

# 物理系を定義できるシミュレータ SimSym の提案

情報理工学院 数理・計算科学系 増原研究室  
18B04657 木内 康介  
2023年2月13日

増原研究室の木内が、「物理系を定義できるシミュレータ SimSym の提案」というタイトルで発表させていただきます。よろしくお願いします。

## はじめに: 物理実験とシミュレータ

実験室での作業は理論的な概念を検証する最も重要な方法  
[Holubova, 19]

しかし、物理学の学習者全員が実験を経験しているわけではない  
-> シミュレータの活用 [Ajredini+, 14] [林+, 15]

はじめに、物理実験とシミュレータについて紹介します。

物理学を学ぶ上で、実験を行うことは重要です。

物理学は現実世界を解析する学問であり、物理学の理論は実験の結果に一致していることが要求されます。

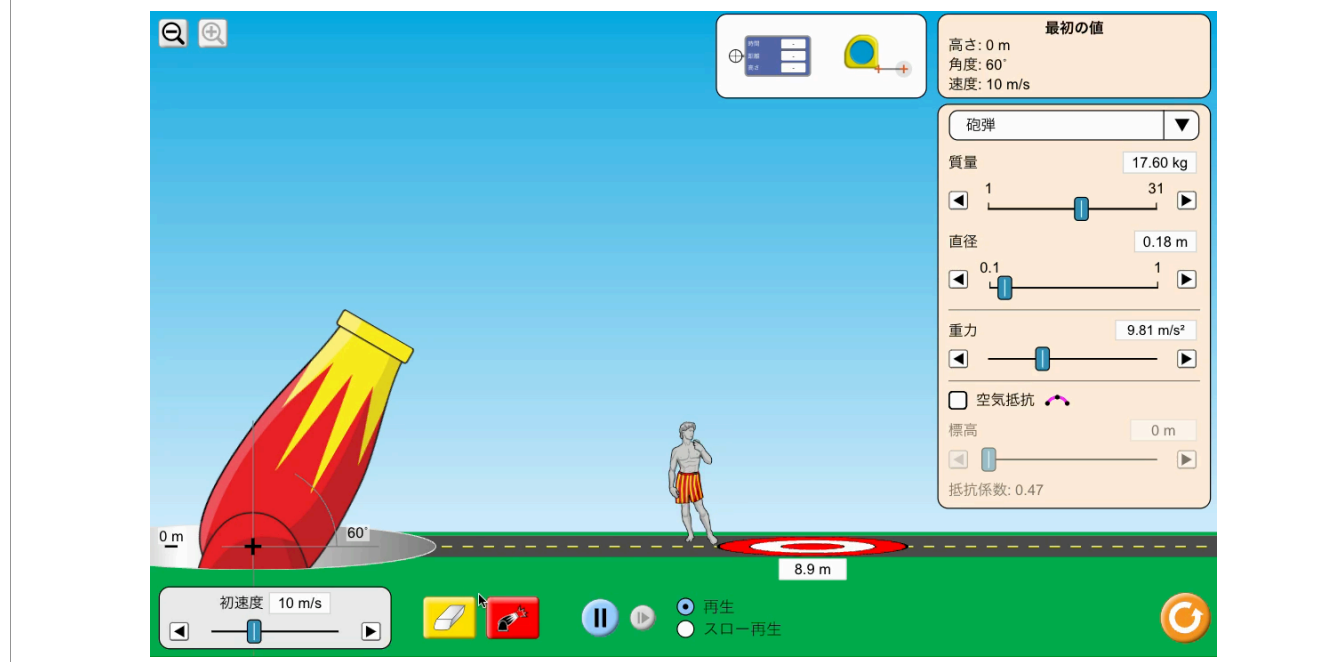
Holubova は、「実験室での作業は理論的な概念を検証する最も重要な方法である」と述べています。

一方で、実験には時間と手間がかかるため、物理学を学ぶ学習者全員が実験を経験しているわけではありません。

そこで活用されているのが、シミュレータです。Ajredini はシミュレーションを利用した授業でも実際の実験と同様の学習効果を得ることができるとしています。

しかし、既存のシミュレータではカバーできないこともあります。

## シミュレータ PhET での斜方投射 [Perkins+, 06]



まずは既存のシミュレータである PhET での斜方投射のシミュレーションを紹介します。質量や初速度を数値で入力し、それらに従って砲弾が運動。その軌跡が描画されます。

