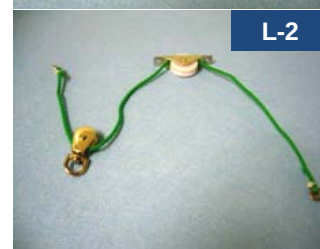
- ☐ 正方形断面（20mm×20mm）の棒：長さ 30cm
- ☐ たこ糸：50cm：1 本
- ☐ ワッシャー（丸座金）：M12：2 個
- ☐ 洋灯吊：ねじ込み型：サイズ 16mm：3 本
- ☐ L 型フック：ねじ込み型：2 個（L-1）
- ☐ 戸車：1 個（L-1）
- ☐ 滑車：1 個（L-1）

製 作

- ① 戸車と滑車に L-2 の要領で糸を通し、糸の両端にワッシャーを取り付ける。
- ② 棒の 5 か所にきりで穴をあける（L-3 参照）。
- ③ 左の 3 個の穴に洋灯吊りを、右の 2 個の穴に L 型フックをねじ込む（L-4）。

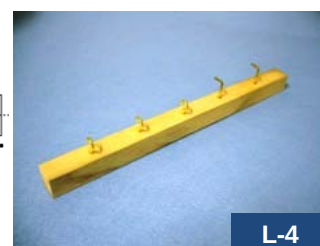
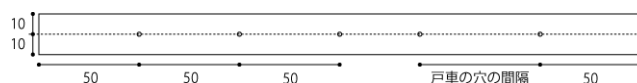


L-1



L-2

L-3



L-4

実験方法

- ① 吊るし棒と滑車・おもりの設置
 - 1) 吊るし棒の左右が支えられるように、高さ 30cm 程度の高さを両側に確保し、L-5 のように吊るし棒を設置する。
 - 2) 動滑車側のワッシャーを洋灯吊りの戸車に一番近いものにひっかける。
 - 3) L-5 のように、可変おもりを動滑車に、1N おもりをワッシャーに吊るす。1N おもりは床面についているようにする。
- ② 動滑車を吊るしている糸が、水平となす角度を求める（方法は各自で考えてみよ）。



L-5

- ③ 可変おもりに水差しを使って徐々に水を入れていくと，あるところで 1N おもりが浮き上がる．そこで水を注ぐのを止める．
- ④ 可変おもりを取り外し，その質量を測る．

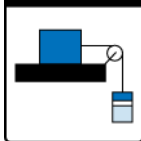
考 察

- ① 1N おもりのぶら下がっている糸の張力は何[N]であるか．
- ② 動滑車と可変おもりに作用する合計の重力は何[N]であるか．
- ③ 動滑車を吊るしている 2 方向の糸に生じている張力は何[N]であるか．
- ④ 以上のことから，定滑車・動滑車のはたらきを簡潔に述べよ (4-6 参照)．

補 足

- ① 今回の実験で使用しなかった 2 つの洋灯吊りの位置に動滑車側のワッシャーをセットして，同様に実験せよ．その上で上記の考察を行え．
- ② この実験では，力が完全にはつりあっていないような測定値が得られることが多い．その原因を考えよ．

実験 M



最大静止摩擦力の実験

目的 | 静止摩擦係数を求め、最大静止摩擦力と垂直抗力の関係を理解する。

関連節 | 5-1 5-2 5-3

使用道具

- ☐ 可変おもり：1 個
- ☐ 滑車台座（実験 J 参照）
- ☐ （必要に応じて）ボンド
- ☐ きり
- ☐ 水差し
- ☐ はかり：1g 単位で測定できるもの

使用材料

- ☐ 洋灯吊：ねじ込み型：サイズ 16mm：1 本
- ☐ 工作材：40mm×40mm×100mm 程度（M-2 参照）：1 個

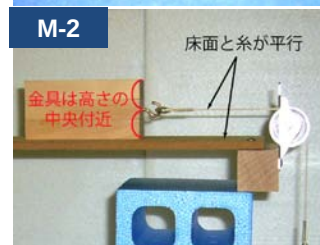
製 作

M-1 のように工作材に洋灯吊りをねじ込む。滑車の大きさによっては、工作材の高さ中央と滑車の高さがあわないので、工作材を加工するか、複数の工作材を組み合わせるなどして M-2 の条件を満たすように調整する（M-1 は 3 個の工作材を接着した場合）。



実験方法

- ① 滑車台座を机など高い位置に置き、滑車についている糸のワッシャーを工作材の塊につなげる。
- ② 滑車糸の反対側に、空の可変おもりをぶら下げる（M-3）。
- ③ 水差しを使って、可変おもりに少しずつ水を加える。
- ④ 工作材の塊が動いたところで水を加えるのをやめ、可変おもりの質量を測定する。



考 察

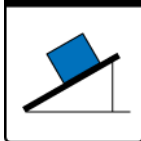
- ① 滑車台座に作用する工作材の塊の重力を求めよ。
- ② 滑車台座から工作材の塊に作用する垂直抗力を求めよ（5-1）。
- ③ 工作材塊が動き始めた瞬間の、糸の張力は何[N]であるか（5-2 参照）。
- ④ この実験で用いた台座と工作材の間の静止摩擦係数はいくつであるか算定せよ（5-2 参照）。



補 足

- ① 木材は表面が均一でないことが多く、最初に置く場所によってかなりの差が出る可能性がある。その場合は接触する 2 面にシートを貼るなどして、面を均一な状態にするとよい（ホワイトボードシートなど）。
- ② 糸はなるべく滑車台座と平行になっている方がよい。もし大きく傾いていると、垂直抗力および張力の水平成分に影響する（問題 509 参照）。

