

NSCD01 磁悬浮动力学实验仪（触摸屏式）



【产品概述】

本实验仪可通过砝码拉小车和构成斜面等两种方法探索牛顿第二运动定律的建立，考察动能定理。

通过实验，学生可以接触到磁悬浮的物理思想和技术，拓宽其知识面，加深牛顿定律、动能定理等动力学的感性知识。

【基础操作】

通用计数器操作说明



图 1 通用计数器主界面

操作

一〉加速度测量

线速度加速度测量使用传感器 1 和传感器 2，并按照如下图示意位置布置，实验开始前输入小车挡光片间距，输入范围为 0-99mm，通过时间 ΔT_1 、 ΔT_2 和 ΔT_3 测量范围为 0-999,999,999us，速度 V_1 、 V_2 范围为 0-999.999cm/s，加速度 a 范围为 0-999.999cm/s²。

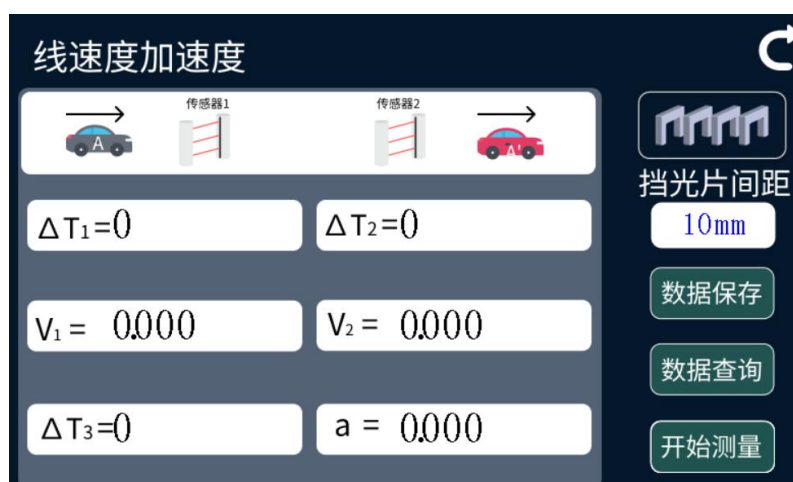


图 2 线速度加速度界面

设置好小车挡光片间距后，将小车放在传感器 1 外侧，小车依次经过传感器 1 和传感器 2 后，可得到小车经过两光电门的瞬时速度以及平均加速度，其原理如下图。

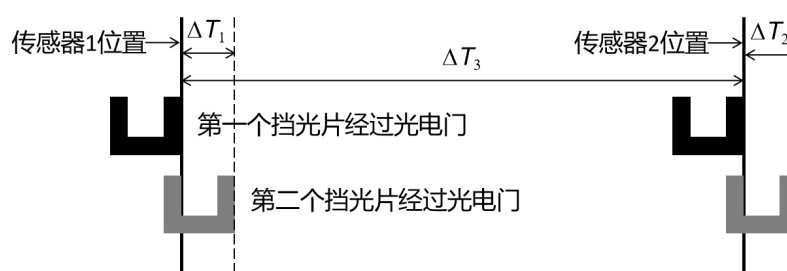


图 3 测速度和加速度原理示意图

在实验导轨上相隔一定距离安装两个光电门（见图 3），小车上安装有双挡光片，当小车经过传感器 1 时，共有两个挡光片经过光电门，第一个挡光片与第二个挡光片经过的时间差为 ΔT_1 ；当小车经过传感器 2 时，第一个挡光片与第二个挡光片经过的时间差为 ΔT_2 ；小车从传感器 1 位置运动到传感器 2 位置的时间差为 ΔT_3 ；由于挡光片间距较小，把小车上两个挡光片经过光电门的平均速度看作小车经过光电门的瞬时速度，则小车经过光电门 1 和 2 的瞬时速度分

别为

$$v_1 = \frac{\Delta x}{\Delta T_1} \quad (1)$$

$$v_2 = \frac{\Delta x}{\Delta T_2} \quad (2)$$

把小车上第一个挡光片经过光电门 1 和 2 的时间间隔作为小车经过光电门 1 和 2 的时间，
则小车的加速度为

$$a = \frac{v_2 - v_1}{\Delta T_3} \quad (3)$$

二) 碰撞测量

碰撞测量分为 12 种碰撞模式，可点击 “+” 、 “-” 切换，也可通过屏幕键盘输入。挡光片
间距 d_A 、 d_B 输入范围为 0-99mm，通过时间 ΔT_{A1} 、 ΔT_{A2} 、 ΔT_{B1} 和 ΔT_{B2} 范围为 0-999,999,999us，
速度 V_{A1} 、 V_{A2} 、 V_{B1} 、 V_{B2} 范围为 0-999.999cm/s，

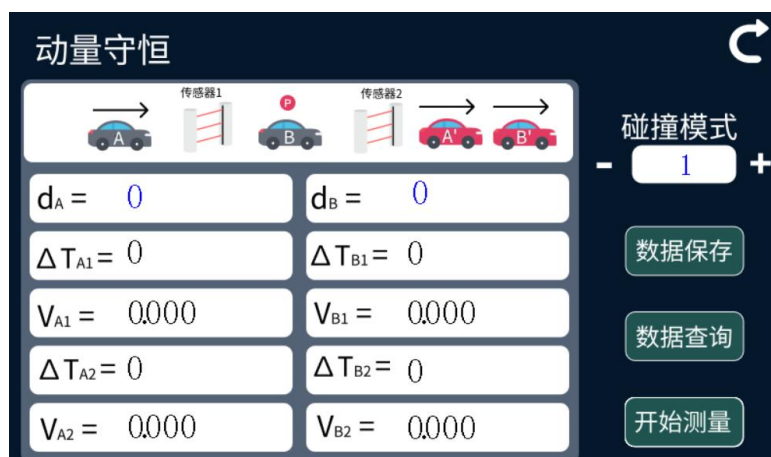


图 4 动量守恒界面

碰撞测量实验操作基本与加速度相同，在设置好两个小车的挡光片间距后，选择需要进行
的碰撞模式，按照屏幕上方示意图将小车进行摆放，示意图中蓝色小车前方的箭头 “→” 表示
小车即将进行的运动方向，箭头 “ ” 表示小车初始状态为静止，灰色小车表示碰撞之后的最终
运动状态。点击 “开始测量”，小车从初始状态运动到最终状态后完成测量，可得到小车经过

光电门的瞬时速度。

其中， V_{A1} 、 V_{A2} 分别是小车 A 第一次和第二次经过光电门的瞬时速度， V_{B1} 、 V_{B2} 分别是小车 B 第一次和第二次经过光电门的瞬时速度，若小车在某种碰撞模式下只经过一次光电门，则 V_{A2} 或 V_{B2} 显示为 0，只显示经过光电门时测得的数据。

