

重力加速度測定方法の研究

物 理 実 験 室 使 用

3 年 組 SS 番

班 名 前

重力加速度測定実験・結果検討について

1. 目的

- ・生徒が重力加速度の測定実験を行う中で、積極的・能動的に討議し検討していく事を旨とする。
- ・正確な数値を求めることよりも、方法の検討、誤差の原因等を検討することを主眼とする。
- ・重力が働く場での運動（落下運動、繰り返し行われる運動等）には重力加速度が関係していることを理解し、それぞれの実験の原理を把握してから実験を行う。

2. 日時：9月21日～10月2日（授業4時間）

①概要説明（9月21日木曜日）

班の構成（授業の班で行う）

班内でどの実験を行うか選ぶ（抽選）。

②実験1回目（9月22日金曜日）

データ処理、誤差等の検討、データはPCに入力して自動計算

③実験2回目（9月25日月曜日）

データ処理、誤差等の検討、データはPCに入力して自動計算

④上記実験のまとめ（10月2日月曜日）

実験方法の検討

それぞれの方法の比較検討・長所短所等

より正確な数値が出ればよいということではないことに配慮する。

3. 実験項目の組み合わせ（番号は実験番号）

組み合わせ番号	決定した班	実験1回目		実験2回目	
		前半	後半	前半	後半
I		1	2	4	5
II		2	1	5	4
III		3	8	6	7
IV		4	5	1	2
V		5	4	2	1
VI		6	7	3	8
VII		7	6	8	3
VIII		8	3	7	6

4. 班名簿

（名前は入れてません）

班	氏名			
A				
B				
C				
D				
E				
F				
G				
H				

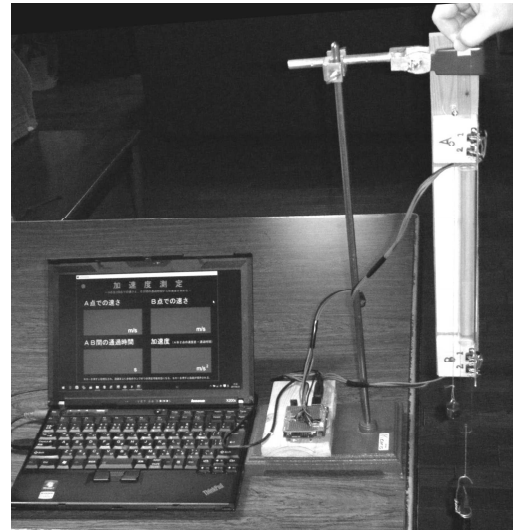
4. 重力加速度測定実験項目

- ①鉛直落下物体の速度と時間をArduinoに接続した4つのフォトセンサを使って測定し、リアルタイムに重力加速度の値を表示する。
- ②鉛直落下物体の速度をBeeSpiで測定する。
- ③鉛直落下物体の落下位置を記録タイマーを使って測定する。
- ④単振り子の落下運動の速度をBeeSpiで測定する。
- ⑤斜面を転がる球体の速度をBeeSpiで測定する。
- ⑥単振り子の周期をストップウォッチで測定する。
- ⑦バネ振り子の周期をストップウォッチで測定する。
- ⑧鉛直落下物体の運動を高速度カメラで撮影し、画像から位置を測定する。

1. 鉛直落下物体の速度と時間をArduinoに接続した4つのフォトセンサを使って測定し、リアルタイムに重力加速度の値を表示する。

使用するもの

- ・ PC
- ・ Arduino（マイコン）
- ・ スタンド
- ・ 測定装置



① 写真のように装置を組立てる。

- ・ Arduinoに g 測定装置のシールド基板をピンの位置に注意しながら接続する。
- ・ PCにArduinoをUSB接続する。
- ・ スタンドに g 測定装置を固定する。このとき摩擦が発生しないように、板が鉛直下向きになるように注意する。

② Arduinoのポートを下の写真を見て確認する。



③ PCからArduinoにプログラムを書き込む。

「ファイル」→「マイコンボードに書き込む」

④ g_Processing（表示用プログラム）を起動する。

プログラムの上部に書いてある「int portNo = ●」の番号（●の数値）を上記で設定したArduinoのポートの番号に合わせる。上右の写真の場合は上からCOM1,COM2,COM4(Arduino Uno)となっており、3番目なので●に入る数値は2となる（0が1番目、1が2番目）。

⑤ 実行ボタンを押すと「加速度測定」の画面が出る。

⑥ キーボードのRキーを押すと画面左上に赤丸、及び測定装置の赤色LEDが発光する。

⑦ 付属のプラスチック板を落下させると測定値がPCの画面に表示される。

実験結果結果

	1回目	2回目	3回目
重力加速度 [m/s ²]			
誤差 [%]			