実験 N



摩擦角の実験

目 的 | 摩擦角を求め、静止摩擦係数と等しくなっていることを確認する。

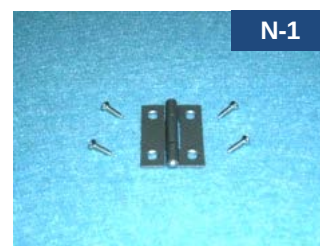
関連節 | 5-2 5-4 5-5 9-4

使用道具

- ☐ 実験 M で製作した工作材ブロック
- ☐ きり
- ☐ 定規

使用材料

- ☐ 木材板（滑車台座と同じ材質）：10cm×25cm×12mm：2 枚
- ☐ ちょうつがいおよびネジ：幅 30～40mm：2 組（N-1）
- ☐ 木材棒：9mm×15mm×長さ 180mm：2 本
- ☐ 木材棒：9mm×15mm×長さ 100mm：1 本
- ☐ 釘：10 本程度
- ☐ 工作材ピース：30mm×30mm×厚さ 15mm：12 個



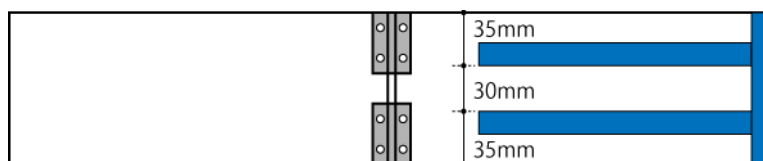
製 作

可変斜面台の製作

- ① 木材板 2 枚を、ちょうつがいを使って N-2 のようにつなげる。
- ② 木材棒を N-3 のような位置に釘で固定する。ボンドを併用するとよい。2 本の木材棒の間隔は 30mm としているが、12 個の工作材ピースがすっぽり入るだけの幅を確保するために、間隔を 1～2mm 程度広げてもかまわない。



N-3



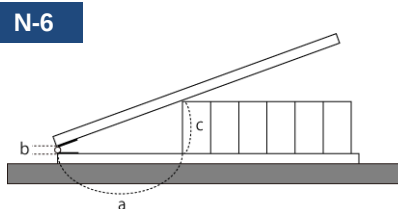
実験方法

- ① 可変斜面台を広げて、水平な台の上に置く。
- ② 工作材ピースを 1 個、棒の間に立てて端に入れる。
- ③ ちょうつがいを回転させて、斜面が工作材ピースに接触するまで傾ける。その状態で、工作材ブロックを斜面上に置き、上から手で軽く押さえつける。
- ④ 手を離す。その後、10 秒程度待ち、すべらないことを確認する。
- ⑤ 工作材ピースを 1 個ずつ増やし、③・④を繰り返す（N-4, N-5）。
- ⑥ 初めてすべったときのピースの数 n を記録する。



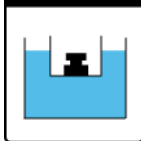
考 察

- ① 工作材ピースの数が $n-1$ および n のときの傾斜角 θ_{n-1} , θ_n の正接($\tan\theta_{n-1}$, $\tan\theta_n$)を求める．具体的には以下のようにする (N-6)．
- 1) 台座上面の左端から、挟み込んだ工作材の左端の距離 a を測る．
 - 2) 台座上面の左端がちょうどつがいによって浮いている高さ b を求める．
 - 3) 挟み込んだ工作材の高さ c を測る．
 - 4) $\tan\theta = (c - b)/a$
- ② 傾斜角の正接の値($\tan\theta$)と実験 M で得られた静止摩擦係数の値を比較せよ．何が言えるか (5-5)．
- ③ 実験で得られる $\tan\theta$ の値の範囲と静止摩擦係数の値は、完全には一致しないことが多い．その原因を考えてみよ (ヒント：実験 M で使って、今回使っていないものについて考えてみる)．

**補 足**

最大静止摩擦力付近になると、工作材ブロックは、わずかな外乱によって動いてしまう．外乱のない状態をつくるために、実験方法③において手で工作材ブロックを手で押さえつけ、床面に一時的にわずかなへこみを生じさせる．そのへこみが、床の弾性によって平らに戻った状態になったとき、静止摩擦力によって工作材ブロックが静止状態を保つことができるかを判断できる．

実験 0



浮力の実験

目 的 | 浮力の大きさが、アルキメデスの法則を満たすことを確認する。

関連節 | 6-3 6-4

使用道具

- ☐ 1N おもり：4 個
- ☐ 洗面器
- ☐ 定規
- ☐ はかり：1g 単位で測定できるもの

使用材料

- ☐ 直方体の容器：上があいているもの：洗面器に入る
大きさ：1 個（O-1：仕切りは、なくてもよい）
- ☐ セロハンテープ
- ☐ 極細の油性ペン

製 作

- ① 容器の四隅にセロハンテープを貼り、その上に容器の底面から 5mm 刻みで目盛をふる（O-2）。

実験方法

- ① 直方体容器の質量と底面の 2 辺の長さ（ a, b ）を事前に測っておく。
- ② 洗面器に水を半分くらいまで入れ、直方体容器を浮かべる。
- ③ 容器の水平をできるだけ保ちながら、おもり 4 個を容器の中に入れる。
- ④ 四隅の沈んだ深さ d_1, d_2, d_3, d_4 を、目盛から読み取る



O-1



O-2



O-3

考 察

- ① 容器におもりを入れたことで、沈んだ体積を、以下の式により求めよ。
$$V = (d_1 + d_2 + d_3 + d_4) / 4 \times a \times b$$
- ② 水の密度を $1.0 [\text{g}/\text{cm}^3]$ として、直方体容器に作用する浮力を求めよ（6-4 参照）。
- ③ 浮力と、直方体容器+おもりに作用する重力がほぼ等しくなっていることを確認せよ。

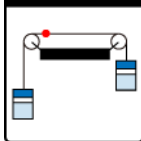
発 展

- ① おもりの数を 2 個にして、同じように実験・考察してみること。
- ② 直方体の沈んだ部分の体積は、考察①のように高さを四隅の深さの平均とした直方体の体積で良いことを示せ。