实验一 动力学基础实验（砝码加力法）

随着科技的发展，磁悬浮技术的应用成为技术进步的热点，例如磁悬浮列车。永磁悬浮技术作为一种低耗能的磁悬浮技术，也受到了广泛关注。本实验使用的永磁悬浮技术，是在磁悬导轨与滑块两组带状磁场的相互作用斥力之下，使磁悬滑块浮起来，从而减少了运动的阻力，来进行多种力学实验。通过实验，学生可以接触到磁悬浮的物理思想和技术，拓宽知识面，加深牛顿定律等动力学方面的感性知识。

本实验仪通过滑块的运动可研究直线匀变速运动规律，加速度测量的误差消除，物体所受外力与加速度的关系等。

【实验目的】

1. 学习导轨的水平调整，熟悉磁悬导轨和通用计数器的调整和使用；
2. 学习矢量分解；
3. 学习作图法处理实验数据，掌握匀变速直线运动规律；
4. 探索牛顿第二定律，加深物体运动时所受外力与加速度的关系；
5. 测量重力加速度 g ，并学习消减系统误差的方法。

【实验原理】

1. 瞬时速度的测量

一个作直线运动的物体，在 Δt 时间内，物体经过的位移为 Δs ，则该物体在 Δt 时间内的平均速度为

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

为了精确地描述物体在某点的实际速度，应该把时间 Δt 取得越小越好， Δt 越小，所求得平均速度越接近实际速度。当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时，平均速度趋近于一个极限，即

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{v} \quad (2)$$

这就是物体在该点的瞬时速度。

但在实验时，直接用上式来测量某点的瞬时速度是极其困难的，因此，一般在一定误差范围内，且适当修正时间间隔（见图 1-5、1-6），可以用历时极短的 Δt 内的平均速度近似地代替瞬时速度。

2. 匀变速直线运动

如图 1-1 所示，光滑平面上的小车 M，在质量为 m 的砝码带动下，若忽略空气阻力的情况下，可视作匀变速直线运动。匀变速直线运动的速度公式、位移公式、速度和位移的关系分别为：

$$v_t = v_0 + at \quad (3)$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (4)$$

$$v^2 = v_0^2 + 2as \quad (5)$$

如图 1-2 所示，物体从同一位置 P 处静止开始下滑，在不同位置 $P_0, P_1, P_2 \dots$ 处，用通用计数器测量 $t_0, t_1, t_2 \dots$ 和速度为 $v_0, v_1, v_2 \dots$ 。以 t 为横坐标， v 为纵坐标作 $v-t$ 图，如果图线是一条直线，则证明该物体所作的是匀变速直线运动，其图线的斜率即为加速度 a ，截距为 v_0 。

同样取 $s_i = P_i - P_{i-1}$ ，作 $\frac{s}{t} - t$ 图和 $v^2 - s$ 图，若为直线，也证明物体所作的是匀变速直线运动，两图线斜率分别为 $\frac{1}{2}a$ 和 $2a$ ，截距分别为 v_0 和 v_0^2 。

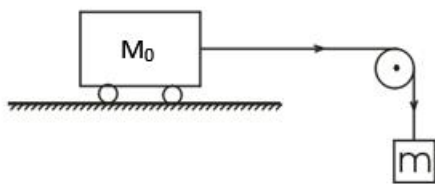


图 1-1

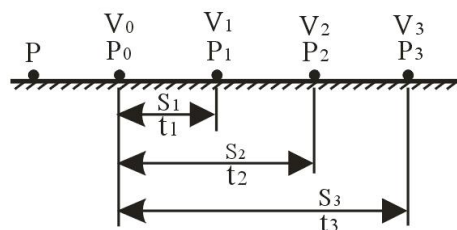


图 1-2

实际小车在磁悬浮导轨中运动时，由于所受磁力非平衡态，小车对导轨有侧压力存在，运行过程中会受到滚动摩擦力的影响。

3. 系统总质量 ($M=M_0+m$) 保持不变，改变系统所受外力，考察加速度 a 和外力 F 的关系

如图 1-1 所示，使砝码质量分别为 m_1 、 m_2 、 m_3 ……，测出小车运动时对应的加速度 a_1 、 a_2 、 a_3 ……作 $a-F$ 曲线并拟合直线图，验证线性关系并求出斜率 k 。

由于 $k = \frac{1}{M}$ ，即可求得 $M = \frac{1}{k}$ ，与实际值进行比较，求出相对误差。

4. 重力加速度 g 的测定

已知小车质量为 M_0 ，小车所受的砝码拉力 $F=mg$ ，假定小车所受摩擦力为 f 。

根据 $F-f=Ma$ ， M 为系统总质量，即：

$$mg-f=Ma \quad (6)$$

改变砝码质量 m ，测量小车对应的加速度 a 如下：

$$m_1g-f=Ma_1 \quad (7)$$

$$m_2g-f=Ma_2 \quad (8)$$

$$m_3g-f=Ma_3 \quad (9)$$

...

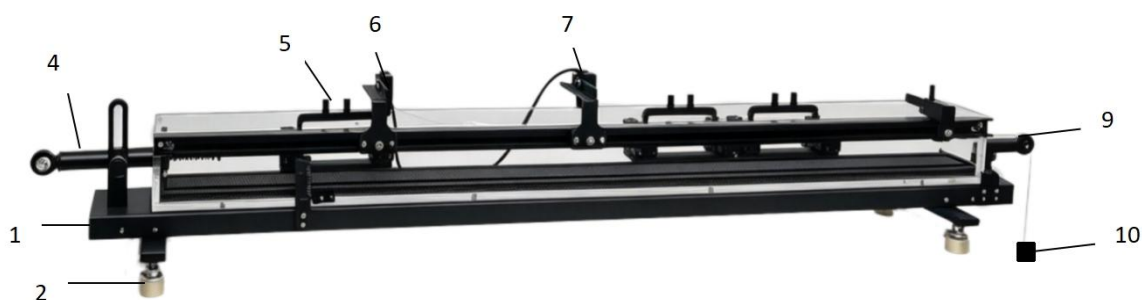
根据上述数据以 a 为 y 轴，以 m 为 x 轴，作 $a-m$ 曲线图，并对曲线进行线性拟合得到直线斜率 k ，则重力加速度 $g=Mk$ 。

将测量的重力加速度与理论值进行比较，求出相对误差。

【实验仪器】

1. 磁悬浮原理

磁悬浮实验装置如图 1-3 所示，磁悬浮导轨实际上是一个槽轨，长约 1.2 米，在槽轨底部中心轴线嵌入钕铁硼（NdFeB）磁钢，在其上方的小车滑块底部也嵌入磁钢，形成两组带状磁场。由于磁场极性相反，上下之间产生斥力，滑块处于非平衡状态。为使小车滑块悬浮在导轨上运行，采用了槽轨，小车滑块将对槽轨产生侧压力，因此小车运行过程中会受到滚动摩擦力的影响。