誤差は電卓で計算する



$$\text{誤差} = \frac{\text{測定値} - 9.80}{9.80} \times 100$$

実験方法及び結果の検討・考察

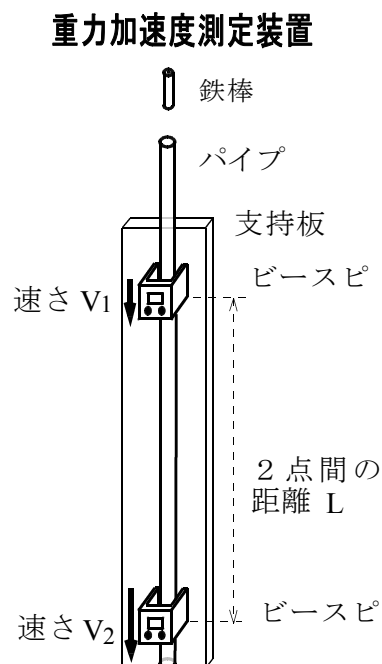
参照：設定の詳細は「Arduinoの最初の一步.pdf」の「3.3 ArduinoIDEの設定をする」に書いてある。

2. 鉛直落下物体の速度をBeeSpiで測定する

用意するもの

- ・ スタンド
- ・ 指示板
- ・ ビースピ
- ・ おもり

- ① 80cmほどの板に落下物体が逸れないように透明アクリルパイプを太い輪ゴムで固定する。
- ② パイプの上下にBeeSpiを太い輪ゴムで固定する。
- ③ 板をスタンドに固定する。板が鉛直下向きになっていることを確認する
- ④ おもり（長さ4cmほど鉄筋）をパイプの上部から落として速度を測定する。
- ⑤ BeeSpi間の距離を測定して重力加速度を計算する（Excelに入力して自動計算する）。



【計算式】

$$V_2^2 - V_1^2 = 2gL \quad \text{従って} \quad g = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2L}$$

実験結果

	1回目	2回目	3回目
距離 L [m]			
V_1 [m/s]			
V_2 [m/s]			
重力加速度 [m/s ²]			
誤差 [%]			

実験方法及び結果の検討・考察

【R二乗について】（関連ページは4、8、9）

R二乗は統計分析を行ったときに出てくる数値です。決定係数と言い、近似曲線がどの程度うまく当てはまっているか（データによくあう線かどうか）を示す指標です。

R二乗は0～1の値を取り、1が最も精度が高く、目安として0.8以上が「精度がよい」となります。

3. 鉛直落下物体の落下位置を記録タイマーを使って測定する。

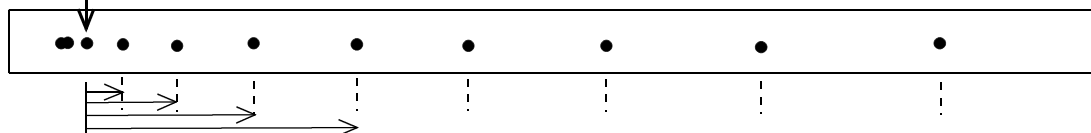
用意するもの

- ・記録タイマー
- ・紙テープ
- ・スケール

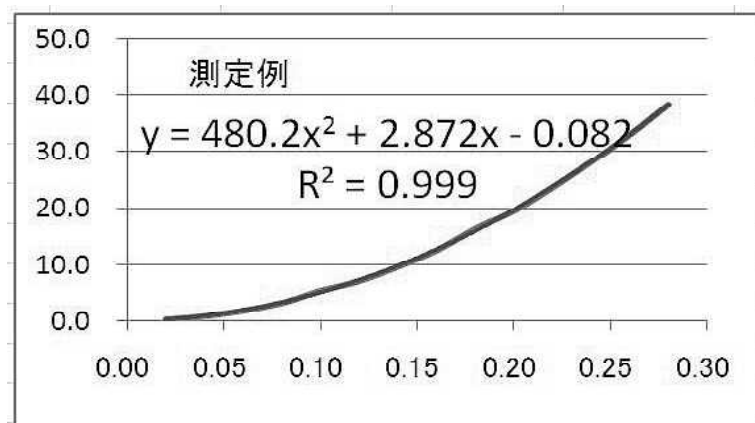
- ① スタンドに固定した記録タイマーの間に紙テープを通す。このとき記録タイマーが鉛直下向きになっているようにする。
- ② 電源を入れて紙テープを落下させる。
- ③ 位置を測定してグラフを作る。時間間隔は0.02秒である。