補 足

目盛を読むとき、水中の部分は光の屈折によって正確な読み取りが難しくなる。そのため、水面から出ている目盛を読み取ることで、深さを測定する方がよい。

実験 P



等速直線運動の観察

目 的 | 等速直線運動を観察し、その速さ（速度）を求める。

関連節 | 7-2 8-1

使用道具

- ☐ 1N おもり：2 個
- ☐ 可変おもり：1 個
- ☐ きり
- ☐ はかり
- ☐ 水差し
- ☐ ストップウォッチ

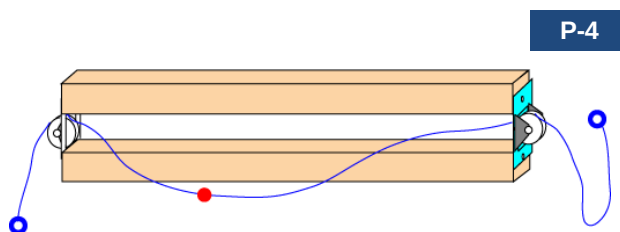
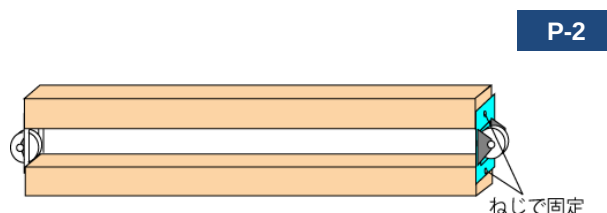
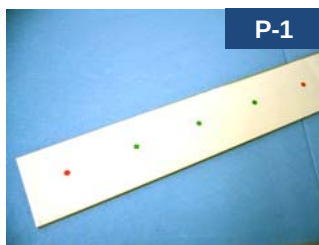
使用材料

- ☐ 正方形断面（20mm×20mm）の棒：長さ 90cm：2 本
- ☐ 木の板：90cm×5～8cm（戸車の穴の位置による）厚さ 6mm 程度：1 枚
- ☐ 木の板：10cm×10cm：厚さ 6mm 程度：2 枚
- ☐ たこ糸：3m：1 本
- ☐ 丸座金：M12：2 個
- ☐ 戸車：2 個
- ☐ 模造紙など（木の板と同じ大きさ）
- ☐ 戸車を固定できるネジ：4 本
- ☐ 釘またはネジ：10 本程度

製 作

速度測定装置の製作

- ① 木の板に紙を貼り付け、中央に印（P-1 赤印）をつける。そこから両側 40cm の位置にも同じ色の印をつける。印の間に 10cm 間隔で他の色の印をつける（P-1 緑印）。
- ② 棒と戸車を、P-2 のように組み立てる。ネジの位置は事前にキリで穴をあけておくと良い。
- ③ 紙を貼った板を、②に取り付ける。釘またはネジで固定する（P-3）。
- ④ 両端に転倒防止の板を取り付けておく。



- ⑤ たこ糸を P-4 のように通した後、両端に座金を取り付ける。また、片端から 1m の位置に目印をつける（結び目でも良いし、クリップでもよい。ただし動かないように工夫すること）。

実験方法

- ① 両側に 1N おもりを吊るす。
- 1) P-5 のように、高さを確保した台（机など）の上に、速度測定器具を設置する。
 - 2) 糸の両端に 1N おもりを吊るす。このとき目印が動かないことを確認する。
 - 3) 片側のおもりを上から軽くたたき、少し動いて静止することを確認する。



- ② 摩擦作用を打ち消す力を求める。
- 1) 可変おもりの質量を 102g にする。
 - 2) 右側のおもりを可変おもりに変える。
 - 3) 可変おもりに水差しで少しずつ水を加える。目印が動き出したところで、水を加えるのをやめる。
 - 4) 可変おもりの質量 m [g] を測定する。
 - 5) 可変おもりの質量を $m' = m - 1 \sim m - 2$ [g] に調整して再度吊るす。
- ③ 板の左端の印のところに糸上の目印を合わせる (P-6)。
- ④ 可変おもりを上から叩くと同時にストップウォッチを押す。
- ⑤ 糸の目印が中央の印を通ったところでストップウォッチの LAP, 右端の印を通ったところで STOP を押す。
- ⑥ 左右の印の間を移動した時間が LAP タイムの 2 倍であれば、等速直線運動になっていると判断できる。もし途中で止まってしまう場合には、可変おもりに水を少量加えて、再度行う。



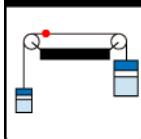
考察

- ① 右方向を正とするとき、この実験で観察された速度を [cm/s] の単位で求めよ。なお、最初の叩き方によって速度の大きさは変化する (8-1)。
- ② 実験方法①-3 において、少し動いてから静止する理由を考えよ。
- ③ 糸の目印を右にセットして、左側にある 1N おもりを上から叩いても、途中で止まったあと逆向きに動き始めることを確認せよ。また、その理由を考えよ。

補足

この実験は、何度か練習しないとうまく測定できない。可変おもりの質量を調整して滑車と糸の動摩擦力を打ち消すことが重要である(実験方法②-5で水量を減らすのは、 m が滑車と糸の間の静摩擦力に相当する力を生じる質量だからである: 5-6 参照)。

実験 Q



等加速度直線運動の観察

目的 | 等加速度直線運動の挙動を観察する。

関連節 | 7-5 8-2 9-2 9-3

使用道具

- ☐ 1N おもり：2 個
- ☐ 可変おもり：1 個
- ☐ はかり
- ☐ 水差し
- ☐ ストップウォッチ
- ☐ 実験 P で製作した速度測定装置

実験方法

- ① 実験 P の①～②を行い、糸と戸車の動摩擦力を打ち消す可変おもりの質量 m' [g] を求めておく。
- ② m' [g] の可変おもりにさらに $x = 4$ [g] を加えて、 $m' + 4$ [g] にする。
- ③ 速度測定装置の左側に 1N おもり、右側に可変おもりを吊るし、可変おもりを支えながら、糸上の目印を板上の左の赤い印に合わせる。
- ④ 手を離すと同時にストップウォッチを押し、右端の印を通ったところで STOP を押す。