产品结构图三维

1. 基板 2.水平调节螺钉 3. 导轨 4. 弹射器(用于碰撞实验时提供小车初始动能) 5. 磁浮小车滑块 6. 光电门 I 7.光电门 II 9.滑轮 10.砝码

图 1-3 磁悬浮实验装置

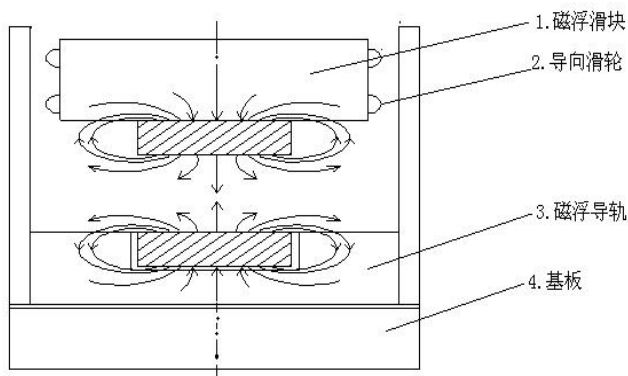


图 1-4 磁悬浮导轨截面图

2. 仪器使用

线速度加速度测量使用传感器 1 和传感器 2，并按照如下图示意位置布置，实验开始前输入小车挡光片间距，输入范围为 0-99mm，通过时间 ΔT_1 、 ΔT_2 和 ΔT_3 测量范围为 0-999,999,999us，速度 V_1 、 V_2 范围为 0-999.999cm/s，加速度 a 范围为 0-999.999cm/s²。

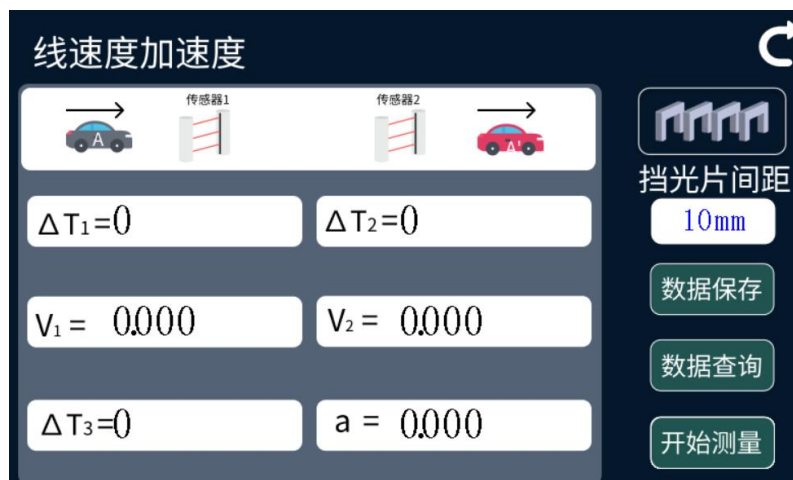


图 3 线速度加速度界面

设置好小车挡光片间距后，将小车放在传感器 1 外侧，小车依次经过传感器 1 和传感器 2 后，可得到小车经过两光电门的瞬时速度以及平均加速度，其原理如下图。

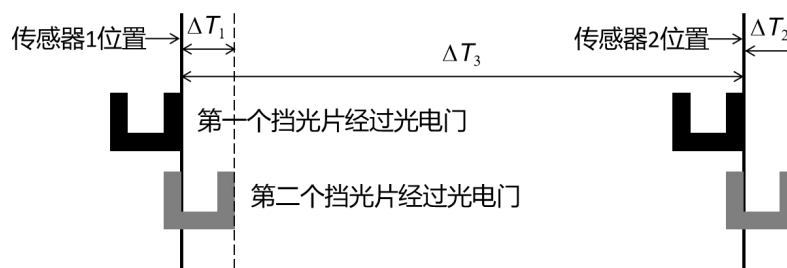


图 4 测速度和加速度原理示意图

在实验导轨上相隔一定距离安装两个光电门（见图 4），小车上安装有双挡光片，当小车经过传感器 1 时，共有两个挡光片经过光电门，第一个挡光片与第二个挡光片经过的时间差为 ΔT_1 ；当小车经过传感器 2 时，第一个挡光片与第二个挡光片经过的时间差为 ΔT_2 ；小车从传感器 1 位置运动到传感器 2 位置的时间差为 ΔT_3 ；由于挡光片间距较小，把小车上两个挡光片

过光电门的平均速度看作小车经过光电门的瞬时速度，则小车经过经过光电门 1 和 2 的瞬时速度分别为

$$v_1 = \frac{\Delta x}{\Delta T_1} \quad (1)$$

$$v_2 = \frac{\Delta x}{\Delta T_2} \quad (2)$$

把小车上第一个挡光片经过光电门 1 和 2 的时间间隔作为小车经过光电门 1 和 2 的时间，则小车的加速度为

$$a = \frac{v_2 - v_1}{\Delta T_3} \quad (3)$$

【实验内容】

1. 调节磁悬浮导轨的水平度，并检查通用计数器工作状态

1) 检查导轨上的第一光电门和第二光电门有否与通用计数器的光电门 1 和光电门 2 相连。

开启电源，检查通用计数器中数字显示的参数值是否与光电门挡光片的间距参数相符，否则仪器上必须修改为挡光片间距的真实测量值。

2) 调节磁浮导轨的水平状态。粗调：先调节导轨的横向水平：把两个水准仪分别放在两个底脚的横梁上，调底脚螺钉使两个水准仪横向同时水平；再调导轨的纵向水平：把第三个水准仪放在单脚上方，调单脚脚底螺钉，使水准仪水平，注意观察要使三个水准仪的气泡都在中央。细调：轻轻推动小车，观察小车经过光电门 1 和光电门 2 的时间或速度基本接近；亦可将小车放在导轨的任意处，小车都能静止不动，即可认为导轨已调水平。

2. 系统总质量 ($M=M_0+m$) 保持不变，改变系统所受外力，考察加速度 a 和外力 F 的关系。

按图 1-1，改变砝码质量 m ，分别测出小车从静止到运动时对应的加速度，重复测量 3 次，求得平均加速度 a ，计入表 1-1 中。

表 1-1 系统总质量 $M=$ _____ g ; 重力加速度 $g=$ _____ cm/s^2 (取当地值)

砝码质量 m (g)	外力 F=mg (g·cm/s ²)	加速度 a1 (cm/s ²)	加速度 a2 (cm/s ²)	加速度 a3 (cm/s ²)	加速度平均值 a (cm/s ²)

