

运用自由落体频闪模型验证动能定理

何述平

(西北师范大学教育学院物理教育研究所 甘肃 兰州 730070)

(收稿日期:2018-03-15)

摘要:研究了运用自由落体频闪模型验证动能定理的方法,结合实测数据给出了合理运用结果;讨论了方法的特点,拓展了现行教科书的相关方法,提出了相应的教学建议.

关键词:自由落体 频闪模型 动能定理 验证方法 教学建议

1 引言

验证动能定理是普通高中课程标准实验教科书物理2的基本内容^[1],现行教科书提供的实验方案(气垫导轨、滑块、光电计时器、钩码,恒力做功)^[1]既有实验操作要求[如调节导轨水平,滑块质量远大于钩码质量(多大算是远大于,显得朦胧),多次测量滑块通过光电门的速度],又有数据处理方法的要求(如逐一法、图像法,但具体怎样、谁更合理未明确).然而,可否规避实验器材、实验操作而直接运用现行教科书中现成的

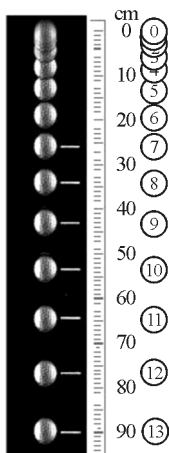


图1 自由落体频闪模型

自由落体频闪模型(图1)^[2],侧重实验数据处理方法,达到验证动能定理的实验目的?就此进行研究,以期推证运用自由落体频闪模型验证动能定理的方法,拓展现行教科书的相关方法,奠定教学设计的开放性物理基础.

2 方法推证

自由落体频闪模型(图1)记录了小球自由落体运动的时空信息,即相等时间间隔的空间位置;提供了直接验证动能定理的实验数据信息.小球自由落体运动的频闪点 n 和位移 h_n (频闪周期 T)如图2所示,则有

$$W_n = mgh_n \quad (1)$$

$$E_{kn} = \frac{1}{2}mv_n^2 \quad (2)$$

自由落体运动 $(n-1)T$ 到 $(n+1)T$ 时段中点时

展学生的思维宽度,通过自然科学引入具有“物理艺术美”的电场线,通过分析电荷的电场强度示意图递进到电场线分布图,再到对于电场线分布的特征,分析5大经典电场线分布图(正点电荷、负点电荷、等量同种电荷、等量异种电荷、匀强电场),掌握分析不同电场线分布图的分析方法和特点.从而可以用分析方法研究其他特殊且不规则的电场特征,达到举一反三的效果,以及从物理人文方面,让学生更好地体会物理中的艺术美.

艺术和物理看似是文与理两个领域,但是自然界这个客观实在,却把艺术和物理紧密地联系在一起.物理解读的正是我们这个神奇充满着奥秘的

自然世界,它是探究奥秘的钥匙;艺术生动描述着这个美丽而神秘的自然世界,它是描绘奥秘的方式.“电场线”这个物理学概念则恰好把物理与艺术生动形象地交融到了一起,它既是物理学知识,又是一种描述自然中这个“无形无感觉”电场最有效的艺术图示法,这就是物理学中的物理人文,物理学中的艺术美.

参考文献

- 1 萧秦.你从小应该知道的世界 著名科学家与发明家法拉第.北京:人民文学出版社,2013
- 2 赵海丽,李天印.浅谈“超重与失重”教学中物理学素养的培养.中学物理:高中版,2016,34(9):14~15

刻 nT 的瞬时速度等于该时段的平均速度,则有

$$v_n = \frac{h_{n+1} - h_{n-1}}{2T} \quad (3)$$

式中 $n=1, 2, 3, \dots$, 且 $t=0$ 即 $n=0$ 时, $h_0=0, v_0=0$ ^[3]; 由测得的 h_n 和式(1)~(3)可确定重力对小球做的功 W_n 和小球对应的动能 E_{kn} , 从而验证功 W_n 与动能变化 E_{kn} 的关系.