## 実際の物理学習

$$\begin{array}{l} v = v_0 + at \\ \text{等加速度運動の公式} \quad x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \end{array}$$

### 斜方投射を表す方程式

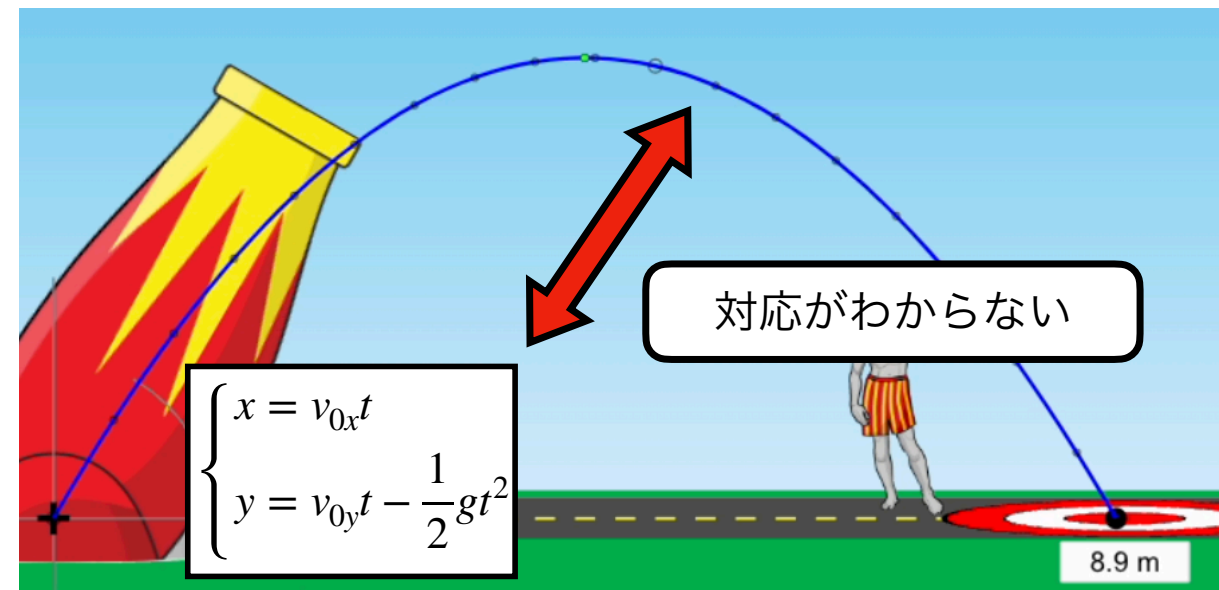
初速を  $(v_{0x}, v_{0y})$ 、重力加速度を  $g$  とする。

$$\begin{cases} v_x = v_{0x} \\ v_y = v_{0y} - gt \end{cases} \quad \begin{cases} x = v_{0x}t \\ y = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

一方、実際に物理学の理論を学ぶ際には物理法則や運動を方程式を活用して学びます。

これは、斜方投射を表す方程式の例です。初速を  $(v_{0x}, v_{0y})$ 、重力加速度を  $g$  とすると、斜方投射の軌道はこのような方程式で表されます。

