

# 气轨测量加速度的研究

物理教研室 黄世益

## 摘 要

本文介绍在普通物理实验中测量加速度的一种精确方法。详细介绍了用气轨测量加速度的理论基础。研究了滑块宽度对测量结果的影响；在实验的基础上提出在现有装置条件下的测量条件。测量出我校所在地区的重力加速度为 $9.769$ 米/秒<sup>2</sup>，它和标准值相差 $0.23\%$ 。

气垫导轨是一种力学实验仪器，它可作多种实验测量。它的主要特点是平直的导轨表面和滑块之间形成一薄的空气垫层，利用这空气垫层作为润滑剂，减小摩擦力，使滑块成为“无摩擦”的运动，从而获得良好的实验效果。

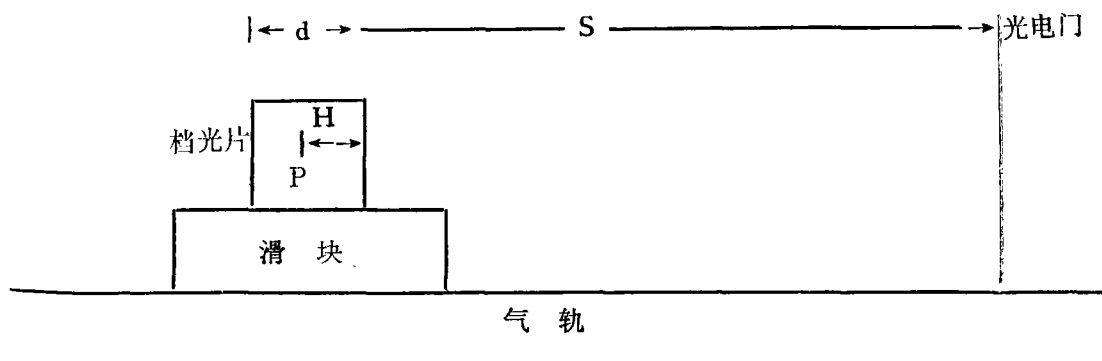
本文的目的是从理论上推导出对有一定宽度的挡光片时，求加速度的修正公式，通过实验研究了滑块宽度对测量法结果的影响，为实验测量提供了理论依据，通过测量给出我校所在地区的重力加速度数值。

## 一、挡光片平均速度的物理含意

我们在实验测量中只能直接测量挡光片的平均速度，而无法直接测量挡光片的瞬时速度，另外挡光片有一定的宽度，它在运动过程中不能视为质点，因此，质点的运动学公式不能直接用于滑块加速度的计算。为了将挡光片在一定的条件下视为质点，必须将挡光片的平均速度给予确切的物理含意。

设滑块在起始位置时，挡光片的前沿距光电门为 $S$ ，挡光片的宽度为 $d$ 。当光滑块从静止开始以加速度 $a$ 运动时，前沿到达光电门的时刻为 $t_1$ ，后沿到达的时刻为 $t_2$ 。滑块通过光电门时，算字毫秒计（S挡）上显示的挡光片遮光时间 $t$ 应等于 $t_2 - t_1$ ，测出挡光片宽度 $d$ ，则挡光片过光电门的平均速度： $V = d/t$ 。

本文于1984年10月26日收到



通过分析，挡光片的平均速度具有以下两个方面的物理含意：

1. 它可理解成挡光片上某点P通过光电门的瞬时速度。
2. 它可理解成挡光片在某一时刻的瞬时速度。这时挡光片上各点的速度都相同，虽然挡光片有一定的宽度，但从速度的角度来考虑，它可视为一个质点。

在上述的两个方面的物理含意中，我们将挡光片的平均速度和某一点通过光电门的瞬时速度或某一时刻滑块的瞬时速度联系起来，这样考虑的原因在以后的讨论中就显出它的桥梁作用。下面就讨论它们之间的关系式：

(一) 挡光片通过光电门的平均速度可等效于距前沿距离为H的P点通过光电门的瞬时速度。

设P点从静止以加速度a向光电门运动，根据质点运动学公式：

$$\left. \begin{aligned} V^2 &= 2a(S+H); \\ V &= \frac{d}{t_2 - t_1}; \\ S &= \frac{1}{2}at_1^2; \\ S+d &= \frac{1}{2}at_2^2. \end{aligned} \right\}$$