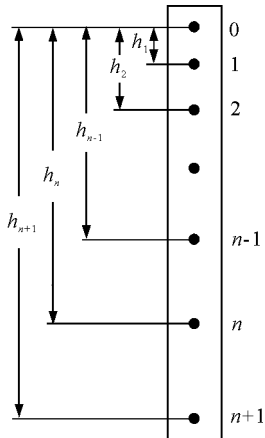


图2 频闪点 n 和位移 h_n

依据数据处理方法的特点,可有逐点法和整体法(即图像法)2种不同的方法.

2.1 逐点法

2.1.1 基本逐点法

依据式(1)确定的 W_n 和式(2)、(3)确定的 E_{kn} 是否相等,可验证动能定理;为了简化, W_n, E_{kn} 的单位均取“ m ”(这样就无需测定小球的质量).

2.1.2 变形逐点法

自由落体运动任一位置 n , 由动能定理有

$$W_n = E_{kn} \quad (4)$$

由式(1)~(4),得

$$\frac{H_n}{h_n} = 8gT^2 \quad (5)$$

$$H_n = (h_{n+1} - h_{n-1})^2 \quad (6)$$

式(5)表明: H_n 与 h_n 的比值为恒量(T, g 恒量); 于是,验证动能定理的问题转化为验证 H_n 与 h_n 的比值是否为恒量的问题. 由测得的 h_n 和式(6)确定的 H_n , 由式(5)可验证动能定理.

2.2 整体法

整体法即图像法, 图像法是物理实验数据处理的基本方法, 运用之一是验证理论表达式^[4,5]; 据此运用图像法处理自由落体频闪模型数据验证动能定

理.

2.2.1 $W-E_k$ 图像法

由式(4)知: W_n 与 E_{kn} 成正比函数关系; 于是, 验证动能定理的问题转化为验证 W_n 与 E_{kn} 是否成正比函数关系的问题. W_n 由式(1)、 E_{kn} 由式(2)、(3)确定时均取单位“ m ”, 作 $W-E_k$ 图像可验证动能定理.

2.2.2 v^2-h 图像法

由式(1)、(2)、(4), 得

$$v_n^2 = 2gh_n \quad (7)$$

式(7)表明: v_n^2 与 h_n 成正比函数关系(g 恒量, 实质是自由落体运动速度-位移规律); 于是, 验证动能定理的问题转化为验证 v_n^2 与 h_n 是否成正比函数关系的问题. 由测得的 h_n 和式(3)测定的 v_n , 作 v^2-h 图像可验证动能定理.

2.2.3 $H-h$ 图像法

由式(5)得

$$H_n = 8gT^2 h_n \quad (8)$$

式(8)表明: H_n 与 h_n 成正比函数关系(g, T 恒量); 于是, 验证动能定理的问题转化为验证 H_n 与 h_n 是否成正比函数关系的问题. 由式(6)确定的 H_n , 作 $H-h$ 图像可验证动能定理.

3 运用结果

由现行教科书的自由落体频闪模型^[2], 测7组 h_n 数据($T = \frac{1}{30}$ s), 如表1所示.

表1 自由落体频闪模型的位移

n	7	8	9	10	11	12	13
h_n/cm	26.1	34.1	43.1	53.4	64.4	76.8	90.1

3.1 基本逐点法结果

由式(1)~(3)和表1得表2(W_n, E_{kn} 单位“ $m \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$ ”, $g_{\text{上海}} = 9.794 \text{ m/s}^2$, 即认为频闪模型拍摄地是上海; 同理, 下文均取 $g_{\text{上海}}$; 实验原点为第1组数据).

表2 基本逐点法的结果

n	0	8	9	10	11	12
$W_n/(m \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2})$	0.00	3.34	4.22	5.23	6.31	7.52
$E_{kn}/(m \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2})$	0.00	3.25	4.19	5.10	6.16	7.43

表2表明: E_{kn} 略小于 W_n (合理, 因空气阻力做

功), E_{kn} 与 W_n 近似相等(实验原点外, E_{kn} 与 W_n 的相对偏差依次为 2.7%, 0.7%, 2.5%, 2.4%, 1.2%); 从而动能定理得以验证.

3.2 变形逐点法结果

由式(6)和表1得表3.

