实验六　验证机械能守恒定律

目录

课前预习·基础落实
课堂互动·考点突破

课前预习·基础落实

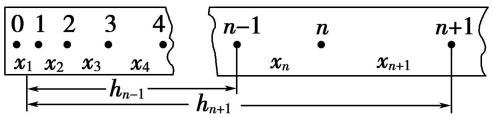
【实验目的】

验证机械能守恒定律。

【实验原理】

1．在只有重力做功的自由落体运动中，物体的重力势能和动能互相转化，但总的机械能保持不变。若物体某时刻瞬时速度为 v，下落高度为 h，则重力势能的减少量为 mgh，动能的增加量为 $\frac{1}{2}mv^2$，看它们在实验误差允许的范围内是否相等，若相等则验证了机械能守恒定律。

2.计算打第 n 个点速度的方法：测出第 n 个点与相邻前后点间的距离 x_n 和 x_{n+1}，由公式 $v_n=\frac{x_n+x_{n+1}}{2T}$ 或 $v_n=\frac{h_{n+1}-h_{n-1}}{2T}$ 算出，如图实Ⅵ－1 所示。



图实Ⅵ－1

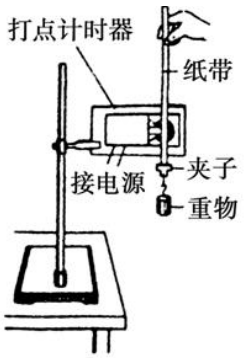
【实验器材】

铁架台(含铁夹)，打点计时器，学生电源，纸带，复写纸，导线，毫米刻度尺，重物(带纸带夹)。

【实验过程】

一、实验步骤

1．安装置：按图实Ⅵ－2 所示将检查、调整好的打点计时器竖直固定在铁架台上，接好电路。



图实Ⅵ－2

2．打纸带：将纸带的一端用夹子固定在重物上，另一端穿过打点计时器的限位孔，用手提着纸带使重物静止在靠近打点计时器的地方。先接通电源，后松开纸带，让重物带着纸带自由下落。

更换纸带重复做 3 次～5 次实验。

3．选纸带：分两种情况说明

(1)用 $\frac{1}{2}mv_n^2=mgh_n$ 验证时，应选点迹清晰，且 1、2 两点间距离小于或接近 2 mm 的纸带。若 1、2

两点间的距离大于 2 mm，这是由于先释放纸带、后接通电源造成的。这样，第 1 个点就不是运动的起始点了，这样的纸带不能选。

(2)用 $\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_A^2=mg\Delta h$ 验证时，由于重力势能的相对性，处理纸带时，选择适当的点为基准点，这样纸带上打出的第 1、2 两点间的距离是否为 2 mm 就无关紧要了，所以只要后面的点迹清晰就可选用。

二、数据处理

方法一：利用起始点和第 n 点计算，代入 gh_n 和 $\frac{1}{2}v_n^2$，如果在实验误差允许的条件下，gh_n 和 $\frac{1}{2}v_n^2$ 相等，则验证了机械能守恒定律。

方法二：任取两点计算

(1)任取两点 A、B，测出 h_{AB}，算出 gh_{AB}。

(2)算出 $\frac{1}{2}v_B^2-\frac{1}{2}v_A^2$ 的值。

(3)在实验误差允许的条件下，若 $gh_{AB}=\frac{1}{2}v_B^2-\frac{1}{2}v_A^2$，则验证了机械能守恒定律。

方法三：图象法。从纸带上选取多个点，测量从第一点到其余各点的下落高度 h，并计算各点速度的平方 v^2，然后以 $\frac{1}{2}v^2$ 为纵轴，以 h 为横轴，根据实验数据绘出 $\frac{1}{2}v^2-h$ 图线。若在误差允许的范围内图象是一条过原点且斜率为 g 的直线，则验证了机械能守恒定律。

【误差分析】

1．本实验中因重物和纸带在下落过程中要克服各种阻力(空气阻力、打点计时器阻力)做功，故动能的增加量 ΔE_k 稍小于重力势能的减少量 ΔE_p，即 $\Delta E_k<\Delta E_p$，这属于系统误差。改进的办法是调整器材的安装，尽可能地减小阻力。