考 察

- ① ストップウォッチで測定された時間を用いて、

$$S = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

により加速度を算出し、理論値と比較してみよ (8-2)。この実験の加速度の理論値は、 18.8 cm/s^2 である。

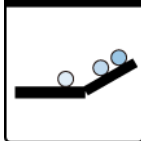
- ② その他の加速度は、理論的には実験方法②の x を以下の表のようにすることで観察できる。実際に移動時間を測定し、観察される加速度と比較せよ。

加速度[cm/s ²]	10	20	30	40	50	100
x [g]	2.1	4.3	6.4	8.7	11.0	23.2

発 展

- ① この実験で観察される運動が等加速度直線運動であることを示すには、左端の印から中央位置まで移動する時間 t_1 [sec] と左端の印から右端の印まで移動する時間 t_2 [sec] を測定し、 $t_1:t_2 = 1:\sqrt{2} \cong 1:1.4$ となっていることを確認すればよい。2人で測定するなどし、確認してみよ。また、なぜ等加速度直線運動では $t_1:t_2 = 1:\sqrt{2}$ となるのか説明せよ。
- ② 上記の表は、運動方程式より得られる。9-3 を参照して運動方程式から加速度 a が与えられたときの x を求める式を導出し、上記の表が得られることを確認せよ (単位に注意すること)。

実験 R



負の等加速度直線運動

目 的 | 負の等加速度直線運動の挙動を観察する。

関連節 | 8-2 8-3 9-4

使用道具

- ☐ 小さいハンマー
- ☐ のこぎり
- ☐ ストップウォッチ
- ☐ プラスドライバー
- ☐ 鉄球：直径 30mm：1 個（R-1）
- ☐ ステープラー（ホチキス）

使用材料

- ☐ L 型吊り金具：6 個（R-1）
- ☐ 木の棒：10mm×10mm×長さ 900mm：2 本
- ☐ 木の板 a：400mm×100mm×厚さ 12mm：2 枚
- ☐ 木の板 b：100mm×50mm×厚さ 12mm：1 枚
- ☐ 木片：30mm×15mm×厚さ 12mm：1 個
- ☐ ちょうつがい（幅 3cm 以内）：2 個（R-1）
- ☐ ボルト・ナット：M3：1 セット（R-1）
- ☐ ゴムバンド：幅 5mm，直径 100mm 程度：1 個（R-1）

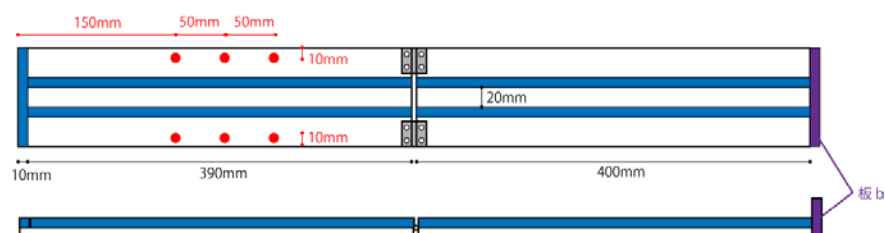


製 作

ガイド付斜面台の製作

- ① 実験 N の可変斜面台と同じ要領で，2 枚の木の板 a をちょうつがいでつなげる。
- ② 木の棒を加工し，R-2 のように配置して釘で固定する。板 b も釘で固定する。
- ③ R-2 の赤い印の位置にキリで下穴をあけ，L 型フックをねじ込む（R-3）。

R-2



発射パーツの製作

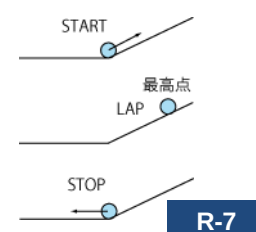
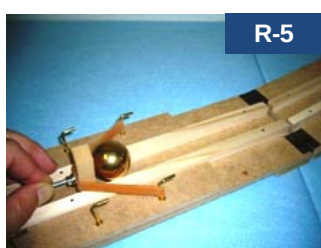
- ① ゴムバンドを折り，両端から 2mm 程度の位置をステープラーで留める。
- ② 木片の中央にボルトの通る穴をあける。また，



ゴムバンドの中央にも穴をあける．それらの穴にボルトを通し，ナットで留める．
ワッシャーがあるとゴムがねじれにくい（R-4）

実験方法

- ① 発射部分をガイド付斜面台の中央に最も近いL字フックに取り付ける．
- ② ガイド付き斜面台を水平な場所に置き，L字フックのない側の下に本などを置き，傾ける．
- ③ 発射部分を引き，鉄球をパーツの木片に接触させる（R-5）．
- ④ パーツを引っ張っている指を離す．
- ⑤ 鉄球が坂を上昇し，ある位置で止まってから下降する運動を確認する（R-6）．
- ⑥ 何度か動きを確認した後，ストップウォッチでR-7のように測定する．また，斜面の付け根から鉄球の到達する最高点までの距離を測定する．



考察

- ① 斜面上の運動のみを考える．斜面に平行な成分について，初速度の向きおよび加速度の向きを述べよ（8-3 参照）．
- ② R-7において，STOP タイムは LAP タイムの2倍となる．これを8-3節の $v-t$ グラフを使って説明せよ．
- ③ 8-3を参照して，R-7における START から STOP までの変位および移動距離を算出せよ．

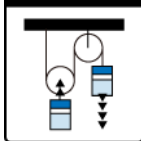
発展

考察②の $v-t$ グラフにおいて， v が正のときの鉄球の動きと， v が負のときの鉄球の動きについて，簡潔に述べよ．

補足

この実験は一人でも行えるが，かなり難しいので，複数で行うのが良い．例として，
1人目：発射部分を引く
2人目：START と STOP を押す（角度の変化点で音が生じることを利用するとよい）．
3人目：START と LAP を押す（2人目とは別のストップウォッチを用いる）