## 既存のシミュレータの不足点



5

先ほど紹介したようなシミュレータでは、軌道を見ることはできても、描画された軌道と理論上の方程式の間の対応はわかりません。

## SimSym : 物理系を定義できるシミュレータ

学習者によって定義された  
物理系に基づく  
シミュレーション

現実の運動を  
正しく表現した動作例

正しい物理系を  
作成するための補助

学習者が定義した物理系の運動と  
現実の物理法則に従う物体の運動の対応を理解できる

6

そこで本研究では、より実際の物理学習に近いシミュレータとして SimSym を提案します。

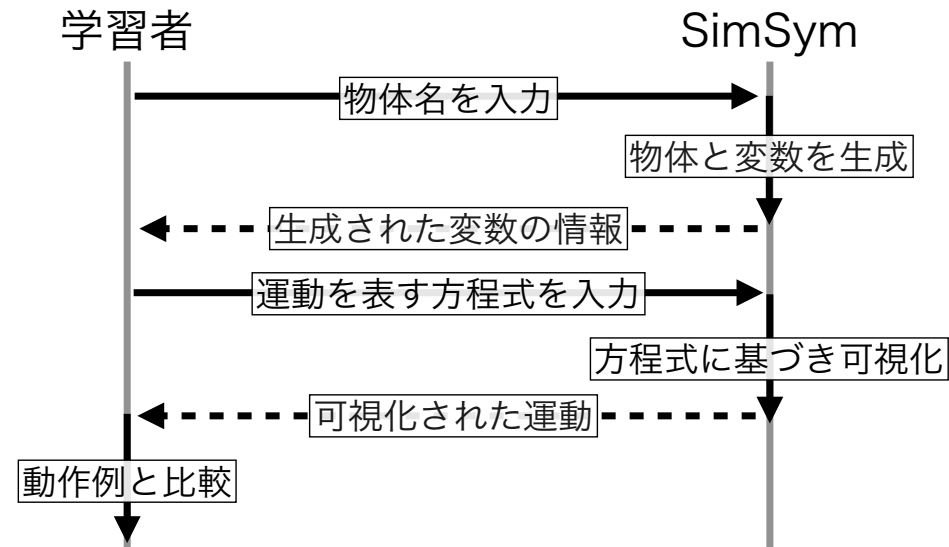
SimSym は、学習者が物理系を定義することができます。

つまり、学習者が定義した物体と方程式に基づく運動をシミュレートすることができます。

また、現実の運動を正しく表現した動作例が存在し、これとシミュレーションの結果を比較することができるなど、学習者は正しい物理系を作成するための補助が受けられます。

これらの機能により、学習者が定義した物理系の運動と現実の物理法則に従う物体の運動の対応を理解できます。