根据表中数据，作 $a - F$ 曲线并拟合直线图，验证线性关系并求出斜率 k 。

根据 $k = \frac{1}{M}$ ，即可求得 $M = \frac{1}{k}$ ，与实际值进行比较，求出相对误差。

3. 重力加速度 g 的测定

已知系统总质量 ($M = M_0 + m$) 保持不变，改变砝码 m 的大小，测量小车滑块运行时的加速度 a ，将数据计入表 1-2。

表 1-2 系统总质量 $M = \underline{\hspace{2cm}}$ g ；

砝码质量 m (g)	加速度 a1 (cm/s ²)	加速度 a2 (cm/s ²)	加速度 a3 (cm/s ²)	加速度 a4 (cm/s ²)	加速度 a5 (cm/s ²)	加速度 a 平 均值(cm/s ²)

根据表 1-2 数据，以 a 为 y 轴，以 m 为 x 轴，作 $a - m$ 曲线图，并对曲线进行线性拟合得到直线斜率 k ，则重力加速度 $g = Mk$ 。

将测量的重力加速度与理论值进行比较，求出相对误差。

求出小车运动时受到的摩擦力 f 。

【注意事项】

1. 称量磁浮小车滑块质量时, 请用非铁材料放于滑块下方, 防止磁铁与电子天平相互作用, 影响称量准确性。
2. 实验做完后, 磁浮滑块不可长时间放在导轨中, 防止滑轮被磁化。
3. 小车两侧各有四个滑轮, 很难保证四个滑轮都能紧靠轨道壁, 故在每次测量前调整小车处于相同的状态, 尽量使小车运动时所受摩擦力相同。

附录

1. 系统总质量 M 保持不变，改变系统所受外力，考察加速度 a 和外力 F 的关系

表 1 系统总质量 $M = 592.8 \text{ g}$; 重力加速度 $g = 9.793 \text{ m/s}^2$ (取当地值)

$m(\text{g})$	$F = mg$ (N)	$a \text{ (cm/s}^2\text{)}$						a 平均 值
14.952	0.1464	15.027	15.654	16.02	15.847	16.416	15.592	15.759
20.051	0.1964	25.414	24.955	24.973	24.937	24.52	23.918	24.786
25.105	0.2459	32.996	32.896	33.917	33.705	33.353	34.236	33.517
30.431	0.298	42.112	41.999	42.136	44.428	42.258	40.568	42.250
35.485	0.3475	50.896	49.451	50.423	50.993	50.922	50.595	50.547
40.584	0.3974	58.602	58.2	59.8	59.192	59.19	59.807	59.132
45.638	0.4469	65.685	65.589	65.026	64.445	65.583	65.562	65.315

根据表 1 中数据，作 $a - F$ 曲线并拟合直线，如图 1 所示

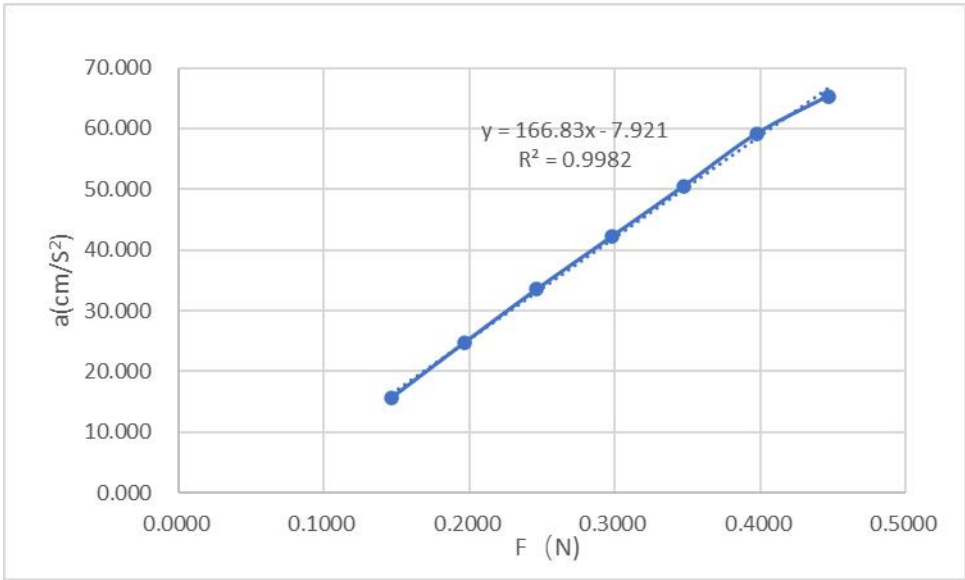


图 1. $a - F$ 曲线

从图中可以看出 $a - F$ 成线性关系，从而验证了牛顿第二定律。

根据 $k = \frac{1}{M}$ ，即可求得系统总质量 $M = \frac{1}{k} = \frac{100}{166.83} \text{ kg} = 599.4 \text{ g}$ ；

与系统实际总质量之间的百分比误差为： $E_A = \frac{599.4 - 592.8}{592.8} \times 100\% = 1.1\%$

误差来源：实际称得的质量 M ，忽略了滑轮定轴转动时的有效质量和细绳的质量。

2. 重力加速度 g 的测定

已知系统总质量为 M ，改变砝码的大小，测量小车滑块运行时的加速度 a ，将数据计入表

2。

表 2 系统总质量质量 $M_1 = \underline{592.8} \text{ g}$ ；

$m(\text{g})$	$a \text{ (cm/s}^2\text{)}$						a 平均值
14.952	15.027	15.654	16.02	15.847	16.416	15.592	15.759
20.051	25.414	24.955	24.973	24.937	24.52	23.918	24.786
25.105	32.996	32.896	33.917	33.705	33.353	34.236	33.517
30.431	42.112	41.999	42.136	44.428	42.258	40.568	42.250
35.485	50.896	49.451	50.423	50.993	50.922	50.595	50.547
40.584	58.602	58.2	59.8	59.192	59.19	59.807	59.132
45.638	65.685	65.589	65.026	64.445	65.583	65.562	65.315

