

## 牛顿第二定律

本实验通过观测滑块在气垫导轨上运动的速度和加速度，熟悉气垫导轨和 CS-Z 智能数字测时器的调整使用方法，并验证牛顿第二定律。气垫导轨是为研究无摩擦现象而设计的力学实验设备，在导轨表面分布着许多小孔，压缩空气从这些小孔中喷出，在导轨和滑块之间形成约 0.1mm 厚的空气层，即气垫，由于气垫的形成，滑块被托起，使滑块在气垫上作近似无摩擦的运动。利用气垫导轨，再配以光电计时系统和其他辅助部件，可以对做直线运动的物体（即滑块）进行许多研究，如测定速度、加速度、验证牛顿第二定律，研究物体间的碰撞，研究简谐运动的规律等。

### 【实验原理】

根据牛顿第一定律，当物体所受的合外力为零时，物体将保持静止或作匀速直线运动，如果气轨平直程度和水平程度都很好，而且漂浮于气轨上的滑块受到的气垫层的粘滞性所引起的微小摩擦和空气阻力都很小，则滑块的运动将遵从牛顿第一定律。相反，如果滑块的运动偏离牛顿第一定律，则应该想办法判断是气轨水平程度不好的影响还是摩擦阻力的影响，或是气轨平直程度不好造成的。

#### 1. 速度的测量

在滑块上装一遮光板，当滑块经过设在气轨某位置上的光电门时，遮光板将遮挡照在光电元件上的光线。因为遮光板的宽度一定，遮光时间的长短与滑块通过光电门的速度成反比，若测出遮光时间  $\Delta t$  和遮光板宽度  $\Delta l$ ，就可算出滑块通过光电门的平均速度

$$\bar{v} = \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad (1)$$

因测时器内的单片机具有计算功能，故在选定遮光片宽度后，其速度可直接显示于显示屏上。如果滑块作匀速直线运动，则式（1）表示的平均速度即是滑块运动的速度。显然，滑块通过设在气轨任一位置的光电门时，计时器上显示的平均速度值均相同。

如果滑块作变速运动，此时，滑块在不同时刻  $t$ （或在气轨上不同位置  $x$ ），有不同的速度，为测出滑块在时刻  $t$ （或位置  $x$ ）的瞬时速度，应该把遮光板的宽度  $\Delta l$  取得越窄越好，在  $\Delta l$  很小时，就可以把  $\Delta l / \Delta t$  足够精确地看成滑块经过光电门（时刻或位置）的瞬时速度。当然遮光板宽度  $\Delta l$  也不能太窄，否则，时间间隔  $\Delta t$  会很短，以致测时器无法测量，需要综合考虑测量的准确度问题。

#### 2. 加速度的测量

若滑块在水平方向受一恒力作用，则它将做匀加速度运动。在气轨中间选一段距离  $S$ ，并在距离  $S$  两端设置两个光电门，测出滑块通过距离  $S$  两端的始末速度  $v_1$  和  $v_2$ ，则滑块的加速度  $a$  为

