

ピケットフェンスの自由落下

物体に地球の重量だけが働いて運動している時、私たちはその物体が自由落下しているという。他に力が何も働いていない。特に空気抵抗が働くかないか、あるいはあまりにも小さく無視できる状態をいう。自由落下する物体が地球の表面付近にある時、物体に働く重力はほぼ一定になる。その結果、自由落下中の物体は下向きに等加速度運動する。この加速度は、一般的に文字「 g 」で表される。

物理学の実験では、重力加速度を様々な方法で測定されている。この実験では、あなたは非常に正確なタイマーとフォトゲートを使うことができる。フォトゲートは、ゲートの一方から赤外線を射出し、もう一方でそれを観測する。そして、フォトゲートは、赤外線が遮断されたことを検知する。等間隔に黒い帯が付いた透明なプラスチック板（ピケットフェンス）を落として実験する。ピケットフェンスがフォトゲートを通過する時、黒い帯で赤外線が遮断され、また次に遮断されるまでの時間を検出器が計測する。この計測はフォトゲートを8つの黒い帯が通過するまで継続される。これらの測定結果から、ソフトウェアがこの運動の速度と加速度を計算し、グラフを作成する。

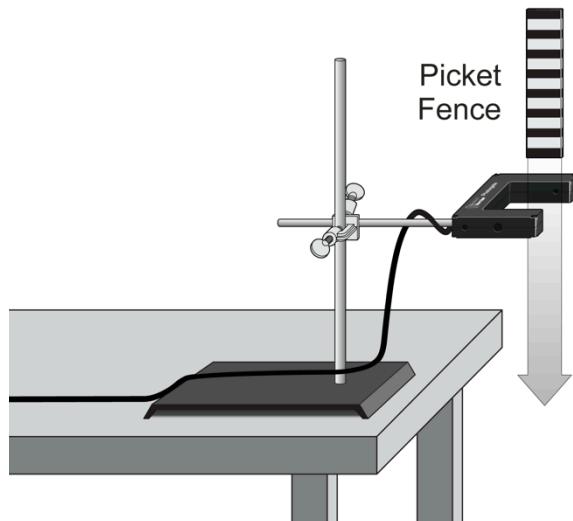


図1

目的

- ピケットフェンスとフォトゲートを使って、自由落下する物体の加速度を測定し、重力加速度を0.5%以内の精度で決定する。

準備

LabQuest
LabQuestソフトウェア
バーニア社製フォトゲート

ピケットフェンス
鉄製スタンドと万能クランプ

事前問題

- ピケットフェンスを調べる。あなたは重力加速度（ g ）を測定するために、ピケットフェンスをフォトゲートの間で落下させる。ピケットフェンスの1つの黒い帯の右端から、次の黒い帯の右端までの測定された距離は5.0cmである。フォト

ゲートの間を落下するピケットフェンスの平均速度を決定するために、他にどのような情報が必要か？

- もしも物体が等加速度運動していたら、時間に対する速度のグラフはどのような形になるか？
- 物体の初速度、つまり最初の速度は物体に働く加速度に何か影響するか？例えば、あなたが最初に物体を下向きに投げ出す場合と物体を上向きに投げ出す場合で、物体に働く加速度に違いはあるか？

手順

- 鉄製スタンドにフォトゲートをしっかりと固定する。この時、図1に示すようにフォトゲートの支持棒が水平になるようになる。ピケットフェンスの全ての部分が、落下してフォトゲートを通過できる高さでなければならぬ。ピケットフェンスが破損しないように、落下場所にカーペットやタオルなどを敷いて、落下の衝撃を緩和する。
- フォトゲートをLabQuestのデジタルチャンネル1 (DIG1) に接続する。そして、ファイル (File) メニューから新規 (New) を選択する。
- メーター画面の読みを確認する。フォトゲートの間に手を入れて、赤外線を遮断すると、フォトゲートの状態が「Blocked (遮断)」と表示される。そして、手をどけると、フォトゲートの状態が「Unblocked (開放)」に変化する。
- フォトゲートのデータを記録するために、 をクリックしてデータの記録を開始する。注：実際のデータの記録は、フォトゲートが最初に遮断 (Blocked) されてから開始される。
- ピケットフェンスの上端を二つの指で支え、フォトゲートの真上から、自由な状態で吊り下げ、フォトゲートに触れないでいる状態にする。ピケットフェンスを離して落下させるが、ピケットフェンスがフォトゲートに達する前に完全にあなたの指から離れるようにする。ピケットフェンスが落下中、鉛直に保たれ、フォトゲートに触れないように注意する。
- ピケットフェンスがフォトゲートを通過すると、時間に対する位置と時間に対する速度のグラフがLabQuestの画面に表示される。後で利用するために、ノートにグラフの概略を複写する。
- 時間に対する速度のグラフを調べる。時間に対する速度のグラフの傾きは加速度の目安となる。もしも速度のグラフがほぼ一定の傾きで直線ならば、加速度は一定である。もしも、あなたのピケットフェンスの加速度が一定なら、あなたのデータを直線回帰せよ。
 - Analyze (分析) メニューから、Curve Fit (曲線回帰) を選択し、変数メニューの Velocityにチェックを入れる。
 - 表示される回帰方程式 (Fit Equation ) のプルダウンメニューから線形 (Linear) を選択する。
 - 表示される回帰結果から、線形回帰の傾き (*m*の値) をデータ表に記入せよ。
 - OKを選択する。
- 傾きの測定の信頼性を確立するために、手順4～7の作業を5回以上繰り返し行う。ピケットフェンスがフォトゲートに当たったり、通過しなかつたデータは利用しない。結果の傾きをデータ表に記入する。各実験 (試行) の結果を保存するためには、次の試行を始める前に、フォルダ () ボタンをクリックして、Run番号を変更する。