実験 S



異なる2つの加速度の観察（運動方程式）

目 的 | 滑車のはたらきによって、異なる加速度を同時に生じさせる。

関連節 | [4-6](#) [9-2](#) [9-3](#)

使用道具

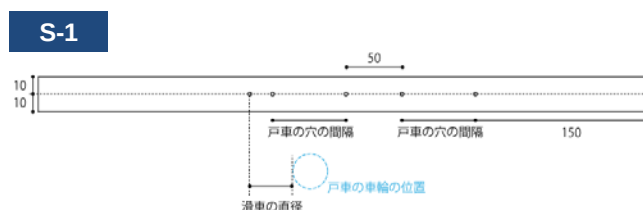
- ☐ 1N おもり：2 個
- ☐ 可変おもり：1 個
- ☐ きり
- ☐ はかり
- ☐ 水差し
- ☐ 長い定規（1m）またはメジャー（巻尺）

使用材料

- 正方形断面（20mm×20mm）の棒：長さ 50cm
- たこ糸：2m：1 本
- 丸座金：M12：2 個
- 洋灯吊：ねじ込み型：サイズ 16mm：1 本
- L 型フック：ねじ込み型：4 個（L-1）
- 戸車：2 個（L-1）
- 滑車：1 個（L-1）

製作

- ① 実験 L と同様の手順で作成すればよいが、今回は戸車を 2 個取り付けるので、穴をあける位置は S-1 のようにする。
- ② 左の 1 個の穴に洋灯吊りを、右の 4 個の穴に L 型フックをねじ込む。
- ③ 最終的に、S-2 のように糸を通す（撮影の都合上、糸は短くしている）。



実験方法

- ① S-2 のように、動滑車、座金両方に、1N おもりを吊るす。
座金側の 1N おもり（以下 a とする）は床面につくはずである。つかない場合は糸がどこかで絡まっていないかなど確認し、場合によっては糸を短くするか、両側の台の高さを高くする。
- ② おもり a を可変おもりに取り換える。実験 P と同様に、滑車と糸の動摩擦力を打ち消すのに必要な追加質量 m' [g] を求めておく。
- ③ 動滑車の質量を M [g] とし、おもり a の質量 m_a [g] を以下の式で算出される値になるように水量を調整する。

$$m_g = 60 + 0.59M + m'$$

- ④ 可変おもりをおもり a に取り換える.

- ⑤ 動滑車側の 1N おもり（以下 b とする）を上から押さえながら、床面に着くまで下げる。
- ⑥ その状態で、浮き上がった a のおもりの底面と床面の間の距離 H [cm]を測る。
- ⑦ b を押している手を離すと同時にストップウォッチを押し、 a のおもりが床に着くまでの時間 t [s]を測る。

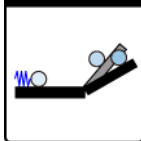
考 察

- ① 測定された H と t から、この実験で観察されたおもりの a に生じた加速度[m/s²]を算出せよ (8-2 参照)。
- ② ①で得られた値から、おもりの b に生じた加速度[m/s²]を算出せよ (9-3 参照)。
- ③ 実験方法③で用いた m_a の式を、運動方程式を用いて導け (9-12 参照)。

発 展

この実験では、おもりの a の加速度が 1.0 m/s^2 となるように設定している。おもりの b に上向き 1.0 m/s^2 を生じさせるための条件を運動方程式から導いた上で、実際に測定してみよ。

実験 T



力学的エネルギー保存の法則①

目 的 | 力学的エネルギーが保存されていることを観察する。

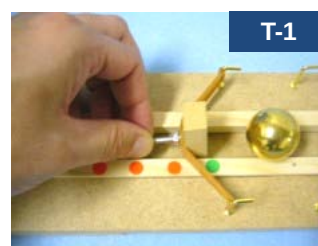
関連節 | [10-4](#) [10-5](#) [10-6](#)

使用道具

- ☐ 実験 R で製作したガイド付斜面台
- ☐ 実験 R で製作した発射パーツ
- ☐ 鉄球：直径 30mm
- ☐ 定規・分度器
- ☐ 水平器（水準器）（なくてもよい）

製 作

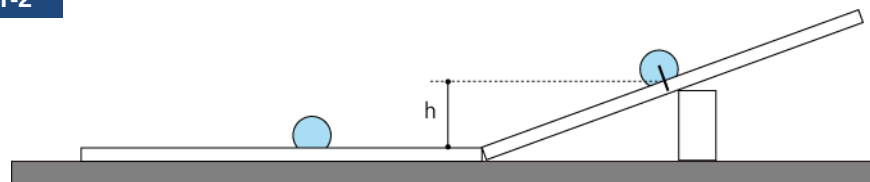
- ① 発射パーツを引き、指が抵抗を感じないギリギリの位置を確認する。その位置に印をつける（T-1 では緑の位置）
- ② 次に発射パーツを指で引き延ばせる最大の位置まで引き、その位置に印をつける（T-1 では左端の赤の位置）。
- ③ 2つの印の間を3等分するように、2つの印をつける。



実験方法

- ① ガイド付き斜面台を水平な場所に置き、L字フックのない側の下に本などを置き、分度器を利用して、水平面から 10 度程度傾ける。
- ② 発射パーツを緑から最も近い赤の位置まで引き、鉄球をパーツの木片に接触させる（R-5 参照）。
- ③ パーツを引っ張っている指を離す。
- ④ 鉄球が坂を上昇し、下降に転じる位置を指で押さえる。
- ⑤ T-2 のようにして、指の位置の高さを測定する。水平器があれば正確に測れる。それを h_1 とする。
- ⑥ 次に、ガイド付き斜面台を水平面から 20 度程度まで傾け、②～⑤を繰り返す。測定した高さを h_2 とする。
- ⑦ 最後に、ガイド付き斜面台を水平面から 30 度程度まで傾け、②～⑤を繰り返す。測定した高さを h_3 とする。