根据表 2，以 a 为 y 轴，以 m 为 x 轴，作 a - m 曲线图，并对曲线进行线性拟合如图 2 所示。

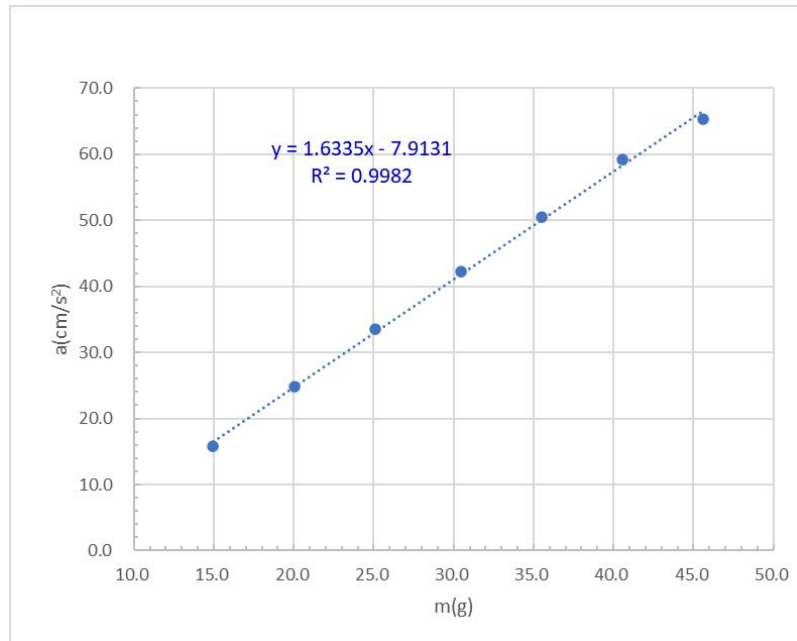


图 2. a-m 曲线图

由直线斜率 k 求得重力加速度 g ，截距 b 求得小车滑动所受摩擦力 f ，列于表 3 中。

表 3

系统总 $M(g)$	斜率 k	$g(cm/s^2)$	$g_0(cm/s^2)$	$E(\%)$	截距 b	$f(N)$
592.8	1.6335	968.3	979.3	1.1%	7.9131	0.047

实验二 碰撞 (Z、N) 设计性实验 (选做)

碰撞问题，在历史上曾是科学界共同关心的课题，惠更斯、牛顿等科学家先后曾作过系统的研究，总结了碰撞规律，牛顿正是在碰撞定律基础上提出作用反作用定律，碰撞定律同样适用于微观领域和现实生活：如汽车等。

【实验目的】

1. 观察系统中物体间的各种形式的碰撞，考察动量守恒定律。
2. 观察碰撞过程中系统动能的变化情况，分析实验中的碰撞是属于哪种类型的碰撞。

【实验原理】

验证动量守恒定律

设有两物，其质量各为 m_1 和 m_2 ，碰撞前的速度各为 $\vec{v}_{01}$ 和 $\vec{v}_{02}$ ，碰撞后的速度各为 $\vec{v}_{11}$ 和 $\vec{v}_{12}$ 而且在碰撞的瞬间，此二物体构成的系统，在所考察的速度方向上不受外力的作用或所受的外力远小于碰撞时物体间的相互作用力，则根据动量守恒定律，系统在碰撞前的总动量等于碰撞后的总动量。即：

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = m_1 \vec{v}_{11} + m_2 \vec{v}_{12} \quad (1)$$

完全弹性碰撞 完全弹性碰撞的特点是碰撞前后系统的动量守恒，机械能也守恒。实验时，在两滑块相碰端装有弹性极好的缓冲弹簧片，滑块相碰时缓冲弹簧片先发生弹性变形而又迅速恢复原状，并将滑块弹开，系统机械能近似无损失。碰撞前后总动能保持不变，即

$$\frac{1}{2} m_1 v_{01}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{02}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{11}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{12}^2 \quad (2)$$

当取 $v_{02}=0$ 时，由式(1)、式(2)可得碰撞前后速度关系为

$$v_{11} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{01} \quad (3)$$

$$v_{12} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{01} \quad (4)$$

完全非弹性碰撞 完全非弹性碰撞的特点是两滑块碰撞后粘在一起以相同速度运动。两滑块在碰撞前后系统的动量守恒，但机械能不守恒。设碰撞后两滑块的共同速度为 v ，则

$$m_1 v_{01} + m_2 v_{02} = (m_1 + m_2) v \quad (5)$$

当取 $v_{02}=0$ 时，则有

$$v = \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_{01} \quad (6)$$

恢复系数： 相互碰撞的两物体，碰撞后的相对速度和碰撞前的相对速度之比，称为恢复系数，用符号 e 表示。

$$e = \frac{v_{12} - v_{11}}{v_{01} - v_{02}} \quad (7)$$

通常可以根据恢复系数对碰撞进行如下分类：

- 1) . $e=1$ ，即 $v_{12}-v_{11}=v_{01}-v_{02}$ ，碰撞过程中没有机械能损失，系统的总动能保持不变，称为 **“完全弹性碰撞”**。
- 2) . $e=0$ ，即 $v_{12}=v_{11}$ ，碰撞后两物体连接在一起运动，即两物体在碰撞后的速度相等，称为 **“完全非弹性碰撞”**
- 3) . $0<e<1$ ，碰撞过程中有机械能损失，系统碰撞后的动能小于碰撞前的动能，称为 **“非完全弹性碰撞”**。

碰撞形式可以多种多样，就是在导轨上也可以有相对碰撞和尾随碰撞， $\vec{v}_{01}$ 和 $\vec{v}_{02}$ 速度方向可以相反亦也可以相同， $\vec{v}_{11}$ 和 $\vec{v}_{12}$ 亦是如此， v_{01} 亦也可以为零。

设碰撞后和碰撞前动能之比为 R ，即

$$R = \frac{\frac{1}{2} m_1 v_{11}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{12}^2}{\frac{1}{2} m_1 v_{01}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{02}^2} \quad (8)$$

推导可得：

$$R = \frac{m_1 + m_2 e^2}{m_1 + m_2} \tag{9}$$

从式(9)仍可看出，只有当 $e=1$ 时，动能才守恒。当 $e=0$ 时， $R = 1/(1 + e^2)$ ，若取 $e = 1$ ，则 $R = 1/2$ 。由式(9)可知，当由实验求出恢复系数 e ，就可以算出碰撞中的能量损失。

【实验装置及设计内容】

本实验是在磁悬浮导轨上进行，有关实验装置的结构、原理和使用方法请参照实验一中的有关部分。提供三辆滑块；一辆滑块是一头装有弹簧；一辆滑块装有粘性尼龙毛，一辆滑块装有粘性尼龙刺。

在磁悬浮导轨实验装置中，如图 2-1 所示，放置了质量基本相同的磁悬浮滑块两只（A、B）。

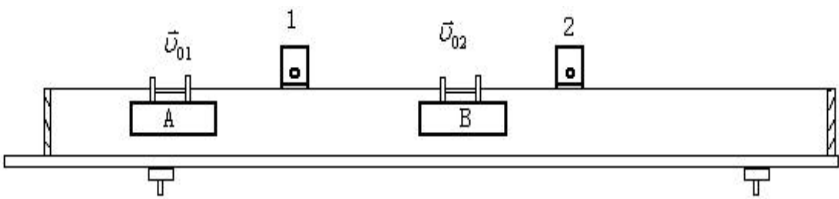


图 2-1

当两磁浮滑块在水平的导轨上沿着直线对心碰撞时，除了受到碰撞时彼此相互作用的内力外，磁浮滑块在运动过程中会受到阻力的影响，因此可在磁悬浮导轨实验装置上研究弹性碰撞、非弹性碰撞的内容：其中有碰撞、相对碰撞和尾随碰撞。