2．本实验的另一个误差来源于长度的测量，属偶然误差。减小误差的方法是测下落距离时都从 0 点量起，一次将各打点对应的下落高度测量完，或者多次测量取平均值。

【注意事项】

1．安装打点计时器时要竖直架稳，使其两限位孔在同一竖直平面内，以减少摩擦阻力。

2．重物应选用质量大、体积小的物体。

3．应先接通电源，让打点计时器正常工作后，再松开纸带让重物下落。

4．测量下落高度时，为了减小测量值 h 的相对误差，选取的各个计数点要离起始点远一些，纸带也不易过长，有效长度可在 60～80 cm 之间。

5．不需测出物体质量，只需验证 $\frac{1}{2}v_n^2=gh_n$ 即可。

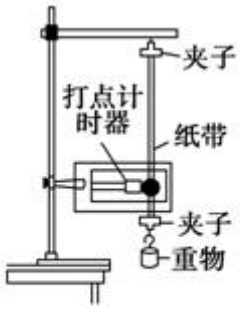
【实验改进】

1．物体的速度可以用光电计时器测量，以减小由于测量和计算带来的误差。

2．整个实验装置可以放在真空的环境中操作，如用牛顿管和频闪照相进行验证，以消除由于空气阻力作用而带来的误差。

3．可以利用气垫导轨来设计该实验，以减小由于摩擦带来的误差。

4．为防止重物被释放时的初速度不为零，可将装置改成如图实Ⅵ－3 所示形式，剪断纸带最上端，让重物从静止开始下落。

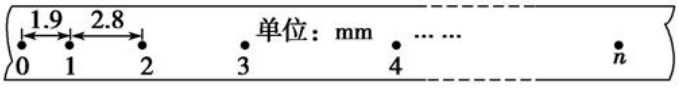


图实Ⅵ－3

课堂互动·考点突破

考点一　实验原理与操作

[例 1]　在利用自由落体运动验证机械能守恒定律的实验中，电源的频率为 50 Hz，依次打出的点为 0、1、2、3、4…n.则：



图实Ⅵ－4

(1)如用第 2 点到第 6 点之间的纸带来验证，必须直接测量的物理量为_____，必须计算出的物理量为_____、_____，验证的表达式为_____。

(2)下列实验步骤操作合理的排列顺序是_____(填写步骤前面的字母)。

A．将打点计时器竖直安装在铁架台上

B．接通电源，再松开纸带，让重物自由下落

C．取下纸带，更换新纸带(或将纸带翻个面)重新做实验

D．将重物固定在纸带的一端，让纸带穿过打点计时器，用手提着纸带

E．选择一条纸带，用刻度尺测出物体下落的高度 h_1、h_2、h_3…h_n，计算出对应的瞬时速度 v_1、v_2、v_3…v_n

F．分别算出 $\frac{1}{2}mv_n^2$和 mgh_n，在实验误差范围内看是否相等

[解析]

(1)要验证从第 2 点到第 6 点之间的纸带对应重物的运动过程中机械能守恒，应测出第 2 点到第 6 点的距离 h_{26}，要计算第 2 点和第 6 点的速度 v_2和 v_6，必须测出第 1 点到第 3 点之间的距离 h_{13}和第 5 点到第 7 点之间的距离 h_{57}，机械能守恒的表达式为 $mgh_{26}=\frac{1}{2}mv_6^2-\frac{1}{2}mv_2^2$

(2)实验操作顺序为 ADBCEF。

[答案]