明瞭に出ている点を基点にして、距離を測る。



位置-時間グラフは放物線になる。



自由落下運動の落下距離 y と時間 t との関係は、重力加速度を g とすると

$$y = \frac{1}{2} g t^2 \quad \text{となる。}$$

すなわち、放物線になる。

x^2 の係数 $= \frac{g}{2}$ から g を求める。

Excelグラフ（縦軸は位置[cm]、横軸は時間[s]）

実験結果

単位；cm

点 順	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1回目														
2回目														
3回目														

	1回目	2回目	3回目
重力加速度 [m/s ²]			
誤 差 [%]			
R二乗の値			

R二乗については3頁参照

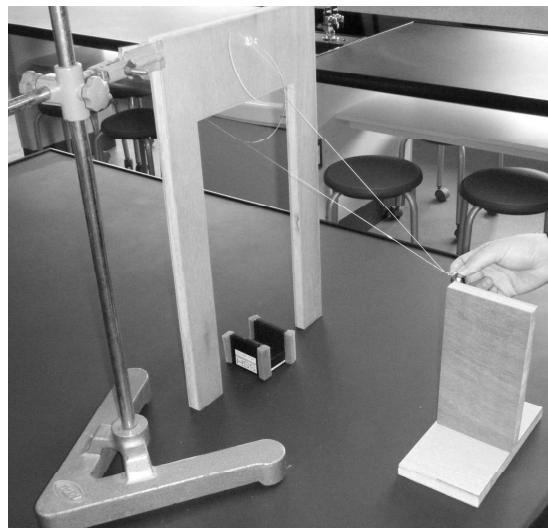
実験方法及び結果の検討・考察

4. 単振り子の落下運動をBeeSpiで測定する

用意するもの

- ・ ビースピ
- ・ おもり付きコの字形板
- ・ 位置測定用板

装置は振り子の振動面が左右にぶれないように、鉄球に通したテグスをVの字型に木枠に留めてある。



- ① 一定の高さから放した球の最下点での速度をBeeSpiで測定する。
- ② 球を放したテーブルからの高さで最下点の高さを測定し、重力加速度を計算する。(図参照)

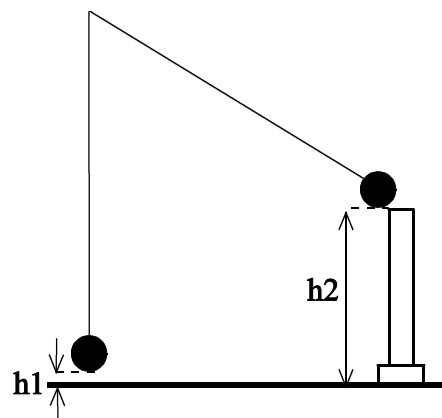
この実験は、自由落下だけでなく、円の一部（弧）の形で落下しても重力の位置エネルギーが運動エネルギーに変換されることを示している。

【計算式】

落下距離 $h = h_2 - h_1$

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\text{従って、} g = \frac{v^2}{2h}$$



実験結果

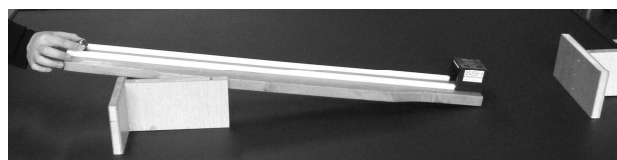
	1回目	2回目	3回目
高さh1 [m]			
高さh2 [m]			
速さV [m/s]			
重力加速度[m/s ²]			
誤差 [%]			

実験方法及び結果の検討・考察

5. 斜面を転がる球体の速度をBeeSpiで測定する

用意するもの

- ・鉄球
- ・レール付き板
- ・ビースピ



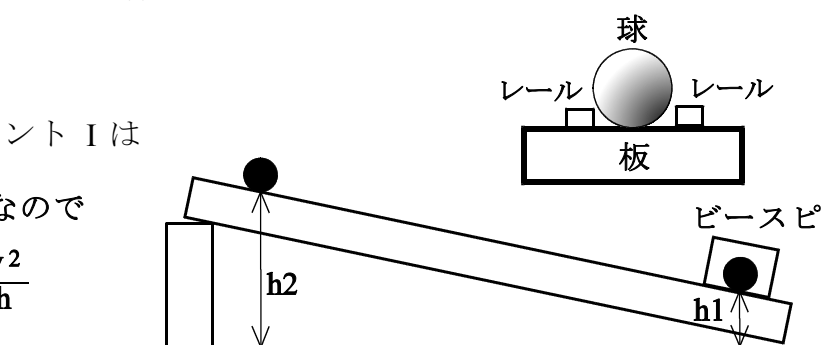
- ①レールの下端にBeeSpiを置く。
- ②ある高さから球を落下させて、BeeSpiで速度を測定する。
- ③テーブルから落下点の高さ及びBeeSpiの中心位置の高さを測定する。
- ④球体の力学的エネルギー＝並進運動エネルギー＋回転運動エネルギーになる。均質な球体の慣性モーメントを考慮して、
重力による位置エネルギー＝ 球体の力学的エネルギーを式で表すと

