

LABORATORY - IV

力学の実験

ガリレオは 19 才の時に**振り子の等時性**を発見しました。これは振り子の周期は振幅の大小に関わらず一定であるということです。

振り子のおもりを引張っている力は地球による**重力**です。バネに重りを吊るした場合の伸びや物体の自由落下運動はこの重力によって引き起こされる現象です。地上の物体には常に地球の中心に向かう力（重力）が働いています。重力の原因は地球が地上の物体に及ぼす万有引力です。**万有引力 ($F=Gm_1m_2R^{-2}$ という関係、 $G(=6.67E-11Nm^2kg^{-2})$: 万有引力定数 (宇宙で一定)、 m : 質量、 R : 物体間の距離)** はニュートンによって発見されました。

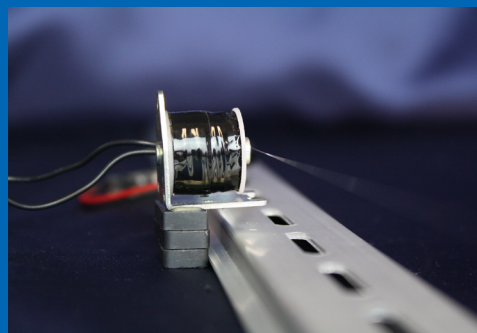
物体に加わる力を F 、質量を m_1 、加速度を a とすると、 $F=m_1a$ という関係があります (ニュートンの運動方程式)。加速度とは単位時間当たりの速度の変化率のことをいいます。重力によって生ずる加速度を重力加速度といい g で表します。地球による万有引力が働く場合、 $g = Gm_2R^{-2}$ という関係になります。 g 、 G と R (地表では地球の半径: $6.4E+6m$) がわかっているれば地球の質量 $m_2(=6.0E+24kg)$ だってわかってしまいます。重力加速度は地上では約 $9.8 m/s^2$ の値を示しますが、どこでも同じ値というわけではなく、千葉県では $9.798m/s^2$ という値が観測されています。南極や北極ではこの値より少し大きく ($9.82 m/s^2$)、赤道地方では小さいです ($9.78m/s^2$)。これは地球の回転 (自転) による遠心力が影響しているためです。また地球の中心からの距離によって変わるので、当然地上の高度によって違ってきます。高い場所ほど R が大きくなるので g の値は小さくなります。

SECTION

01 単振り子と重力加速度

02 バネ振り子と重力加速度

03 弦の共振 (固有振動)



SECTION

01

実験で体験する物理

単振り子と重力加速度

振り子の往復運動の周期は何で決まるのでしょうか？ おもりの重さ？ それともひもの長さでしょうか？
 かのガリレオ・ガリレイは、19歳（1583年）のときに「振り子の等時性」を発見しました。これは振り子の周期は振幅の大小やおもりの重さに関わらず一定であるということです。振り子のおもりを下方に引っ張っている力は、地球の重力によるものです。その源はあのニュートンが発見した万有引力です。
 ニュートンは物体に働く力をF、物体の質量をm、加速度をaとすると、 $F = ma$ という関係であることを説きました。（ニュートンの運動方程式）
 このSECTIONでは、振り子の周期を計測する実験によって、どこまで正確に重力加速度が求められるかを試してみましょう。

実験に使う部品を準備する

名称	個数	備考	写真
ベースプレート	× 1	(共通)	P004
フェライト磁石	× 2	(共通)	P004
クランプ	× 1	(共通)	P006
スタンド&スポンジ	× 1	(共通)	P006
L型金具	× 1	(共通)	P006
金属球(糸付き)	× 1	(共通)	P006
電卓	× 1	03~04	P006
プラスチックものさし	× 1	03~04	P005
ストップウォッチ	× 1	03~04	P006



NOTES

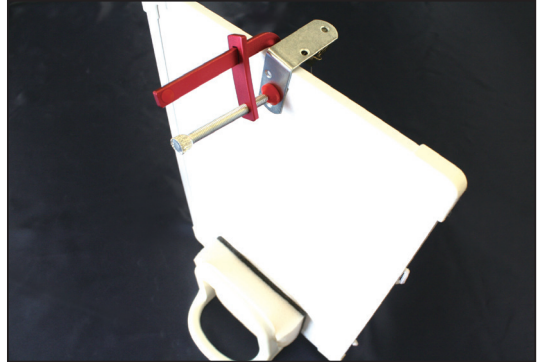
備考に(共通)と記述されているものは「SECTION 01 単振り子と重力加速度」に共通して使用する部品です。部品の詳細については、表に記載された各ページを参照してください。