两磁浮滑块在碰撞前后的速度方向可有 12 类的类型，见表一。表中的内容与实验通用计数器的操作、设置模式相同。

表一：实验设置模式及操作方法

模 式	初始状态	结束状态
--------	------	------

1	A 位于光电门 1 左侧向右运动, B 静止于两光电门之间	A 过光电门 1 光电门 2 后向右运动 B 过光电门 2 后向右运动
2		A 过光电门 1 后折返向左运动 B 过光电门 2 后向右运动
3		A 过光电门 1 后静止在两光电门中间 B 过光电门 2 后向右运动
4	A 位于光电门 1 左侧向右运动, B 位于光电门 2 右侧向左运动	A 过光电门 1 光电门 2 后向右运动 B 过光电门 2 后折返向右运动
5		A 过光电门 1 后折返向左运动 B 过光电门 2 光电门 1 后向左运动
6		A 过光电门 1 后折返向左运动 B 过光电门 2 后折返向右运动
7		A 过光电门 1 后静止在两光电门中间 B 过光电门 2 后折返向右运动
8		A 过光电门 1 后折返向左运动 B 过光电门 2 后静止在两光电门中间
9		A 过光电门 1 后静止在两光电门中间 B 过光电门 2 后静止在两光电门中间
10	A 和 B 都位于光电门 1 左侧, A 撞击 B 后同时向右侧运动	A 过光电门 1 光电门 2 后向右运动 B 过光电门 1 光电门 2 后向右运动
11		A 过光电门 1 后折返向左运动 B 过光电门 1 光电门 2 后向右运动

12		A 过光电门 1 后静止在两光电门中间 B 过光电门 1 光电门 2 后向右运动
----	--	---

注：A、B 分别表示导轨中的滑块，通用计数器屏幕上的小车代表滑块。

【设计实验步骤和内容】

1. 深刻理解动能守恒定律。注意动量的矢量性和滑块在导轨上碰撞的标量表示式。

2. 设计出观察两等质量滑块间发生弹性碰撞的实验方案。

2.1 设计弹性碰撞的实验方案时，首先画出发生弹性碰撞实验的示意图。

2.2 注明两光电门位置，滑块放置的位置。

2.3 参照“表一的实验设置模式及操作方法”设定两悬浮滑块的发生弹性碰撞的各种可能的运动方向等。以及设计数据记录和处理的表格，表格中必须列入动量增量和动能增量及其相对变化值。

2.4 实验测试

按照设计的弹性碰撞的实验方案，进行实验测试，并将数据记录在表格中，观察动量增量和动能增量及其相对变化值。验证设计方案的正确性。

3. 设计出观察两等质量滑块间利用尼龙搭扣进行完全非弹性碰撞的实验方案。

3.1 采用粘有粘性尼龙的两个滑块发生完全非弹性碰撞。

3.2 设计方法同步骤 2。

4. 在磁悬浮导轨上运动的滑块所受的阻力虽然很小，但不等于“0”，阻力的大小也随实验条件的不同略有不同。请你根据力学定律，用简单的实验方法，估算出平均阻力的大小，并用求得平均阻力进一步考虑是否该修正实验测得的数据。

5. 写出实验预习报告。然后在实验室里对照仪器，再进行修改，做完实验后再写出完整的实验报告。实验报告的内容包括：目的、原理、以及碰撞的示意图，简单的实验步骤，数据记录、处理和结果分析。

【注意事项】

1. 测出一组数据后, 最好先算出来看一看动量是否守恒? 是否在我们的实验误差范围内(碰撞前后的动量相差不大于碰撞前系统动量的 2%)? 否则必须找出产生误差的原因, 重新进行实验。再看一看动量变化的情况。

2. 做磁悬浮导轨上的碰撞实验时, 小车与侧面导轨面之间存在滚动摩擦, 对于该模型的研究更有利于同学们模拟分析现实生活中的汽车相撞。

【思考题】

1. 如果碰撞后测得的动量总是小于碰撞前测得的动量, 说明什么问题? 能否出现碰撞后测得的动量大于碰撞前测得的呢?

2. 试想实验中: ①把光电门放在靠近或远离碰撞的位置; ②碰撞速度大或小;

③正碰或不正碰; 其结果如何?

3. 恢复系数 e 是否和速度有关? 若在水平导轨与倾斜导轨上通过两滑块的碰撞测恢复系数, 试求出 e 值并说明与速度大小的关系。

实验三 动力学基础实验（导轨倾斜角度法，选做）

【实验目的】

1. 学习导轨的水平调整，熟悉磁悬导轨和通用计数器的调整和使用；
2. 学习矢量分解；
3. 学习作图法处理实验数据，掌握匀变速直线运动规律；
4. 测量重力加速度 g ，并学习消减系统误差的方法；
5. 探索牛顿第二定律，加深物体运动时所受外力与加速度的关系；
6. 探索动摩擦力与速度的关系。

【实验原理】

1. 瞬时速度的测量

一个作直线运动的物体，在 Δt 时间内，物体经过的位移为 Δs ，则该物体在 Δt 时间内的平均速度为

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

为了精确地描述物体在某点的实际速度，应该把时间 Δt 取得越小越好， Δt 越小，所求得的速度越接近实际速度。当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时，平均速度趋近于一个极限，即

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{v} \quad (2)$$

这就是物体在该点的瞬时速度。

但在实验时，直接用上式来测量某点的瞬时速度是极其困难的，因此，一般在一定误差范围内，可以用历时极短的 Δt 内的平均速度近似地代替瞬时速度。

2. 匀变速直线运动

如图 3-1 所示，沿光滑斜面下滑的物体，在忽略空气阻力的情况下，可视作匀变速直线运

动。匀变速直线运动的速度公式、位移公式、速度和位移的关系分别为：

$$v_t = v_0 + at \quad (3)$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (4)$$

$$v^2 = v_0^2 + 2as \quad (5)$$

如图 3-2 所示，在斜面上物体从同一位置 P 处(置第一光电门)静止开始下滑，测得在不同位置 $P_0, P_1, P_2, \dots$ 处(置第二光电门)，用通用计数器测量 $t_0, t_1, t_2, \dots$ 和速度为 $v_0, v_1, v_2, \dots$ 。以 t 为横坐标， v 为纵坐标作 $v-t$ 图，如果图线是一条直线，则证明该物体所作的是匀变速直线运动，其图线的斜率即为加速度 a ，截距为 v_0 。

同样取 $s_i = P_i - P_{i-1}$ ，作 $\frac{s}{t} - t$ 图和 $v^2 - s$ 图，若为直线，也证明物体所作的是匀变速直线运动，两图线斜率分别为 $\frac{1}{2}a$ 和 $2a$ ，截距分别为 v_0 和 v_0^2 。