表3 变形逐点法的结果

n	8	9	10	11	12
$\frac{H_n}{h_n}/\text{cm}$	8.48	8.64	8.50	8.50	8.60

表3表明: $\frac{H_n}{h_n}$ 略小于 $8gT^2 = 8.70 \text{ cm}$ (合理, 因空气阻力做功), $\frac{H_n}{h_n}$ 近似为恒量($\frac{H_n}{h_n}$ 与 $8gT^2$ 的相对偏差依次为 2.5%, 0.7%, 2.3%, 2.3%, 1.1%); 从而动能定理得以验证.

3.3 $W - E_k$ 图像法结果

由表2数据、Excel程序^[6]得 $W - E_k$ 图像(表达式 $W = 1.018E_k$), 如图3所示.

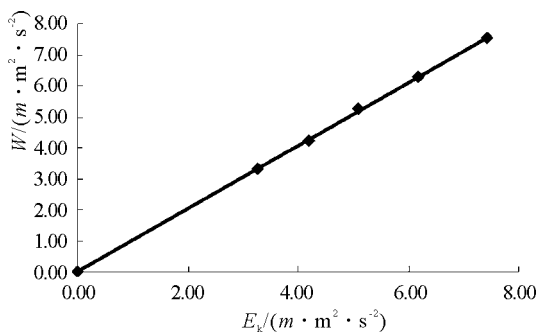


图3 $W - E_k$ 图像

$W - E_k$ 图像表明: W_n 与 E_{kn} 呈正比函数关系(图像斜率测定值 1.018 与理论值 1.000 的相对偏差仅为 1.7%; 合理, 因空气阻力做功); 从而动能定理得以验证.

3.4 $v^2 - h$ 图像法结果

由式(3)和表1得表4(实验原点为第1组数据).

表4 频闪模型的 h_n 和 v_n^2

n	0	8	9	10	11	12
h_n/cm	0.0	34.1	43.1	53.4	64.4	76.8
$v_n^2/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2})$	0.00	6.50	8.38	10.21	12.32	14.86

由表4数据、Excel程序^[6]得 $v^2 - h$ 图像(表达式 $v^2 = 0.1924h$), 如图4所示.

$v^2 - h$ 图像表明: v_n^2 与 h_n 呈正比函数关系(图像斜率测定值 19.24 m/s^2 与标准值 $2g = 19.59 \text{ m/s}^2$ 的相对偏差仅为 1.8%; 合理, 因空气阻力做功); 从而动能定理得以验证.

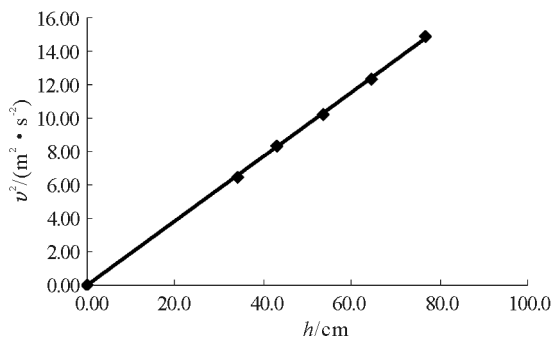


图4 $v^2 - h$ 图像

3.5 $H - h$ 图像法结果

由式(6)和表1得表5(实验原点为第1组数据).

表5 频闪模型的 h_n 和 H_n

n	0	8	9	10	11	12
h_n/cm	0.0	34.1	43.1	53.4	64.4	76.8
$H_n/\times 10^2 \text{ cm}^2$	0.00	2.89	3.72	4.54	5.48	6.60

由表5数据、Excel程序^[6]得 $H_n - h_n$ 图像(表达式 $H = 0.0855h$), 如图5所示.

$H - h$ 图像表明: H_n 与 h_n 成正比函数关系(图像斜率测定值 8.55 cm 与标准值 $8gT^2 = 8.70 \text{ cm}$ 的相对偏差仅为 1.7%; 合理, 因空气阻力做功); 从而动能定理得以验证.