## SimSym を利用する流れ



7

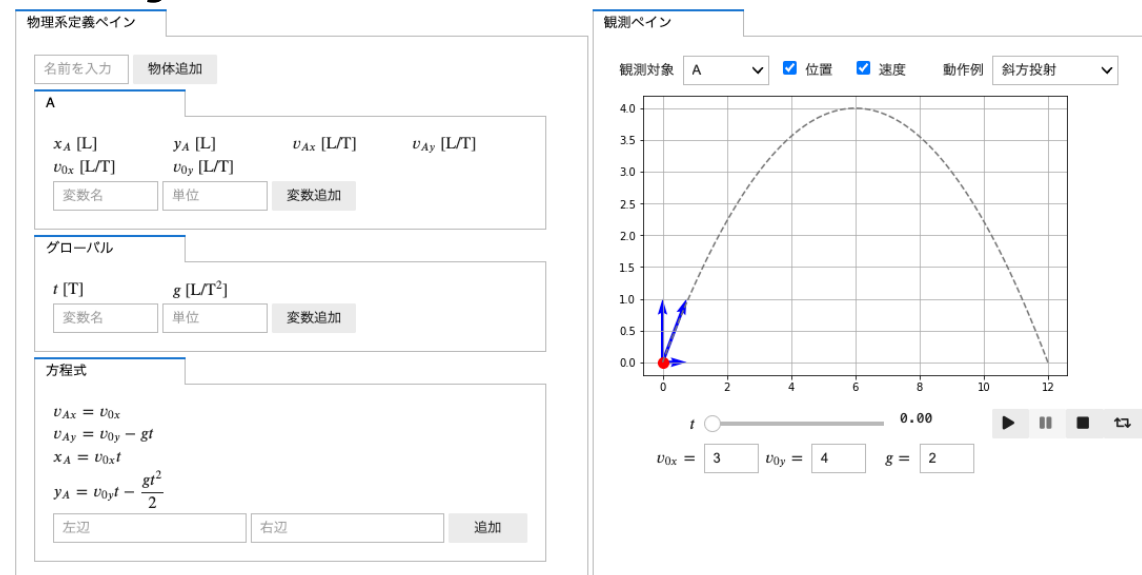
SimSym を使う流れを説明します。

学習者が物体名を入力すると、SimSym はその物体と、位置・速度などその物体に紐づく変数を生成し、学習者に提供します。

生成された変数を用いて運動を表す方程式を入力すると、その方程式に基づいて物体の運動が可視化されます。

学習者は、可視化された運動と動作例を比較することができます。

# SimSym の動作例：斜方投射

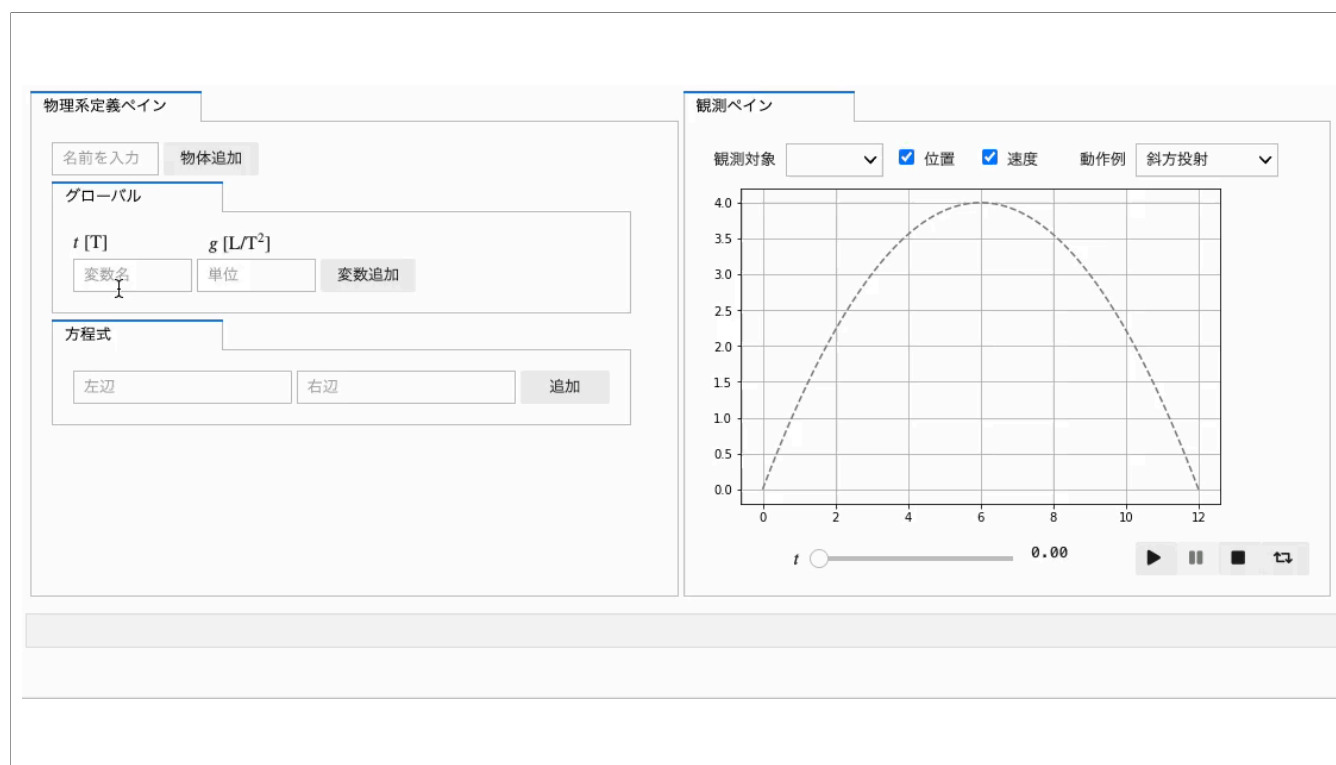


8

ここから、SimSym の動作例を見ていきます。題材として、斜方投射を選びます。

こちらが入力が終わった完成図です。左半分が物理系を定義するペイン、右半分が観測を行うペインです。





まず、物体名を A として生成します。

斜方投射なので、x 軸方向の初速  $v_{0x}$  と、y 軸方向の初速  $v_{0y}$  を追加します。

次に、A の速度と位置を表す方程式を追加します。