実験の手順と課題

01 実験に必要な振り子の組み立てからはじめましょう。スタンドを使ってベースプレートを垂直に立て、スポンジをはさんで固定します。次にベースプレート上面にL型金具をクランプで固定します。

1-1

1-1

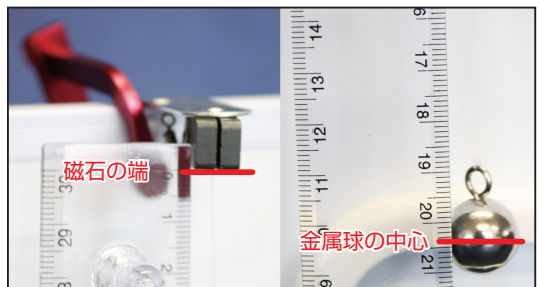
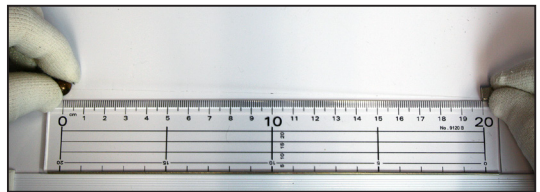


02 振り子部分をセッティングしましょう。まずはものさしを使って振り子の糸の長さが20cm程度になるように測り、フェライト磁石で挟みます。**2-1** 「振り子の糸の長さ」とは、金属球の中心からフェライト磁石の端までの長さのことです。

長さが計れたら、フェライト磁石をL型金具に吸着させます。**2-2** このとき余った糸はL型金具に開いている穴を通して、振り子の妨げとにならないようによけておきましょう。

また、金属球のおもみで糸が伸びる場合があるので、取り付けた後にもう一度糸の長さを確認しておきましょう。

2-1



2-2



NOTES

金属球についた糸はとれやすいので取り扱いに注意しましょう。



SUBJECT

実験シート「振り子の実験 1-1」に実測した糸の長さを記入してください。

03 振り子の振動周期を測定してみましょう。振動数 20 回当たりの時間をストップウォッチなどを使って測定します。ストップウォッチを押した後に往復運動を開始させ、20 往復後にストップを押すようにしましょう。同じ長さで 4 回測定し、平均時間をだします。 **3-1**



SUBJECT

実験シート「振り子の実験 1-1」に 20cm での測定結果と平均時間を記入してください。

3-1



04 **03** の測定結果をもとに 1 往復あたりの時間を求めましょう。**03** で出した平均時間を 20 で割ると求められます。この時間を周期といい T で表します。



SUBJECT

実験シート「振り子の実験 1-1」に計算結果を記入してください。

05 **03** ~ **04** の実験と計算を、糸の長さを変えて行いましょう。**02** を参考に糸の長さをそれぞれ 5cm, 10cm, 15cm に変更し、平均値、周期 T を求めてください。



SUBJECT

実験シート「振り子の実験 1-1」に測定結果と計算結果を記入してください。

5-1



06 振り子の長さ (l) と、周期 (T) の関係をグラフにしましょう。

**SUBJECT**

実験シート「振り子の実験 1-2」のグラフを完成させてください。

07 振り子の長さ (l) と周期の2乗 (T^2) の関係をグラフで表しましょう。

**SUBJECT**

実験シート「振り子の実験 1-1」に周期の2乗 (T^2) を書き込んでください。
また、実験シート「振り子の実験 1-3」のグラフを完成させてください。

08 07のグラフから、振り子の長さ (l) と、周期の2乗 (T^2) はどのような関係だといえるでしょうか。

**SUBJECT**

実験シート「振り子の実験 1-4」に考察を記入してください。

重力加速度を求めよう

加速度とは単位時間当たりの速度の変化率のことをいいます。

アクセルを踏んで車を発車させたとき、車に乗っている人は、後ろにひっぱられる感覚で加速度を感じます。地上の物体は常に下向きの重力が働いています。自由落下運動、振り子の運動、重りをつるしたばねの振動などはこの重力によって引き起こされる運動です。

物体に加わる力を F 、質量を m 、加速度を a とすると、 $F=ma$ の関係が成り立ちます。

重力によって生ずる加速度を重力加速度といい、 g で表します。重力加速度は地上ではおおよそ 9.8m/s^2 の値を示しますが、実はどこでも同じ重力加速度というわけではありません。南極や北極ではだいたい 9.82m/s^2 、赤道地方では 9.78m/s^2 程度と、地域により若干の差が発生します。日本でも北海道北東部で 9.806m/s^2 、沖縄で 9.791m/s^2 、千葉県では 9.798m/s^2 という値が観測されています。