T-2



考 察

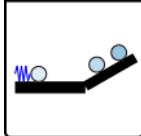
- ① $h_1 \cong h_2 \cong h_3$ となっていることを確認せよ。
- ② すべての測定において、ゴムバンドを引っ張ったことにより生じる弾性エネルギーが一定であることを考慮して、力学的エネルギー保存の法則から①が成立する

ことを説明せよ (10-4 および 10-5 を力学的エネルギー保存の法則 10-6 に適用すればよい)。

補 足

この実験では、角度を 30 度までにしている。これは、角度を大きくしすぎると、角度の変化点における衝撃によって力学的エネルギーが大きく損なわれるため、その影響を大きく受けない範囲に限定しているからである。もし、30 度以上の角度で実験したければ、角度の変化位置を円弧上に細工すればよい。

実験 U



力学的エネルギー保存の法則②

目 的 | 力学的エネルギーが保存されていることを観察する。

関連節 | 10-4 10-5 10-6

使用道具

- ☐ 実験 R で製作したガイド付斜面台（実験 T の印の付いた状態）
- ☐ 実験 R で製作した発射パーツ
- ☐ 鉄球：直径 30mm
- ☐ 定規
- ☐ 水平器（水準器）（なくてもよい）

実験方法

- ① ガイド付き斜面台を水平な場所に置き、L 字フックのない側の下に本などを置き、水平面から 20 度程度傾ける。
- ② 発射パーツを緑から最も近い赤の位置まで引き、鉄球をパーツの木片に接触させる（R-5 参照）。
- ③ パーツを引っ張っている指を離す。
- ④ 鉄球が坂を上昇し、下降に転じる位置を指で押さえる。
- ⑤ T-2 のようにして、指の位置の高さを測定する。水平器があれば正確に測れる。それを h_1 とする。
- ⑥ 次に、発射パーツを緑から 2 番目に近い赤の位置まで引き、②～⑤を繰り返す。測定した高さを h_2 とする。
- ⑦ 最後に、発射パーツを緑から最も遠い赤の位置まで引き、②～⑤を繰り返す。測定した高さを h_3 とする。

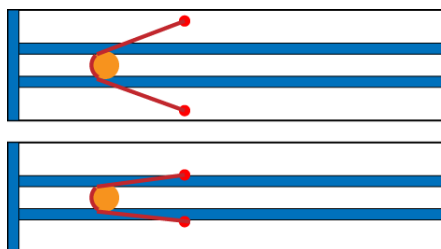
考 察

- ① $h_1:h_2:h_3$ を求めよ。
- ② 実験方法②、⑥、⑦におけるゴムの弾性エネルギー E_1 、 E_2 、 E_3 の比はどのようなになるか（10-5 参照）。
- ③ $h_1:h_2:h_3$ と $E_1:E_2:E_3$ を比較し、力学的エネルギー保存の法則を説明せよ（10-6 参照）。

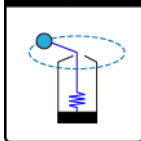
補 足

この実験では、U-1 に示すように、ゴムの設置位置によって弾性エネルギーの比が変化する。それを考慮して $E_1:E_2:E_3$ を算出する。

U-1



実験 V



等速円運動の実験

目 的 | 等速円運動中に発生している向心力を確認し、周期などとの関連を調べる。

関連節 | 11-1 11-2 11-3

この実験は、製作や手順を誤るとケガをしたり、物損を生じたりするおそれが高いものです。
 事前に実験内容・装置の内容を理解し、周囲の状況・装置の定着状況などを確認してください。
その上で、万全の安全対策を行った上で実施してください。

使用道具

- ☐ きりまたは千枚通し
- ☐ カッターナイフ
- ☐ 定規
- ☐ はかり
- ☐ ストップウォッチ

使用材料

- ☐ ペットボトル（円柱形状がよい）
- ☐ 透明な調味料容器
- ☐ たこ糸（40cm 程度）
- ☐ セロテープ
- ☐ 引きばね：1 本（実験 I または J の方法によって自然長 L_0 およびばね定数 k を事前に求めておく）
- ☐ 洋灯吊（ナット付）：1 個
- ☐ ヒートン（ねじ込み式）：1 個
- ☐ ゴムボール：1 個

製 作

- ① ペットボトルの飲み口の部分を切り取る。付け根の部分は 2～3cm 残して切る。また、調味料容器のふたに、同じ大きさの穴をつくる（V-1）。
- ② 調味料容器のふたの裏から、切り取ったペットボトルの飲み口をセロテープなどで固定する（V-2）。
- ③ ペットボトルのふたの中央に、たこ糸を通す穴をあける。
- ④ ゴムボールにヒートンをねじ込む。きりなどで下穴をあけておくとよい。ねじ込んだ後、ヒートンがしっかり固定されていることを確かめること。
- ⑤ ゴムボールのヒートンにたこ糸を結ぶ。そのたこ糸を、②のふた・③のペットボトルのふたに通す（各々の向きに注意：V-3）。その上でペットボトルのふたをしめる。



V-1

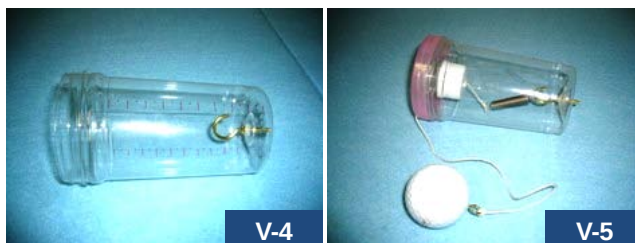


V-2

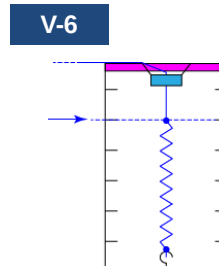


V-3

- ⑥ 調味料容器の本体の両サイドに、5mm 間隔で印をつける。基準はどこにとってもよいが、両サイドで同じ高さになるように印をつけること (V-4)。
- ⑦ 調味料容器本体の底面中央にきりで穴をあけ、洋灯吊を固定する (V-4)。
- ⑧ 引きばねの一端を⑦の洋灯吊に、他端を⑤の糸の先端に取り付け、調味料容器のふたを閉める (V-5)。