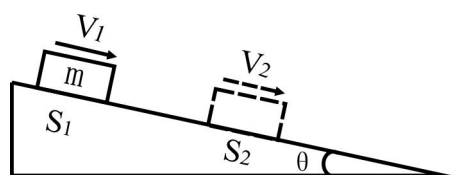


图 3-1

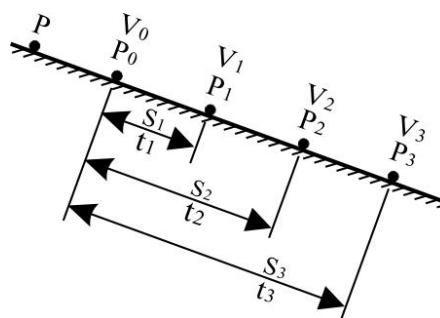


图 3-2

物体在磁悬浮导轨中运动时，摩擦力和磁场的不均匀性对小车可产生作用力，对运动物体有些阻力作用，用 F_f 来表示，即 $F_f = ma_f$ ， a_f 作为加速度的修正值。在实验时，把磁悬浮导轨设置成水平状态，在滑块放到导轨中，用手轻推一下滑块，让其以一定的初速度从左（在斜面状态时的高端）到右运动，依次通过光电门 I 和 II，测出加速度值 a_f 。重复多次，用不同力度，推动一下滑块，测出其加速度值 a_f ，比较每次测量的结果，查看有何规律。平均测量结果 $\overline{a_f}$ ，得到滑块的阻力加速度 $\overline{a_f}$ 。

3. 系统质量保持不变，改变系统所受外力，考察动摩擦力的大小，及其与外力 F 的关系。

考虑到滑块在磁悬浮导轨中运动时，将其所受阻力用 F_f 来表示。根据力学分析滑块所受的

力

$$ma = mg \sin \theta - F_f \quad (6)$$

则有：

$$F_f = mg \sin \theta - ma \quad (7)$$

用已知重力加速度 $g=9.80\text{m/s}^2$ ，及小车质量，通过测量不同轨道角度 θ 时的滑块加速度值 a ，可以求得相应的动摩擦力大小。

将 F_f 与 F 的值作图，可以考察 F_f 与 F 的关系。

4. 重力加速度的测定，及消减导轨中系统误差的方法

令 $F_f = ma_f$ ，则有：

$$a = g \sin \theta - a_f \quad (8)$$

式中 a_f 作为与动摩擦力有关的加速度修正值。

$$a_1 = g \sin \theta_1 - a_{f1} \quad (9)$$

$$a_2 = g \sin \theta_2 - a_{f2} \quad (10)$$

$$a_3 = g \sin \theta_3 - a_{f3} \quad (11)$$

.....

根据前面得到的动摩擦力 F_f 与 F 的关系可知，在一定的小角度范围内，滑块所受到动摩擦力 F_f 近似相等，且 $F_f \ll mg \sin \theta$ ，即

$$a_{f1} \approx a_{f2} \approx a_{f3} \dots = \bar{a}_f \ll g \sin \theta \quad (12)$$

由 (7) (8) (9) 式可得到：

$$g = \frac{a_2 - a_1}{\sin \theta_2 - \sin \theta_1} = \frac{a_3 - a_2}{\sin \theta_3 - \sin \theta_2} \dots \quad (13)$$

5. 系统质量保持不变，改变系统所受外力，考察加速度 a 和外力 F 的关系

根据牛顿第二定理 $F = ma$, $a = \frac{1}{m}F$, 斜面上 $F = G \sin \theta$, 故:

$$a = kF \quad (14)$$

如图 3-1 所示, 设置不同的角度 θ_1 、 θ_2 、 θ_3的斜面, 测出物体运动的加速度 a_1 , a_2 , a_3作 $a - F$ 拟合直线图, 求出斜率 k , $k = \frac{1}{m}$, 即可求得 $m = \frac{1}{k}$ 。

【实验装置】

1. 磁悬浮原理

1)、磁悬浮原理: 磁悬浮实验装置如图 3-3 所示, 磁悬浮导轨实际上是一个槽轨, 长约 1.2 米, 在槽轨底部中心轴线嵌入钕铁硼 NdFeB 磁钢, 在其上方的滑块底部也嵌入磁钢, 形成两组带状磁场。由于磁场极性相反, 上下之间产生斥力, 滑块处于非平衡状态。为使滑块悬浮在导轨上运行, 采用了槽轨。

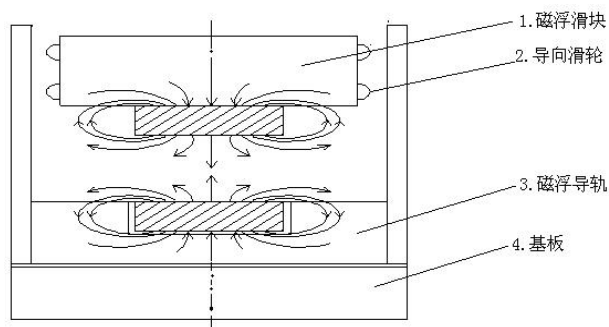
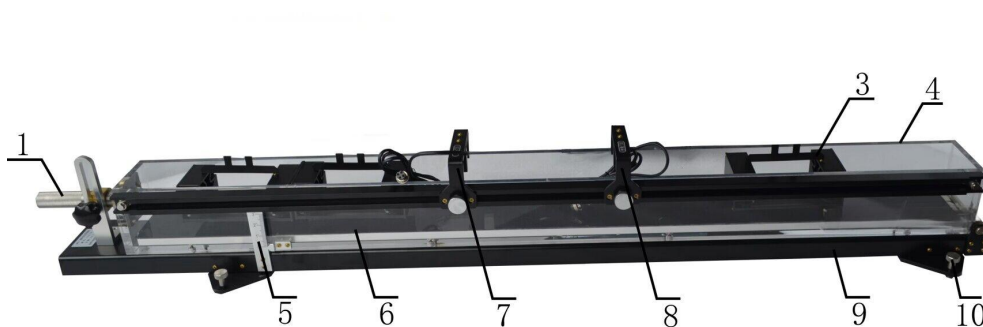


图 3-3 磁悬浮导轨截面图

在导轨的基板上安装了带有角度刻度的标尺。根据实验要求, 可把导轨设置成不同角度的斜面。



- 1.升降手柄 3.磁浮滑块 4.导轨 5.角标 6.黑护垫
7.光电门 I 8.光电门 II 9.基板 10.水平调节螺钉

图 3-4 磁悬浮实验装置

2. 仪器使用

线速度加速度测量使用传感器 1 和传感器 2，并按照如下图示意位置布置，实验开始前输入小车挡光片间距，输入范围为 0-99mm，通过时间 ΔT_1 、 ΔT_2 和 ΔT_3 测量范围为 0-999,999,999us，速度 V_1 、 V_2 范围为 0-999.999cm/s，加速度 a 范围为 0-999.999cm/s²。