(1)第 2 点到第 6 点之间的距离 h_{26}

第 1 点到第 3 点之间的距离 h_{13}

第 5 点到第 7 点之间的距离 h_{57}

第 2 点的瞬时速度 v_2　第 6 点的瞬时速度 v_6

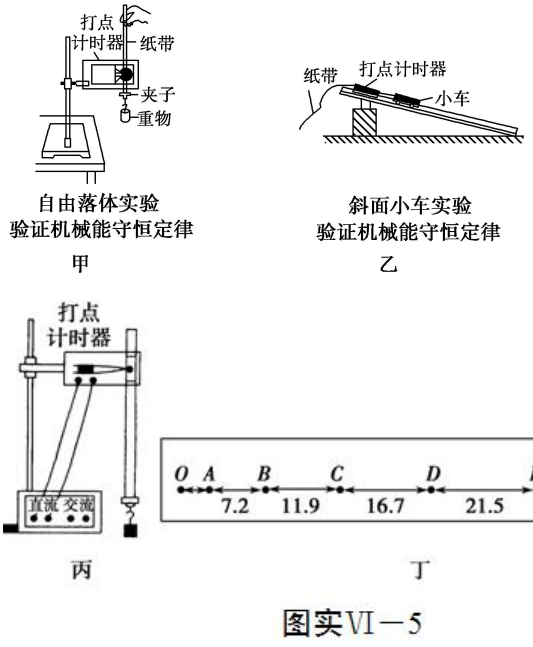
$mgh_{26}=\frac{1}{2}mv_6^2-\frac{1}{2}mv_2^2$

(2)ADBCEF

［点评］ 计算速度时应根据“匀变速直线运动中某段时间内的平均速度等于中间时刻的瞬时速度”进行求解，而不能用 $v=gt$ 进行求解。

针对训练：

“验证机械能守恒定律”的实验装置可以采用图实Ⅵ－5 所示的甲或乙方案来进行。



图实Ⅵ－5

(1)比较这两种方案，_____(填“甲”或“乙”)方案好些。

(2)该同学开始实验时情形如图丙所示，接通电源释放纸带。请指出该同学在实验操作中存在的两处明显错误或不当的地方：

①_____；

②_____。

(3)该实验中得到一条纸带，且测得每两个计数点间的距离如图丁所示。已知相邻两个计数点之间的时间间隔 T＝0.1 s。则物体运动的加速度 a＝_____；该纸带是采用_____(填“甲”或“乙”)实验方案得到的。

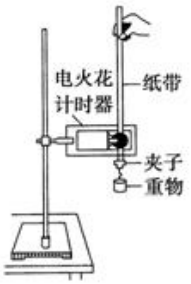
解析 由 $\Delta x=aT^2$，利用逐差法得到物体运动的加速度 $a\approx4.8\ m/s^2$。若用自由落体实验测得物体运动的加速度 a 应该接近 10 m/s^2，所以该纸带是采用乙实验方案得到的。

答案

(1)甲 (2)①打点计时器接了直流电源 ②重物离打点计时器太远 (3)4.8 m/s^2 乙

考点二 实验数据的处理和误差分析

[例 2] (邹城联考)“验证机械能守恒定律”的实验装置如图实Ⅵ－6 所示采用重物自由下落的方法：



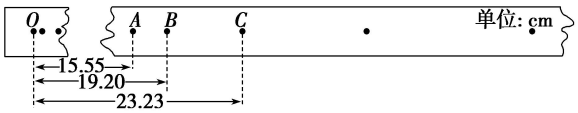
图实Ⅵ－6

(1)实验中，下面哪些测量工具是必需的（　　）

A．天平　　B．直流电源　　C．刻度尺　　D．秒表

(2)已知打点计时器所用电源的频率为 50 Hz，当地的重力加速度 g＝9.80 m/s^2，所用重物的质量为 200 g。实验中选取一条符合实验要求的纸带如图实Ⅵ－7 所示，O 为纸带下落的起始点，A、B、C 为纸带上选取的三个连续点。

计算 B 点瞬时速度时，甲同学用 $v_B^2=2gx_{OB}$，乙同学用 $v_B=\frac{x_{AC}}{2T}$，其中所选方法正确的是_____(选填“甲”或“乙”)同学；根据以上数据，可知重物由 O 运动到 B 点时动能的增加量等于_____J，重力势能减少量等于_____J(计算结果均保留三位有效数字)。



图实Ⅵ－7

(3)实验中，发现重物减少的势能总是大于重物增加的动能，造成这种现象的主要原因是_____。

[解析]

(1)根据实验原理，需要验证下列方程成立 $mgh=\frac{1}{2}mv^2$，即 $gh=\frac{1}{2}v^2$，则不需要天平，v 由打点计时器打下的纸带测出，不需要秒表，电磁打点计时器工作电源为 4～6 V 交流电源，故需要低压交流电源，纸带处理需要刻度尺。

(2)物体由静止开始自由下落过程中受到空气阻力和纸带与打点计时器的摩擦阻力作用，不是自由落体运动，$v_B^2=2gx_{OB}$，是自由落体运动的公式，故甲同学错误。重物的重力势能的减少量 $\Delta E_p=mgh=0.200\times9.80\times0.192\ 0$ J＝0.376 J