9.80665m/s^2 の加速度を 1G と表します。スペースシャトル打ち上げ時の加速度は 3G 、2008年6月14日に発生した岩手・宮城内陸地震の瞬間的な揺れの強さを表す加速度はそれよりも強い 4G 超（ $4,022$ ガル、 1G は $980,665$ ガル）でした。これは国内観測史上最大のものです。

今回は PDL (パーソナル・デスク・ラボ) によって、どの程度の精度で重力加速度が求められるかを実験します。なるべく正確に測定する事を心掛けましょう。

09

07で実験シート「振り子の実験 1-1」の表がすべて埋まったので、それぞれの糸の長さでの重力加速度（ g ）を求めましょう。
まずは単振り子における周期を求める式を展開しましょう。9-1 この式の両辺を2乗して、 g について解いてください。



SUBJECT

実験シート「振り子の実験 1-5」に g についての展開式を記入してください。

9-1

周期を求める式

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

 π …円周率 T …周期 l …振り子の長さ g …重力加速度

10

09で展開した式を使って重力加速度を求めます。 $\pi = 3.1416$ と実験シート「振り子の実験 1-1」の測定値 l 、 T を代入して計算しましょう。また、重力加速度の平均値も求めましょう。



SUBJECT

実験シート「振り子の実験 1-6」に09の展開式を使用して、平均値を記入してください。

11

10で求めた重力加速度がおよそ 9.8m/s^2 にならない場合はその原因を考えてみましょう。また、この実験の自分なりの感想も書きましょう。



SUBJECT

実験シート「振り子の実験 1-7」に考察を記入してください。

実験・解答のサンプル

03 04 05 07 実験シート
振り子の実験 1-1

振り子の長さがそれぞれ 5, 10, 15, 20cm の場合の振動周期を求めました。実験結果はこのようになりました。①

①

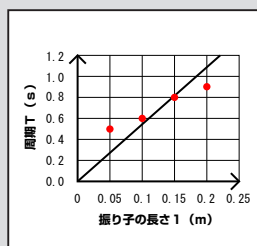
振り子の長さ	5cm	10cm	15cm	20cm
1 回目	10.0s	12.9s	15.7s	17.7s
2 回目	10.1s	13.0s	15.7s	17.9s
3 回目	10.3s	13.0s	15.7s	17.7s
4 回目	10.2s	12.9s	15.8s	17.7s
平均	10.15s(10s)	12.95s(13s)	15.725s(16s)	17.75s(18s)
周期	0.5075s(0.5s)	0.6475s(0.6s)	0.78625s(0.8s)	0.8875s(0.9s)
周期の二乗	0.25s ²	0.36s ²	0.64s ²	0.81s ²

06 実験シート
振り子の実験 1-2

振り子の長さ、と、周期の関係をグラフにしました。①の表を使用した場合このようになります。

②

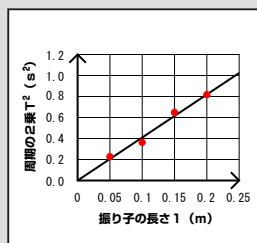
②



07 実験シート
振り子の実験 1-3

②のグラフを今度は周期を2乗して作成しました。③

③



08 実験シート 振り子の実験 1-4

07のグラフから振り子の長さ ℓ と、周期の2乗 T^2 の関係をみると、それぞれの点がほぼ一直線に右上がりになることから ℓ と T^2 は比例関係（正比例）だといえますね。

09 実験シート 振り子の実験 1-5

重力加速度を求めるために、単振り子における周期を求める式を g について解きました。展開するとこのようになります。④

④

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{\ell}{g} \quad \dots\dots \text{両辺を2乗}$$

$$T^2 g = 4\pi^2 \ell \quad \dots\dots g \text{を移項}$$

$$g = \frac{4\pi^2 \ell}{T^2} \quad \dots\dots T^2 \text{を移項}$$

10 実験シート 振り子の実験 1-6

09で展開した式を使い、重力加速度を求めました。①の数値を使用した場合それぞれの重力加速度、及び平均値はこのようになりました。⑤

⑤

振り子の長さ	0.05cm	0.10cm	0.15cm	0.20cm
重力加速度	7.90m/s ²	10.97m/s ²	9.25m/s ²	9.75m/s ²
平均	9.47m/s ²			

11 実験シート 振り子の実験 1-7

求めた重力加速度の数値が9.8m/s²に近くない場合の原因を考察しました。計算ミスがない場合は振り子の長さや往復周期の計測ミスが考えられます。