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

一方、均質な球体の慣性モーメント I は

$$I = \frac{2}{5}mr^2 \quad \text{角速度 } \omega = \frac{v}{r} \quad \text{なので}$$

$$mgh = \frac{7}{10}mv^2 \quad \text{よって } g = \frac{7}{10} \frac{v^2}{h}$$



実験結果

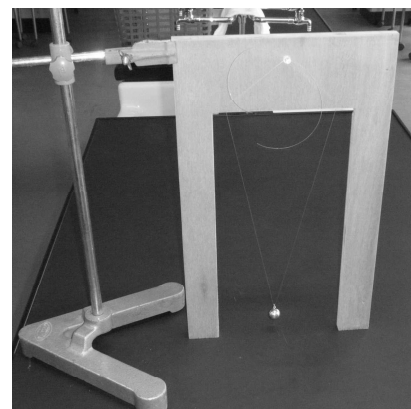
	1回目	2回目	3回目
高さh1 [m]			
高さh2 [m]			
速さV [m/s]			
重力加速度[m/s ²]			
誤差 [%]			

実験方法及び結果の検討・考察

6. 単振り子の周期をストップウォッチで測定する

用意するもの

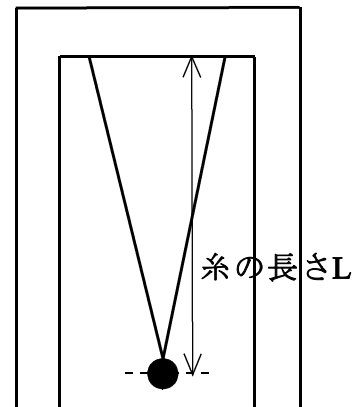
- ・ストップウォッチ
- ・おもり付きコの字形板
- ・定規（スケール）



- ① 小さな振幅で鉄球を単振動させる。
- ② 鉄球が最下点に来た時を基準にして、往復10回の周期を測定する。最初、最下点に来たときがスタート、次が1回目、2回目となる。間違えて最初を1回目にする事があるので注意。
- ③ 右図を参考にして、糸の長さLを測定する。

【計算式】（振幅が小さいとき）

周期 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ これより $g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$



実験結果

	1回目	2回目	3回目
糸の長さL [m]			
10回の周期 [s]			
重力加速度 [m/s ²]			
誤差 [%]			

実験方法及び結果の検討・考察

7. バネ振り子の周期をストップウォッチで測定する

用意するもの バネ、スタンド、45cm定規、おもり（25g 4個）

実験手順

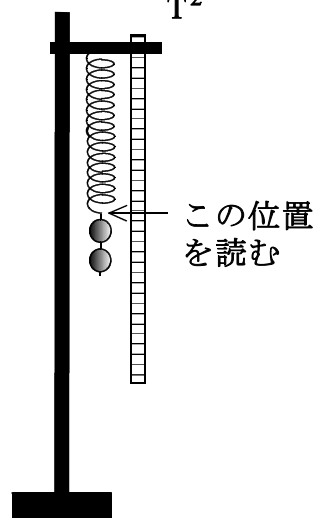
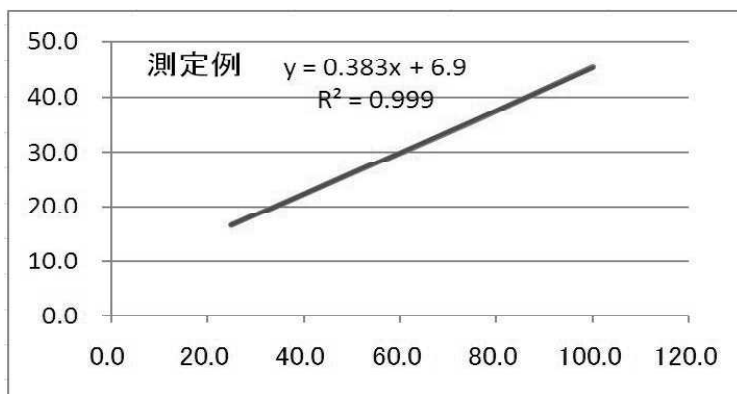
- ①バネをスタンドに固定し、横に定規を鉛直下向きに固定する。
- ②バネの下端の位置、バネにおもりを1個付けた時の位置、更に2個、3個、4個付けたときの位置をそれぞれ記録する。
- ③これより、おもりの重さー伸びグラフを作り、グラフの傾きからを求める。一般に、グラフの原点を通らないことに注意する（バネの自重や加工の仕方に関係する）（このグラフの場合、傾き＝バネ定数ではない）
- ④バネにおもり4個を付けて10回振動する時間をストップウォッチで測定する。通過点を最初に来た時を1回目とカウントする人がいるので注意する（正しくは次回が1回目）。