打 B 点重物速度

$$v=\frac{x_{AC}}{2T}=\frac{0.232\ 3-0.155\ 5}{2\times0.02}\ \text{m/s}=1.92\ \text{m/s}$$

物体动能的增加量

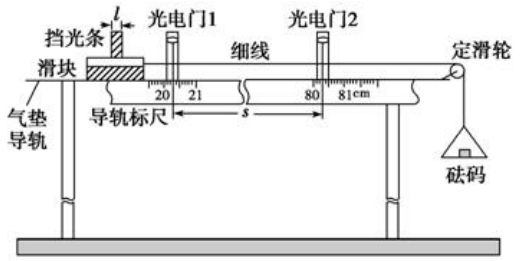
$$\Delta E_k=\frac{1}{2}mv^2=0.5\times0.200\times1.92^2\ \text{J}=0.369\ \text{J}。$$

(3)克服空气对重物和打点计时器对纸带的阻力做功。

[答案]　(1)C　(2)乙　0.369　0.376　(3)见解析

考点三　实验创新设计

[例 3]　利用气垫导轨验证机械能守恒定律，实验装置示意图如图实Ⅵ－8 所示：



图实Ⅵ－8

(1)实验步骤：

①将气垫导轨放在水平桌面上，桌面高度不低于 1 m，将导轨调至水平；

②用游标卡尺测量挡光条的宽度 l＝9.30 mm；

③由导轨标尺读出两光电门中心之间的距离 s＝_____cm；

④将滑块移至光电门 1 左侧某处，待砝码静止不动时，释放滑块，要求砝码落地前挡光条已通过光电门 2；

⑤从数字计时器(图中未画出)上分别读出挡光条通过光电门 1 和光电门 2 所用的时间 Δt_1 和 Δt_2；

⑥用天平称出滑块和挡光条的总质量 M，再称出托盘和砝码的总质量 m。

(2)用表示直接测量量的字母写出下列所示物理量的表达式：

①滑块通过光电门 1 和光电门 2 时瞬时速度分别为 v_1＝_____和 v_2＝_____。

②当滑块通过光电门 1 和光电门 2 时，系统(包括滑块、挡光条、托盘和砝码)的总动能分别为 E_{k1}＝_____和 E_{k2}＝_____。

③在滑块从光电门 1 运动到光电门 2 的过程中，系统势能的减少 ΔE_p＝_____(重力加速度为 g)。

(3)如果 ΔE_p＝_____，则可认为验证了机械能守恒定律。

[解析]

(1)由导轨标尺读出两光电门中心之间的距离 s＝80.30 cm－20.30 cm＝60.00 cm。

(2)由于挡光条宽度很小，因此将挡光条通过光电门时的平均速度看做瞬时速度，挡光条的宽度 l 可用游标卡尺测量，挡光时间 Δt 可从数字计时器读出，因此，滑块通过光电门的瞬时速度为 $\frac{l}{\Delta t}$，则通过光电门 1 时瞬时速度为 $\frac{l}{\Delta t_1}$，通过光电门 2 时瞬时速度为 $\frac{l}{\Delta t_2}$。

由于质量事先已用天平测出，由公式 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$ 可得：系统通过光电门 1 时动能 $E_{k1}=\frac{1}{2}(M+m)\left(\frac{l}{\Delta t_1}\right)^2$，系统通过光电门 2 时动能 $E_{k2}=\frac{1}{2}(M+m)\left(\frac{l}{\Delta t_1}\right)^2$。末动能减初动能可得动能的增加量。

两光电门中心之间的距离 s 即砝码和托盘下落的高度，系统势能的减小量 $\Delta E_p=mgs$，最后对比 $E_{k2}-E_{k1}$ 与 ΔE_p 数值大小，在误差允许的范围内相等，就验证了机械能守恒定律。

[答案] (1)③60.00(59.96～60.04)

(2)①$\frac{l}{\Delta t_1}$　$\frac{l}{\Delta t_2}$　②$\frac{1}{2}(M+m)\left(\frac{l}{\Delta t_1}\right)^2$　$\frac{1}{2}(M+m)\left(\frac{l}{\Delta t_2}\right)^2$

③mgs　(3)$E_{k2}-E_{k1}$