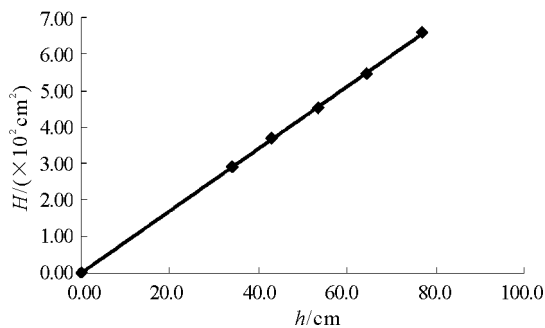


图5 $H - h$ 图像

上述5种验证动能定理方法的结果表明: 验证结果合理, 验证方法可行(验证量 E_{kn} , $\frac{H_n}{h_n}$ 与参考量 W_n , $8gT^2$ 或相应图像斜率测定值与理论值或标准值的相对偏差均小于 3.0%, 即偏差均控制在 3.0%

以内,可认为验证结果可靠)。

4 讨论

4.1 方法特点

直接运用自由落体频闪模型验证动能定理,虽未涉及实验器材、实验操作(涉及实验数据测量),但强化了实验数据处理方法(涉及知识:功、动能、动能定理),突显了以物理实验为基础的、以物理思维为主导的物理科学探究;运用已知认识未知(自由落体频闪模型是现行教科书物理1的内容^[2],验证动能定理是现行教科书物理2的内容^[1]),符合认知、建构规律,不仅益于深化已知,而且适合探究未知。因此,直接运用自由落体频闪模型验证动能定理可作为现行教科书相关方法的拓展,或作为实验条件制约(如实验器材短缺、不匹配)的弥补。

4.2 谁更合理

由上述5种验证动能定理方法的运用过程知,逐点法是逐点验证 W_n, E_{kn} 是否相等、 $\frac{H_n}{h_n}$ 是否为恒量,图像法是整体验证 $W-E_k, v^2-h, H-h$ 是否为正比函数关系;逐点法叠加了对应测量值的误差,图像法通过作图(即取平均)部分抵消了对应测量值的误差。因此,就减小误差的角度,图像法优于逐点法。鉴于此,图像法较逐点法合理,验证动能定理的数据处理方法宜采用图像法。

5 教学建议

基于上述特点,有以下直接运用自由落体频闪

模型验证动能定理的教学建议。

(1)若作为现行教科书相关方法的拓展,可先完成教科书的内容并达成验证动能定理的教学目标(前提是相应实验结果可支撑实验目的),再做如上的拓展,强化实验数据处理验证动能定理方法的提升。

(2)若作为实验条件制约的弥补,可规避教科书相应的实验操作内容(待条件具备,再进行提升),直接运用自由落体频闪模型验证动能定理,侧重实验数据处理验证动能定理方法的培养。

(3)教学中的具体验证方法,可依据师生水平、培养目标灵活选择,可先运用逐点法,再运用图像法;也可引导、启发学生逐步探究验证方法,虽不求涉及上述5种具体验证方法,但应有基本逐点法和 $W-E_k$ 图像法,切实培养学生实验数据处理验证动能定理的方法。

参考文献

- 1 束炳如,何润伟.普通高中课程标准实验教科书物理2(第3版).上海:上海科技教育出版社,2007.43~45
- 2 束炳如,何润伟.普通高中课程标准实验教科书物理1(第3版).上海:上海科技教育出版社,2007.48
- 3 何述平.逐差法处理自由落体频闪数据的研究.物理教师,2016,37(1):42~45
- 4 龚镇雄.普通物理实验中的数据処理.西安:西北电讯工程学院出版社,1985.67~68
- 5 朱鹤年.基础物理实验教程:物理测量的数据处理与实验设计.北京:高等教育出版社,2003.59~60
- 6 何述平.图像法处理打点纸带的研究.物理教师,2013,34(1):57~60

Verifying the Kinetic Energy Theorem by Stroboscopic Model of Free falling body

He Shuping

(Research Institute of Physics Education, College of Education, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070)

Abstract: The method of verifying the kinetic energy theorem by applying free-fall stroboscopic model is studied, and the reasonable application results are given through measured data. The characteristics of this method are discussed, the relevant method of the present textbooks is expended, and the corresponding teaching suggestions are put forward.

Key words: free-fall; stroboscopic model; kinetic energy theorem; verifying method; teaching suggestion