**実験方法**

- ① ゴムボールの質量 m をはかる。糸はついたままでかまわない。
- ② 調味料容器を片手で持ち、ゴルフボールが空中で回るように動かす。万が一ボールが外れた場合に備えて、周囲の状況や回転運動させる位置などには、細心の注意を払うこと。
- ③ ゴムボールの回転が安定したらストップウォッチで 10 回転するのに必要な時間 T_{10} を測定する。
- ④ そのままの状態で回し続け、回転の中心に近い位置の糸を指で押さえる。ゴムボールが顔や腕に激しくぶつかることのないように注意する。
- ⑤ ゴムボールがとまったところで、糸を押さえたまま伸ばして、調味料容器の中心からゴルフボールまでの長さ R を測定する。
- ⑥ 糸を押さえたまま、その状態でのばねの全長 L を読み取る。読み取る際には V-6 のように容器両サイドの目盛りをうまく利用すればよい。

**考 察**

- ① T_{10} からこの円運動の周期 T を算出せよ (11-1 参照)。
- ② L , L_0 , k から、ばねに生じている弾性力 F を求めよ (実験 IJ 参照)。
- ③ 糸と容器の摩擦を無視すれば、弾性力と円運動の向心力は等しくなっている。 F が向心力に等しいとした場合の角周波数 ω を、次式を利用して算出せよ。単位に注意すること (11-3 参照)。

$$F = mR\omega^2$$

- ④ ③の ω から周期 T' を算出し、 T と比較せよ (11-1 参照)。

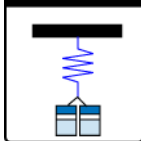
発 展

糸の長さを変化させて、同じ実験を何通りか実施してみよ。

補 足

- ① 目盛りを読み取るのが少し難しいので、可能ならば、ばねのわきに定規を固定できるとよい。
- ② ゴムボールとヒートンおよび糸をしっかり固定し、実験中に外れることのないように注意すること。

実験 W



ばね振り子の実験

目 的 | ばね振り子を製作し、その周期を確認する。

関連節 | 12-4

使用道具

- ☐ 実験 L で製作した吊るし棒
- ☐ ストップウォッチ
- ☐ 吊るし糸：5 本
- ☐ 1N おもり：5 個
- ☐ 引きばね：1 本

実験方法

- ① 実験 I または J の要領で、ばね定数 k を求める。
- ② 吊るし棒にばねを吊るす。
- ③ ばねの下側に、吊るし糸をつけて、1N おもりを 3 個吊るす (W-1)。
- ④ おもりを少し下に引っ張り、手を離して振動させる。
- ⑤ 10 回上下するのにかかる時間 T_{10} をストップウォッチで計測する。



W-1

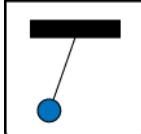
考 察

- ① T_{10} からこのばね振り子の周期を算出せよ。
- ② ばね振り子の周期の式 (12-4)
$$T = 2\pi\sqrt{m/k}.$$
から、この単振り子の周期の理論値を計算せよ (m は質量であることに注意. おもりが 3 個の場合 $m = 0.306\text{kg}$ である).
- ③ 実験方法④において、最初にばねを伸ばす量を変化させても、周期は変化しないことを確認せよ (12-4 参照).
- ④ 同様にして、おもりを 4 個・5 個にした場合の周期を計測せよ. また理論値と比較せよ.

補 足

引きばねの場合、ばねに加わる力が小さい範囲では、見かけ上フックの法則が成立しない (実験 I 参照). W-1 のようにおもりを吊り下げたとき、ばねが伸びた状態を基準にして、単振動を生じさせるのがよい.

実験 X



単振り子の実験

目 的 | 単振り子を製作し、その周期を確認する。

関連節 | 12-5

使用道具

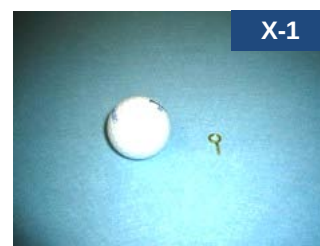
- ☐ 実験 L で製作した吊るし棒
- ☐ ストップウォッチ

使用材料

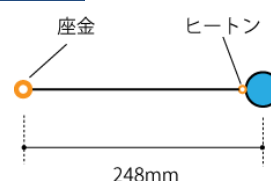
- ☐ ヒートン：1 個 (X-1)
- ☐ ワッシャー（座金）：1 個
- ☐ ゴルフボール：1 個 (X-1)
- ☐ たこ糸：30cm 程度

製 作

- ① ゴルフボールにヒートンをねじ込む。
- ② ヒートンにたこ糸を結び、たこ糸の他端にワッシャーを取り付ける。その際、ワッシャーとゴルフボールの中心が 248mm になるように調整する (X-2)。



X-2



実験方法

- ① 高さを確保して吊るし棒をセットし、フックにワッシャーをひっかける (X-3)。
- ② ゴルフボールを左に 5cm 程度傾け、手を離す。手を離すと同時にストップウォッチを押す。
- ③ ゴルフボールが 10 往復する時間 T_{10} [s] を測定する。

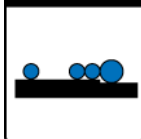


考 察

- ① T_{10} から、この単振り子の周期を求めよ。
- ② 単振り子の周期の式 (12-5)

$$T = 2\pi\sqrt{L/g}.$$
 から、この単振り子の周期を計算せよ。
- ③ 12-5 を参照して、周期 2 秒の単振り子をつくる場合、糸の長さをいくつにしたらいいか計算せよ。また、実際に製作して確認してみよ。

実験 Y



衝突の実験

目 的 | 衝突する物体に運動量保存の法則が成立すること確かめる..