x 軸方向には加速度がないため、A の x 軸方向の速度  $v_{Ax}$  は  $v_{0x}$  となります。

y 軸負の方向に重力加速度がかかるため、y 軸方向の速度  $v_{Ay}$  は  $v_{0y} - gt$  となります。

同様に、位置も入力すると、このようになります。

観測対象として A を指定し、時刻 t を動かすことで、このようにシミュレーションが実行されます。起動が動作例の破線と一致していることがわかります。

以上が SimSym 上で斜方投射を定義する例です。

## 間違った運動

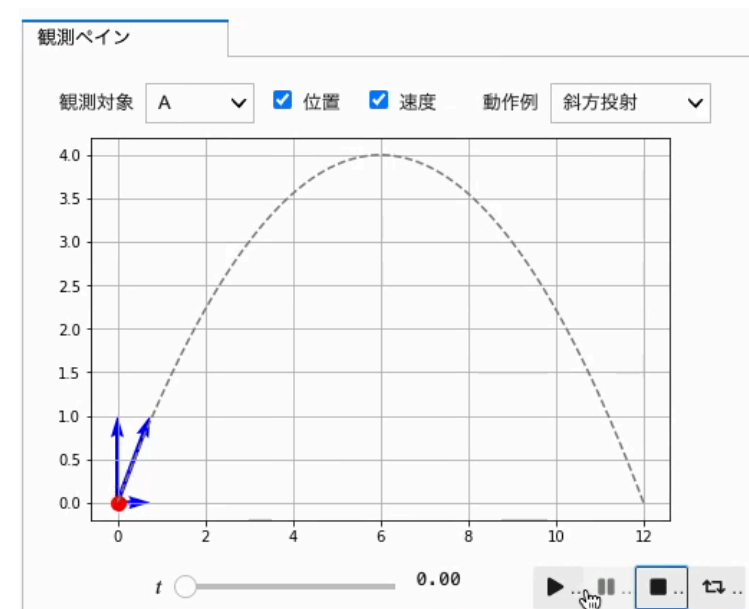
### 方程式

$$v_{Ax} = v_{0x}$$

$$v_{Ay} = v_{0y} + gt$$

$$x_A = v_{0x}t$$

$$y_A = v_{0y}t + \frac{gt^2}{2}$$



10

斜方投射を誤って定義するとどうなるか見ていきます。

y 軸方向の速度と位置の定義で符号を間違えた場合、シミュレーションの結果はこのようになります。これは動作例と大きく異なるため、誤った定義をしてしまったことが簡単にわかります。