解得

$$H = \frac{d^2 - 4S}{4[d - 2(\sqrt{S(S+d)} - S)]} \quad (1)$$

式中V是P点通过光电门的瞬时速度。从(1)式看到，P点的位置是S和d的函数，而与加速度无关。

(二) 挡光片经过光电门的平均速度可等效于挡光片在某一时刻T的瞬时速度。

根据运动学公式有：

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= at_1; \\ V_2 &= at_2; \\ V &= \frac{1}{2}(V_1 + V_2). \end{aligned} \right\}$$

解得

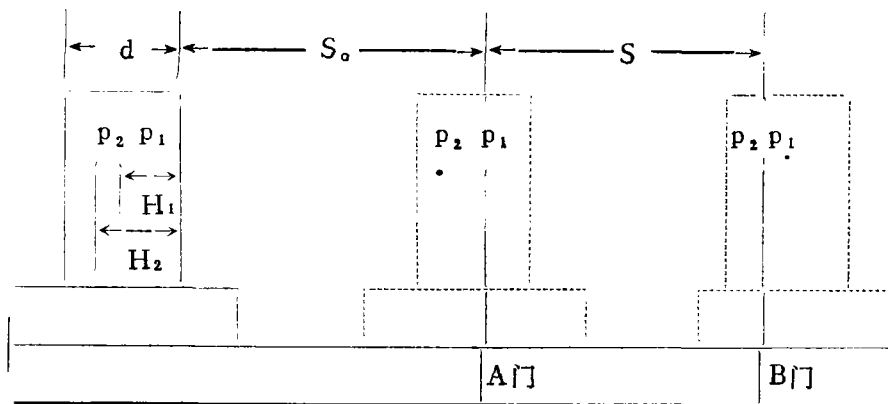
$$V = \frac{1}{2} a(t_2 + t_1) = aT$$

$$\therefore T = \frac{1}{2} (t_2 + t_1) \quad (2)$$

式中  $V_1$  表示滑块档光片前沿经过光电门的瞬时速度， $V_2$  表示后沿经过光电门的瞬时速度。  
(2) 式表示档光片通过光电门的平均速度，相当于档光片在  $T$  时刻的瞬时速度。

## 二、滑块加速度的计算公式

测量滑块加速度的实验装置如图：



滑块加速度测量装置

设档光片前沿到达A、B、光电门的时刻分别为  $t_1$ 、 $t_3$ ，档光片后沿到达A、B门的时刻分别为  $t_2$ 、 $t_4$ ，档光片前沿从A门到B门的时间为  $t$ ，A门和B门之间的距离为  $S$ ，档光片前沿距A门距离为  $S_0$ 。

按照质点作匀加速直线运动的基本公式有：

$$a = \frac{V_B^2 - V_A^2}{2S} \quad (3)$$

$$a = \frac{V_B - V_A}{t} \quad (4)$$

式中  $V_A$ 、 $V_B$  分别表示挡光片通过A、B门的平均速度，上述公式对质点的运动才成立，但对有一定宽度的挡光片是不适用的，但必须推出相应的计算公式。

从(1)式出发我们可以得到和(3)式相应的公式。我们应将(3)式中的  $V_A$  理解为质点  $P_1$  ( $H_1$ ) 经过光电门A的瞬时速度， $V_B$  理解为质点  $P_2$  ( $H_2$ ) 经过光电门B的瞬时速度。质点  $P_1$  和  $P_2$  在此过程中通过的距离不是  $S$  而是  $S + (H_2 - H_1)$ 。

应用(1)式, 计算出 $H_1$ 、 $H_2$ , 代入得

$$a = \frac{2}{\left[ \frac{1}{\sqrt{S_0 + S + d} - \sqrt{S_0 + S}} \right]^2 - \left[ \frac{1}{\sqrt{S_0 + d} - \sqrt{S_0}} \right]^2} \left[ \frac{1}{t_B^2} - \frac{1}{t_A^2} \right] \quad (5)$$