関連節 | [13-1](#) [13-3](#)

使用道具

- 小さいハンマー

使用材料

- 鉄球：直径 20mm：6 個
 □ 鉄球：直径 30mm：1 個
 □ 三角柱形状の工作材（底面 30mm×30mm，長さ 10cm）：4 個
 □ 木の板：900mm×60mm×厚さ 9mm：2 枚
 □ 木の板：600mm×60mm×厚さ 5mm：2 枚
 □ 釘またはボンド



Y-1

Y-2

製 作

ガイドの製作

- ① 同じ形の 2 枚の板をともに、釘かボンドを用いて Y-2 のように組み上げる。
- ② 900mm の板を組み上げたものに、三角柱工作材を 4 ヶ所に取り付け、脚とする (Y-3)。600mm のものはそのままよい。



Y-3

実験方法

- ① 900mm ガイドの上に Y-4 のように 20mm 鉄球を並べる。5 個は中央付近にくっつけて並べ、1 個は端に近いところに置く。
- ② 端の 1 個を 5 個の鉄球に向けて勢いをつけて転がす。ハンマーで叩くと勢いをつけやすい。衝突した後、5 個の鉄球がどのように挙動するか観察する。
- ③ 次に、Y-5 のように 900mm ガイドの上に 600mm ガイドを置き、600mm ガイドの端に 30mm 鉄球を置く。30mm 鉄球に接触するように 5 個の 20mm 鉄球を 600mm ガイドの上に置く (Y-6)。
- ④ 600mm ガイドの他端に 20mm 鉄球をもう一つ置く (Y-5)。
- ⑤ ④で置いた 20mm 鉄球を、鉄球の並んでいる方向に勢いをつけて転がす。②と同程度の勢いがあればよい。30mm 鉄球がどのように運動するか観察する。



Y-4



Y-5



Y-6

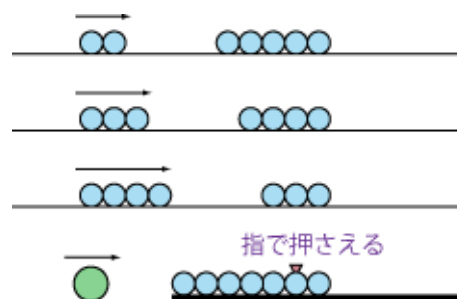
考 察

- ① 実験②と⑤で、鉄球の衝突後に動いた 20mm 鉄球と 30mm 鉄球では、どちらが大きな速さを生じたか。
- ② ①の理由を、運動量保存の法則から説明せよ (13-3 参照)。

発 展

Y-7 のように鉄球を配置して転がした場合、どのようなになるか予想せよ。その上で実際に行って確認してみよ。

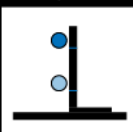
Y-7



補 足

鉄球の代わりにビー玉でも同じように実験できるが、ビー玉の質量にばらつきがあることと質量が小さいため、ビー玉の配列によって結果がばらばらになることに注意が必要である。

実験 Z



はねかえり係数（反発係数）の測定

目 的 | はねかえり係数を測定し、落下高さとの関係を調べる。

関連節 | 13-5

使用道具

- ☐ きり
- ☐ ドライバー
- ☐ 弾みやすいボール（スーパーボールなど）
- ☐ 巻尺または 1m のものさし
- ☐ 輪ゴム（ $\phi 20\text{mm}$ 程度の小さいものがよい）：2 本

使用材料

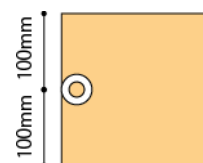
- ☐ 木材の丸棒：直径 25mm，長さ 1m 程度：1 本
- ☐ 木の板：200mm×200mm×厚さ 15mm：1 枚
- ☐ パイプソケット：内径 $\phi 25\text{mm}$ ：1 個（Z-1）



Z-1

製 作

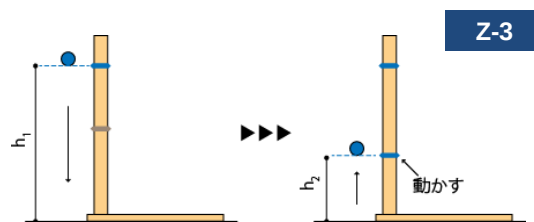
- ① 木の板の Z-2 に示す位置に、パイプソケットをねじ止めする。必要に応じてきりで下穴をあけると作業しやすい。
- ② パイプソケットに丸棒を差し込んで立てる。ぐらつくようなら、丸棒の根元にセロテープを巻いてから差し込むとよい。
- ③ 丸棒に輪ゴムを 2 本取り付ける。



Z-2

実験方法

- ① 製作した器具を、水平なかたい床の上に置く
- ② 上側にある輪ゴムを、丸棒の上端から 5cm 程度の高さに合わせる。
- ③ ボールをつかんで、上側の輪ゴムの高さにボールの下端を合わせ、静かに手を離してボールを自由落下させる（Z-3 左図）。
- ④ はねかえって上昇したボールの最高点の位置に、下側の輪ゴムを合わせる（Z-3 右図）。1 回で合わせるは無理なので、5 回程度行って輪ゴムの高さを決定する。
- ⑤ Z-3 における h_1 と h_2 を、巻尺などで測定する。
- ⑥ ② で設定した上側の輪ゴムの高さを、おおむね $2/3$ 程度の高さに下げて、同じことを行い、 h'_1 と h'_2 を、巻尺などで測定する。



Z-3

考 察

- ① 2回の測定によるはねかえり係数 e と e' を，次式により算出せよ．

$$e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}} \quad , \quad e' = \sqrt{\frac{h_2'}{h_1'}}$$

- ② e と e' の比較から，はねかえり係数についてどのようなことが言えるか．
 ③ はねかえり係数が考察①の式で得られることを説明せよ (13-5 参照)．

発 展

- ① 同じボールを使って，カーペットなどの上で実験を行い，はねかえり係数がどのように変化するか述べよ．
 ② 他の種類のボールについても実験を行って，はねかえり係数がどのように変化するか観察せよ．