【計算式】

周期をT、バネ定数をk、おもりの質量をm、そのときのバネの伸びをX、とすると、

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad \text{一方、} mg = kX \quad \text{これらより、} T = 2\pi\sqrt{\frac{X}{g}} \quad \text{従って} \quad g = \frac{4\pi^2 X}{T^2}$$

0.45φ10cm 120巻きのバネを使用



Excelのグラフ 縦軸は定規の位置[cm] 横軸はおもりの重さ[g]

実験結果

使用したおもり1個の重さ

g

（R二乗については3頁参照）

		1回目	2回目	3回目
定規の読取位置	おもり1個 [cm]			
	おもり2個 [cm]			
	おもり3個 [cm]			
	おもり4個 [cm]			
おもり4個の時の10回の周期 [s]				
グラフより求めた傾き				
重力加速度 [m/s ²]				
R二乗の値				
誤差 [%]				

実験方法及び結果の検討・考察

8. 鉛直落下物体の運動を高速度カメラで撮影し、画像から位置を測定する。

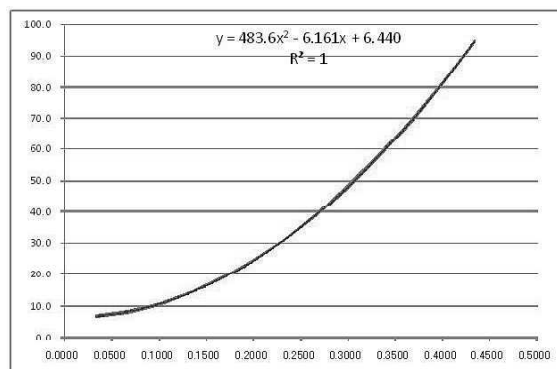
用意するもの

- ・ カシオハイスピードカメラ EX-SC200
- ・ 鉄球（落下物体）
- ・ スケール
- ・ 三脚

- ① 1.5メートルほどのスケールを壁に貼り付ける。
- ② カメラを縦位置にして三脚に固定する。（カメラ内で画像の記録が横方向に上から下へ行われるため、カメラを横に構えると誤差が大きくなる。）
- ③ カメラの設定をシャッタースピード優先、シャッタースピードは「1000分の1秒」、「30fps」にし、最大撮影枚数を30枚に設定する。最初、シャッターボタンを反押ししてピントを合わせる。その後シャッターボタンを押す（1秒間しか撮影されないので注意する。1秒間押し続ける。）
- ④ シャッターを押した直後に、1.5メートルほどの高さから鉄球を落下させる。
- ⑤ 画像をPCで見て、位置を読み取る（画像の拡大表示を使うと見やすい）。
- ⑥ Excelにデータを入力して落下距離－時間グラフを作成する。
グラフは自動的に作成され、相似曲線、数式、R二乗が表示される。

x^2 の係数 = $\frac{g}{2}$ の関係がある。

- ⑦ これらより、重力加速度の値を求める。



実験結果

測定順	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
位置 [cm]													

重力加速度 [m/s ²]	
誤 差 [%]	
R二乗の値	

R二乗については3頁参照

実験方法及び結果の検討・考察

【レポート】

全部で2時間の実験、合計4種類の重力加速度の測定実験を行った。それらの特徴、測定値の比較検討を行う。

班内での討議事項

- ①それぞれの実験の誤差の原因、このようにしたらより正確な測定値がえられるだろうと考えられる点、それぞれの実験方法の違い・特徴の比較検討を行う。
- ②重力が働いて様々な運動が起きる。一見全く関係のないようなこれらの運動の中に、重力すなわち重力加速度が関係している。その運動を上手く捉えて、重力加速度を測定する方法について実験を行ってきた。このことを考えて、感想・考察を行う。
- ③その他