式中 $t_A$ 、 $t_B$ 为挡光片通过A、B门的遮光时间。

从(2)式出发我们可得到和(4)式相应的公式, 在(4)式中 $V_A$ 是挡光片在 $\frac{1}{2}(t_1 + t_2)$ 时刻的瞬时速度,  $V_B$ 是挡光片在 $\frac{1}{2}(t_3 + t_4)$ 时刻的瞬时速度, 视为质点的挡光片从速度 $V_A$ 变化到 $V_B$ 的时间为:

$$t = \frac{1}{2}(t_3 + t_4) - \frac{1}{2}(t_1 + t_2)$$

设 $T$ 为挡光片前沿从A门到B门所需的时间 $T = t_3 - t_1$ ,

$$t_A = t_2 - t_1, \quad t_B = t_4 - t_3$$

$$\text{则有} \quad t = T - \frac{1}{2}(t_A - t_B)$$

将 $t$ 代入(4)式得

$$a = \frac{2d}{2T + t_B - t_A} \left[ \frac{1}{t_B^2} - \frac{1}{t_A^2} \right] \quad (6)$$

公式(5)、(6)是适用于有一定宽度挡光片滑块加速度的计算公式。

### 三、滑块加速度测定条件的确定

从(5)、(6)两式可看出加速度和 $d$ 、 $S_0$ 、 $S$ 的取值有关, 为了给出较好的结果, 必须合理确定实验条件。我们使用的气轨是武汉大学的产品, 气源采用上海出产的吸尘器, 该仪器性能一般。测量中挡光片的宽度用三组进行比较实验, 测定结果如下:

组次	d(cm)	S(cm)	S <sub>0</sub> (cm)	t <sub>A</sub> (S)	t <sub>B</sub> (S)	T(S)	a(cm)/S <sup>2</sup> )	
							公式(6)	公式(5)
一	2.438	60.00	32.476	0.063	0.038	1.221	21.2	21.9
			22.476	0.077	0.041	1.365	20.7	21.2
			12.476	0.100	0.043	1.584	20.5	21.4
			平均				20.8±0.3	21.5±0.3
二	3.892	60.00	32.554	0.101	0.062	1.221	20.4	20.8
			22.554	0.120	0.066	1.366	20.0	20.5
			12.554	0.156	0.070	1.584	20.1	20.8
			平均				20.2±0.2	20.7±0.2
三	4.882	60.00	32.493	0.126	0.077	1.222	20.6	21.0
			22.493	0.150	0.081	1.368	20.7	21.3
			12.493	0.193	0.087	1.582	20.3	21.1
			平均				20.5±0.2	21.1±0.1

#### 实验结果的分析

1. 在三组实验测量结果中,有一个共同的特点:应用公式(6)的计算结果较应用公式(5)的结果为小,分析原因如下,在公式(5)和(6)的明显区别是公式(6)中含有T这一项,T的数值和路程S有关系,滑块在路程S的过程中可能受空气垫层和气流阻力致使T值增大,而造成a值偏小。因此,我们认为选用公式(5)所得结果更接近真实值。

2. d值小时误差较大。

3. 第三组测量结果较理想。

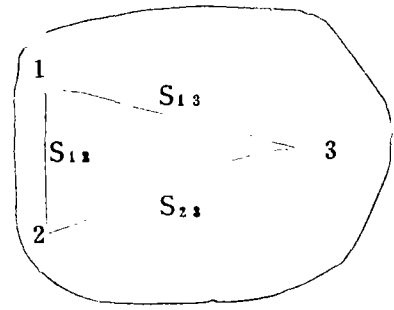
为此,我们建议在实验测量中选取如下的参数,挡光片宽度d在4.5厘米左右;S<sub>0</sub>的范围在25—35厘米;S的范围在60厘米左右。

#### 四,重力加速度的测量值

测量数据:

一、气轨三个垫脚螺丝底座间的距离

距离 (cm)	测量次数			平均值
	1	2	3	
$S_{13}$	114.05	114.05	114.02	114.04
$S_{23}$	114.62	114.60	114.64	114.62
$S_{12}$	17.40	17.41	17.40	17.40



二、气轨二端的高度差  $h$  cm

测量次数	1	2	3	平均值
$h$ (cm)	2.458	2.460	2.472	2.463

在上述条件下其理论值为  $21.15 \text{ cm/S}^2$ ，而实验值为  $21.1 \text{ cm/S}^2$ ，若换算出重力加速度的实验值为  $9.769 \text{ m/S}^2$ ，而南昌地区的标准值为  $9.7920 \text{ m/S}^2$ 。