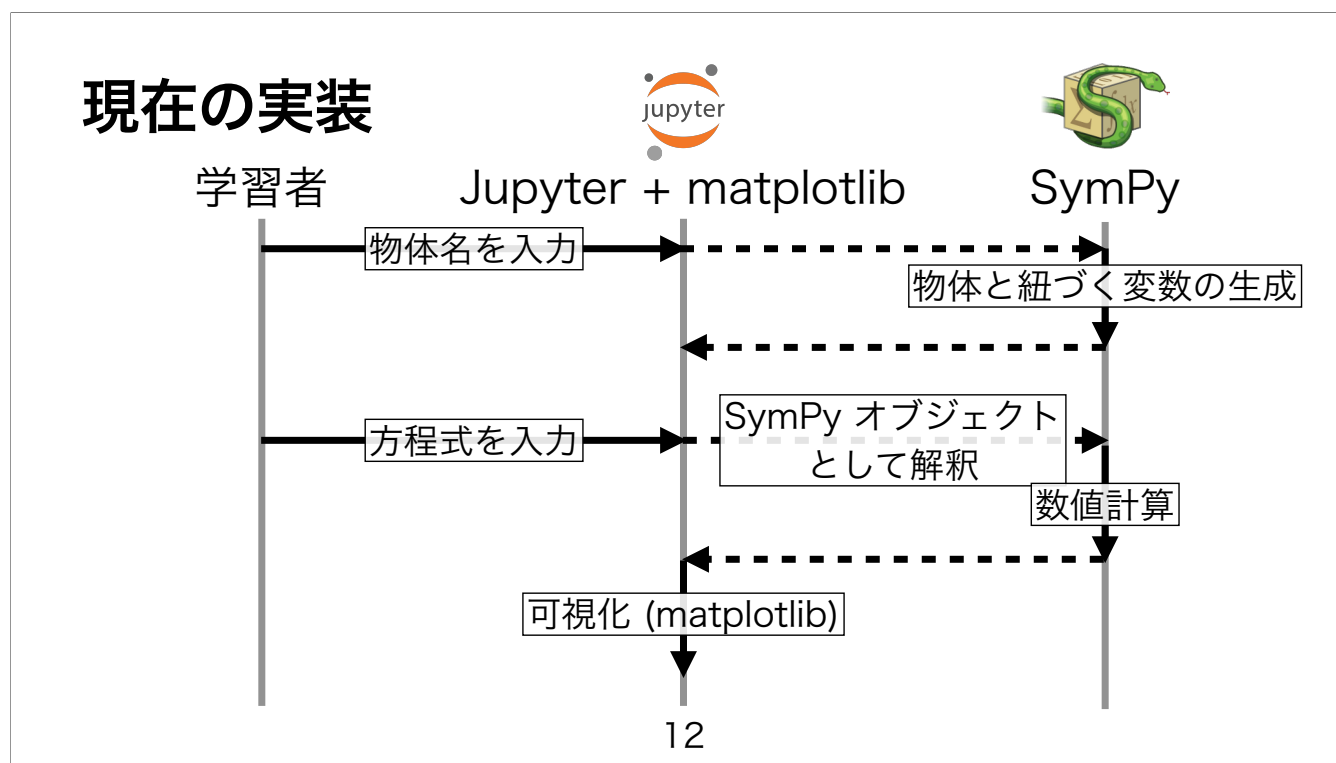
## 不正な次元の警告

$$v_{0x} + t$$

次元が不正なため定義できません:

$$\underline{[L/T]} + \underline{[T]}$$

また、物理系を定義する際に、速度 + 加速度 のように次元が不正な式を定義しようとすると、警告され定義することができません。これにより、不正な物理系の作成を抑制することができます。



ここからは、現在の実装について説明します。

現在、SimSym は全て Python で実装されています。

入力と表示に Jupyter Notebook、グラフの表示に matplotlibを、方程式の処理や数値計算に SymPy というライブラリを用いています。

学習者が物体名を Jupyter に入力すると、SymPy を使って物体とそれに紐づく変数が生成されます。

生成された変数を使った方程式を入力すると、それが SymPy 上の方程式として解釈されます。

その方程式をもとに SymPy 上で数値計算が行われ、Jupyter と matplotlib を用いて可視化されます。

## 今後の課題

- ・実装
  - ・ 入力された文字の SymPy オブジェクトへの変換
  - ・ グラフ描画の最適化
- ・ 学習効果の評価

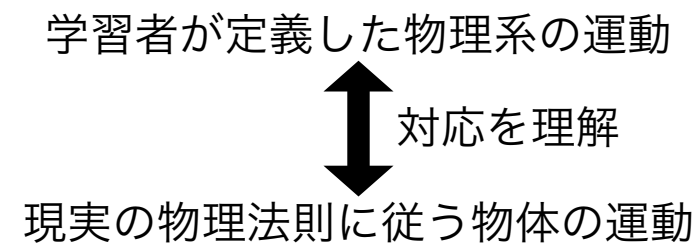
今後の課題としては、まず実装があげられます。現在の実装はモックで、実際には入力された文字を SymPy オブジェクトに変換し解釈する部分は未実装です。そのため、そこを実装する必要があります。

また、 $t$  が変化すると毎回グラフを描画しているため、負荷が大きいです。あらかじめ全ての  $t$  に対してグラフを生成し、 $t$  の変更に応じてグラフを差し替えるだけにするなど、最適化をする必要があります。

これらの実装ができれば、学習効果を評価する必要もあります。

## まとめ

物理系を定義できるシミュレータ SimSym の提案



まとめに入ります。

本研究では、学習者が物理系を定義できるシミュレータ SimSym を提案しました。

SimSym 上で物理系を定義し、動作例と比較することで、学習者が定義した物理系の運動と、現実の物理法則に従う物体の運動の対応を理解できると考えています。

## 参考文献

- Renata Holubova. The impact of experiments in physics lessons – “why, when, how often?”. AIP Conference Proceedings, Vol. 2152, No. 1, p. 030007, 2019.
- 林 壮一ほか. 大学生に対する高校物理実験および放射線学習の現状調査. 物理教育, Vol. 63, No. 3, pp.191–196, 2015
- Fadil Ajredini, et al. Real Experiments versus Phet Simulations for Better High-School Students' Understanding of Electrostatic Charging. European Journal Of Physics Education, Vol. 5, No. 1, p. 59, February 2014.
- Katherine K. Perkins, et al. PhET: Interactive Simulations for Teaching and Learning Physics. The Physics Teacher, Vol. 44, No. 1, pp. 18–23, January 2006.