データ表

| | | | | | | | | | |
|---|-------------------------|----|--------------------|------------|---|----|---|--|--|
| ① | 試行 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | |
| | 傾き (m/s ²) | | | | | | | | |
| ② | | 最小 | 最大 | (最大-最小) /2 | | 平均 | | | |
| | 加速度 (m/s ²) | | | | | | | | |
| ③ | 重力加速度, <i>g</i> | | ± m/s ² | | | | | | |
| | 精度 | | % | | | | | | |

考察

- データ表に記入した6回の試行結果から、ピケットフェンスの加速度の最小値と最大値、平均値を決定する。その結果をデータ表に書き込む。
- 自由落下の時間に対する位置のグラフの特徴を文章で記述せよ。
- 時間に対する速度のグラフの特徴を文章で記述せよ。また、時間に対する位置のグラフとどう関係しているか？
- あなたが算出した加速度の平均値は、あなたの全ての測定値から導出した一つの最適値である。最小値と最大値は、それぞれの試行に対する測定値がどの程度バラつくかの目安を与え、それはあなたの測定の精度を示す。精度を表現する一つの方法として、最小値と最大値の差の半分とすることがあります。測定の不確実性の結果として使う。あなたの実験結果を平均値±不確実性の形式で表現せよ。不確実性の値は、四捨五入して一桁にし、平均値も同じ位に四捨五入する。

例えば、あなたの最小値と平均値、最大値が、それぞれ9.12と9.93、10.84 m/s²ならば、 $g = 9.9 \pm 0.9$ m/s²と表現する。あなたの結果をデータ表に記入する。

- 不確実性を加速度に対する割合を%単位で表現する。これはあなたの測定の精度となる。データ表の値を代入する。前項で利用した例で用いた値を使い、精度は次式で与えられる。

$$\frac{0.9}{9.9} \times 100\% = 9\%$$

- 重力加速度 (g) に対するあなたの測定結果を一般的な参考値（教科書などに記載された値）と比較せよ。一般的な参考値は、あなたの測定値の範囲に入っているか？もしそうなら、あなたの実験は参考値と一致することになる。
- あなたの速度のグラフを調べよ。時間に対する加速度のグラフはどのような形になるか？あなたの予測したグラフ概略（形状）をノートに描け。LabQuestのグラフ画面で、縦軸（Y軸）を加速度に変更する。表示される加速度のグラフとあなたの予測結果の違いを記述せよ。グラフ上の各観測点を調べるには、グラフの観測点をタップする。観測点をタップすると、加速度と時間の値がグラフの右側に表示される。垂直軸の原点がゼロでないことに注意する。変動の大きさは、グラフの見た目と同じ程度か？

- ツール (tool) メニューの統計 (Statistics) と加速度のグラフを使い、平均の加速度を見付ける。この値は、同じ落下に対する速度のグラフの傾きから決定した加速度の値と比較して何か違いがあるか？

発展

- 重力加速度 (g) を決定するために、時間に対する位置のグラフと二次関数の回帰を使う。
- フォトゲートに対するピケットフェンスの落下位置をより高くすると、あなたの測定するパラメータに何か違いが生じるか？実際に実験で確かめよ。
- フォトゲートの上で単に落とした実験に対して、ピケットフェンスを下向きに投げ落とすと、あなたの測定結果に何か変化が生じるか？ピケットフェンスを投げ上げた場合はどうか？これらの実験を実際にを行い、結果を比較せよ。
- 空気抵抗を加えると結果はどうかわるか？ピットフェンスの上端に透明なテープの輪を付ける。そのピケットフェンスをフォトゲートの間を通して落とし、元の自由落下の結果と比較せよ。
- 重力加速度 (g) が地球上の位置によりどのように変化するか調べよ。例えば、重力加速度に対して高度はどのように影響するか？場所により重力加速度が変化するその他の要因として何があるか？例えば、ノルウェーの北部サバールバル諸島のような高緯度では、重力加速度の値は異なるか？
- 他の実験グループの測定結果を集めて、測定結果の頻度分布のヒストグラムを作成せよ。最も一般的な値はあったか？それぞれの測定結果に、一貫性があったといえるか？

出典

Kenneth Appel, John Gaspineau, Clarence Bakken and David Vernier, " Physics with Vernier", MEASUREMENT.ANALYZE.LEARN™., 2009.

評価版のダウンロード先 : http://www.vernier.com/files/sample_labs/PWV-05-COMP-picket_fence_free_fall.pdf

注意

この資料には次の事項が含まれていない：

- 安全に関する情報
- 指導者のための基本情報
- 学習指導要領（教育カリキュラム）との関係に関する情報
- 実験を成功させるための留意点