$$a = (v_2 - v_1) / \Delta t \quad (2)$$

此项  $a$  的值可在测时器的屏上显示。

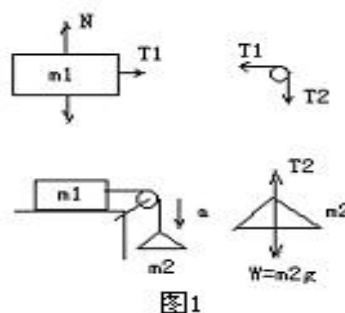


图1

### 3. 验证牛顿定律

气轨调平后，用一系有砝码盘的涤纶薄膜带跨过气垫滑轮，如图 1 所示。

若滑块质量为  $m_1$ ，砝码盘与盘中砝码质量为  $m_2$ ，细线的张力为  $T$ ，涤纶带与气垫滑轮的摩擦不计，则有以下关系式：

$$T_1 = m_1 a \quad (3)$$

$$m_2 - T_2 = m_2 a \quad (4)$$

由 (3)、(4) 式得：

$$m_2 g = (m_1 + m_2) a \quad (5)$$

在 (5) 式中，令  $M = m_1 + m_2$  代表系统质量， $F = m_2 g$  代表系统受的总外力，则得到：

$$F = Ma \quad (6)$$

实验中可先保持总质量  $M$  不变，改变外力  $F$ ，测出系统相应的加速度，若  $F_1/a_1$ ， $F_2/a_2$ ， $\dots$ ， $F_n/a_n$  各值在误差范围内皆等于质量  $M$ ；然后保持外力  $F$  不变，改变系统总质量，测得  $M_1 a_1'$ ， $M_2 a_2'$ ， $\dots$ ， $M_n a_n'$  在误差范围内皆等于外力  $F$ ，则式 (6) 得到验证。

#### 【实验内容】

##### 1. 匀速直线运动的观察及速度的测定

(1) 练习使用测时器。接通 220V 电源，打开电源开关，电源指示灯亮，并出现 HELLO 显示，此时按选择键应出现：1pr，以后每按一次选择键应分别出现 2pr, 3-v, 4-v, 5A, 6pd, 7Fr, 8cc, 9EV, 再按选择键一次又回到 HELLO。以上显示表示分别进入测时器的九种功能，当执行功能①~⑦时，前面板右下角的功能键必须置于弹出状态，而执行⑧、⑨功能时，此键置于按下状态。本实验使用的选择键是 4-V，进入 4-V 显示后，按执行键，屏幕出现 2.00 提示，表示必须使用宽度为 2.00cm 的开口挡光片。（如想不使用 2cm 挡光片，还可使用 2.2cm, 2.4cm 等多种规格的标准挡光片，只需再按选择键便可依次选择上述几种规格的挡光片，以便求出滑块的平均速度）。选择好挡光片宽度后按执行键进入测速，显示消失，等待第二次挡光后，屏幕显示测得速度  $v_1$ ，按选择键可显示  $v_2$ ，此时再按执行键，又重复上述测速动作。

(2) 将导轨面及滑块内表面用酒精棉擦干净，把滑块放在导轨上，打开导轨端部的开气阀，待导轨充气后，滑块应在导轨表面漂浮自如。

(3) 调节导轨水平。使二光电门相距 60-70cm，距轨端大体相同，开始供气，调节底脚螺旋，使滑块能停在二光电门中间处静止（粗调），然后将滑块从导轨一端用手轻推，测出滑块通过二光电门的速度  $v_1$ ， $v_2$ ，同时仔细微调导轨支持螺钉，直至测时器上的两个读数大致相等为止（一般  $v_1$ ， $v_2$  的相对差异小于 1% 即可）。

(4) 导轨调平后，给滑块一初速度，分别记下滑块遮光板经过两光电门的速度  $v_1$ ， $v_2$ ，然后填入数据表 1（速度单位为 mm/s）。

##### 2. 测量滑块在斜面上运动的加速度

(1) 在进气阀一端的调节螺钉下放置  $h=10.0\text{mm}$  的垫块，将两光电门之间的距离调节为  $s=70.0\text{cm}$ ，使滑块从导轨的某一位置下滑，分别记下滑块经过两光电门的加速度  $a$ ，重复三次。

加速度的测量是选择进入 5A 功能，当显示 5A 后，按执行键显示 2.00，亦可如前操作选择其它挡光片宽度，再按执行键，显示消失，等待光电门 A 和 B 的二次挡光。二次挡光后，出现数据显示： $v_2$ ，按选择键显示  $v_1$ ，再按选择键又交替显示  $v_2$ ， $v_1$ ，按执行键则显示  $a$ ，（该键按后，则  $v_2$ ， $v_1$  值清除） $a$  的单位  $\text{mm/s}^2$ 。