图 3-5 线速度加速度界面

设置好小车挡光片间距后，将小车放在传感器 1 外侧，小车依次经过传感器 1 和传感器 2 后，可得到小车经过两光电门的瞬时速度以及平均加速度，其原理如下图。

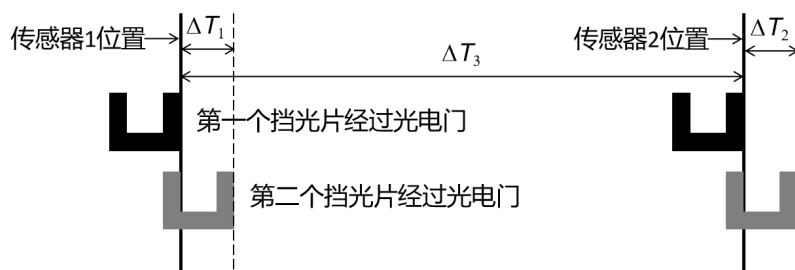


图 3-6 测速度和加速度原理示意图

在实验导轨上相隔一定距离安装两个光电门（见图 4），小车上安装有双挡光片，当小车经过传感器 1 时，共有两个挡光片经过光电门，第一个挡光片与第二个挡光片经过的时间差为 Δ

T_1 ；当小车经过传感器 2 时，第一个挡光片与第二个挡光片经过的时间差为 ΔT_2 ；小车从传感器 1 位置运动到传感器 2 位置的时间差为 ΔT_3 ；由于挡光片间距较小，把小车上两个挡光片经过光电门的平均速度看作小车经过光电门的瞬时速度，则小车经过经过光电门 1 和 2 的瞬时速度分别为

$$v_1 = \frac{\Delta x}{\Delta T_1} \quad (15)$$

$$v_2 = \frac{\Delta x}{\Delta T_2} \quad (16)$$

把小车上第一个挡光片经过光电门 1 和 2 的时间间隔作为小车经过光电门 1 和 2 的时间，则小车的加速度为

$$a = \frac{v_2 - v_1}{\Delta T_3} \quad (17)$$

【实验内容】

1. 检查磁悬浮导轨的水平度，检查通用计数器的测试准备

把磁浮导轨设置成水平状态。水平度调整有二种方法：1) 把配置的水平仪放在磁浮导轨槽中，调整导轨一端的支撑脚，使导轨水平。2) 把滑块放到导轨中，滑块以一定的初速度从左到右运动，测出加速度值，然后反方向运动，再次测出加速度值，若导轨水平，则左右运动减速情况相近，即测量的 a 相近。

检查导轨上的第一光电门和第二光电门有否与通用计数器的光电门 1 和光电门 2 相联，开启电源，检查通用计数器中数字显示的参数值是否与光电门挡光片的间距参数相符，否则必须加以修正，修正方法请参见本实验附录，并检查“功能”是否置于“加速度”。

2. 匀变速运动规律的研究

调整导轨成如图 3-2 所示的斜面，倾斜角为 θ （不小于 2° 为宜）。将斜面上的滑块每次从同一位置处 P 由静止开始下滑，光电门 I 位于 P_0 ，光电门 II 分别置于 $P_1, P_2, \dots$ 处，用通用计数器测量 $\Delta t_0, \Delta t_1, \Delta t_2, \dots$ 和速度为 $v_0, v_1, v_2, \dots$ ；依次记录 $P_0, P_1, \dots$ 的位置和速度 $v_0, v_1, v_2, \dots$ 及由 P_0 到 P_i 的时间 t_i ，列表记录所有数据。

3. 重力加速度 g 的测量

两光电门之间距离固定为 s 。改变斜面倾斜角 θ ，滑块每次由同一位置滑下，依次经过两个光电门，记录其加速度 a_i ，由式 (6) 或 (10) 计算加速度 g ，跟当地重力加速度 $g_{\text{标}}$ 相比较，并求其百分误差。

4. 系统质量保持不变，改变系统所受外力，考察加速度 a 和外力 F 的关系

称量滑块质量标准值 $m_{\text{标}}$ ，利用上一内容的实验数据，计算不同倾斜角时，系统所受外力 $F = m_{\text{标}} g \sin \theta$ ，根据式 (9) 作 $a - F$ 拟合直线图，求出斜率 k ， $k = \frac{1}{m}$ ，即可求得 $m = \frac{1}{k}$ 。比较 m 和 $m_{\text{标}}$ ，并求其百分误差。

【数据记录及处理】

1. 匀变速直线运动的研究

数据记录表如下（供参考）：

$P_0 =$ _____ $\Delta x =$ _____ $\theta =$ _____

i	P_i	$s_i = P_i - P_0$	Δt_0	v_0	Δt_i	v_i	t_i
1							
2							
3							
4							
5							
6							

分别作直线 $v - t$ 图线和 $\frac{s}{t} - t$ 图线，若所得均为直线，则表明滑块作匀变速直线运动，由直线斜率与截距求出 a 与 v_0 ，将 v_0 与上列数据表中 $\bar{v}_0$ 比较，并加以分析和讨论。

2. 重力加速度 g 的测量

数据记录表格如下（供参考）：

$$\Delta x = \underline{\hspace{2cm}} \quad s = s_2 - s_1 = \underline{\hspace{2cm}} \quad a_f = \underline{\hspace{2cm}}$$

i	θ_i	a_i	$\sin \theta_i$	g_i
1				
2				
3				
4				
5				

1) 根据 $g_i = \frac{a_i - a_f}{\sin \theta}$, 分别算出每个倾斜角度下的重力加速度 g_i ;

2) 计算测得的重力加速度的平均值 $\bar{g}$, 与本地区公认值 $g_{\text{标}}$ 相比较, 求出

$$E_g = \frac{|\bar{g} - g_{\text{标}}|}{g_{\text{标}}} \times 100\%$$

3. 系统质量保持不变, 改变系统所受外力, 考察加速度 a 和外力 F 的关系

利用上一内容的实验数据, 数据记录表格如下 (供参考):

$$\Delta x = \underline{\hspace{2cm}} \quad s = s_2 - s_1 = \underline{\hspace{2cm}} \quad m_{\text{标}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

i	θ_i	$\sin \theta_i$	$F_i = m_{\text{标}} g \sin \theta_i$	a_i
1				
2				
3				
4				
5				

作 $a - F$ 拟合直线图, 求出斜率 k , $k = \frac{1}{m}$, 求出 $m = \frac{1}{k}$ 。与 $m_{\text{标}}$ 相比较, 求出

$$E_m = \frac{|m - m_{\text{标}}|}{m_{\text{标}}} \times 100\%$$