(2) 将  $h=10.0\text{mm}$  的斜度垫块改为  $h=20.0\text{mm}$  的斜度垫块，调整两光电门的距离  $s=80.0\text{cm}$ ，重复三次。

将上述测量数据列入表 2 中，将测得的加速度和当地重力加速度沿斜面的分量进行比较，求出相对百分差。

### 3. 验证牛顿第二定律

(1) 恢复导轨成水平位置，用细线跨过气垫滑轮，把滑块和质量为  $5.00\text{g}$  的砝码盘连起来，如图 1，并把要加的四个质量各为  $5.00\text{g}$  的砝码放在滑块之上。

(2) 调整两光电门之间的距离  $s=50.0\text{cm}$ ，砝码盘不加砝码时，系统受外力  $F$ （砝码盘的自重），将滑块从进气阀一端自由下滑，分别测出滑块遮光板经过两光电门的  $a$ ，重复三次。

(3) 依次从滑块上取出一个砝码放入砝码盘中，分别测出系统在不同外力作用下所获得的加速度  $a$ 。以上数值填入表 3。

(4) 将滑块换为质量较大的滑块，在砝码盘中只放一个  $5.00\text{g}$  的砝码，其它条件不变，重复测量三次。将数据填入表 4。

(5) 用物理天平分别称出滑块与大滑块的质量。

(6) 关闭测时器，将仪器整理复原。

### 【数据处理】

#### 1. 滑块在气轨上匀速运动

表 1

		$v_1(\text{cm s}^{-1})$	$v_2(\text{cm s}^{-1})$	$\Delta v(\text{cm s}^{-1})$
向左	1			
	2			
向右	1			
	2			

#### 2. 滑块在斜面上运动的加速度（重力加速度为 $9.78\text{ms}^{-2}$ ）

表 2

$h$ (m)	$s(\text{cm})$	$v_1$ ( $\text{cm s}^{-1}$ )	$v_2$ ( $\text{cm s}^{-1}$ )	$a$ ( $\text{cm s}^{-2}$ )	$\bar{a}(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	理论值 $a=gh/x$	百分差
1.00	70.0						
2.00	80.0						

3. 验证物体质量不变时，物体加速度与所受外力成正比。（见表 3）

4. 验证物体所受外力不变时，物体的加速度与质量的成反比。（见表 4）

根据表 3 中数据在坐标纸上画出  $F$ - $a$  图线，并求出其斜率。该斜率的物理意义是什么？

表 3

所加砝码 质量 (g)	$v_1(\text{cm s}^{-1})$	$v_2(\text{cm s}^{-1})$	$a(\text{cm s}^{-2})$	$\bar{a}(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	检验数据的 线性关系
5.00					

10.0					$\bar{a}_2 - \bar{a}_1 =$
15.0					$\bar{a}_3 - \bar{a}_2 =$
20.0					$\bar{a}_4 - \bar{a}_3 =$
25.0					$\bar{a}_5 - \bar{a}_4 =$

表 4

$m_e(\text{g})$	$m(\text{g})$	$v_1(\text{cm s}^{-1})$	$v_2(\text{cm s}^{-1})$	$a(\text{cm s}^{-2})$	$\bar{a}(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$
	$M+m_e+10.00$				
	$M_{\text{大}}+m_e+10.00$				
所测得的实验数据的相对百分差			$M/M_{\text{大}}$		

## 【思考题】

1. 式 (6) 中的质量  $M$  是哪几个物体的质量? 作用在  $M$  上的作用力  $F$  是什么力?
2. 量滑块沿斜面下滑的加速度时, 保将垫块高度一定, 若每次开始下滑的位置不同或改用质量不同的滑块, 对测量的加速度有无影响, 为什么?
3. 在测量中验证物体质量不变时, 物体的加速度与外力成正比时, 为什么把实验过程中用的砝码放在测块上?