

浙江大学

物理实验报告

实验名称：_____碰撞实验_____

实验桌号：_____

指导教师：_____

班级：_____

姓名：_____

学号：_____

实验日期: 2025 年 12 月 23 日 星期二上午

(此处填实验选课系统内日期)

浙江大学物理实验教学中心

如有实验补做，补做日期：
情况说明：

一、预习报告（10 分）

（注：将已经写好的“物理实验预习报告”内容拷贝过来）

1. 实验综述（5 分）

（自述实验现象、实验原理和实验方法，包括必要的光路图、电路图、公式等。不超过 500 字。）

一、实验现象

在气垫导轨上，滑块受推力后作近似无摩擦的匀速直线运动。完全弹性碰撞时，两滑块接触后迅速反向分离；完全非弹性碰撞时，两滑块依靠物理装置粘连，以相同的速度向同一方向继续运动。滑块通过光电门时，挡光片触发计时信号，数字毫秒计自动记录挡光时间并转换显示为滑块的瞬时速度。

二、实验原理

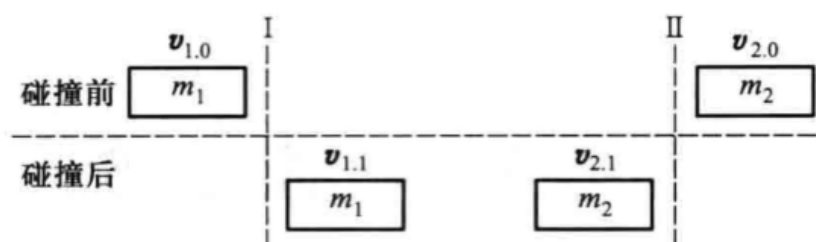


图 1 碰撞系统原理图

本实验旨在验证动量守恒定律。在系统所受合外力为零的理想条件下，碰撞前后的总动量保持不变。其基本表达式为：

$$m_1 v_{1.0} + m_2 v_{2.0} = m_1 v_{1.1} + m_2 v_{2.1}$$

对于完全弹性碰撞，系统机械能守恒，动能关系式为：

$$\frac{1}{2} m_1 v_{1.0}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2.0}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1.1}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2.1}^2$$

滑块的测量速度通过挡光片宽度 Δs 与挡光时间 Δt 之比获得：

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

三、实验方法

- 1、调试准备：调节气垫导轨的支脚使水平仪水滴居中，确保导轨处于水平状态，并测定滑块质量及阻力系数。
- 2、速度采集：手动推送滑块使其在导轨上发生对心碰撞。
- 3、模拟实验：分别针对完全弹性碰撞和完全非弹性碰撞两种工况，利用数字毫秒计记录滑块经过光电门前后的初速度 $v_{1.0}$ 、 $v_{2.0}$ 及末速度 $v_{1.1}$ 、 $v_{2.1}$ （单位：cm/s）。
- 4、数据验证：将采集的质量与速度数据代入公式，计算碰撞前后的总动量 P 和总动能 E ，分析守恒情况及误差来源。

2.实验重点（3分）

（简述本实验的学习重点，不超过 100 字，3 分）

- 1、理解动量守恒定律及动能定理在不同碰撞工况下的适用条件。
- 2、掌握气垫导轨的调平方法及光电计时系统的测速逻辑。
- 3、学习如何通过测量 $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ 进行动量与能量转换的定量验证及误差分析。

3.实验难点（2分）

（简述本实验的实现难点，不超过 100 字，2 分）

- 1、导轨水平调节较难，需严格调平以消除重力分量对动量守恒的影响。
- 2、掌握阻力干扰修正方法，需精确测定粘性阻力系数，以减小环境因素产生的系统误差。

二、原始数据（20分）

（将有老师签名的“自备数据记录草稿纸”的扫描或手机拍摄图粘贴在下方，完整保留姓名，学号，教师签字和日期。）

三、结果与分析（60分）

1. 数据处理与结果（30分）

（列出数据表格、选择适合的数据处理方法、写出测量或计算结果。）

（1）验证空气阻力与速度的关系

表 1 滑块质量

滑块质量/g
258.9

表 2 验证空气阻力与速度的关系实验数据记录

实验次数	$v_1/$ (cm/s)	$v_2/$ (cm/s)	$\bar{v} = \frac{v_1+v_2}{2}$ (cm/s)	$a/(\text{cm/s}^2)$	$F_r=ma/10^{-4}\text{N}$
1	34.88	34.66	34.77	-0.17	-4.40
2	39.41	39.17	39.29	-0.21	-5.44
3	39.60	39.33	39.47	-0.23	-5.95

4	43.39	43.04	43.22	-0.33	-8.54
5	45.99	45.64	45.82	-0.39	-10.10
6	53.87	53.49	53.68	-0.44	-11.39

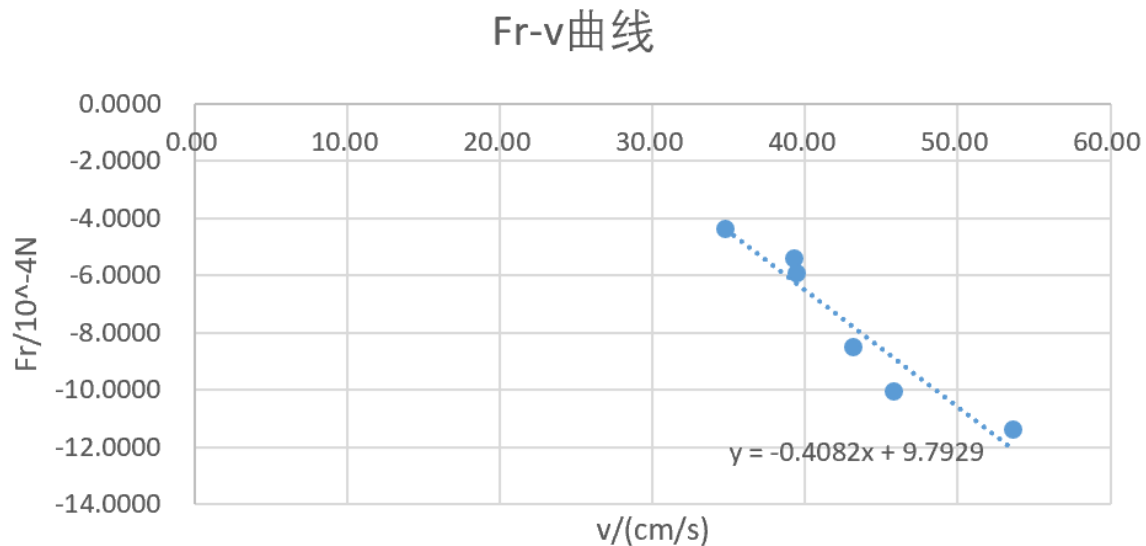


图 2 空气阻力与速度图

$k=-0.4082$ ，在 -0.6 — -0.3 之间

(2) 验证动量守恒定律

a) 完全弹性碰撞

表 3 滑块质量

m1/g	260.4	m2/g	258.9
------	-------	------	-------

表 4 完全弹性碰撞实验数据记录

实验次数	v1.0/(cm/s)	v2.0/(cm/s)	v1.1/(cm/s)	v2.1/(cm/s)
1	-51.48	54.6	46.56	-44.32
2	-43.43	35.52	29.68	-40.37
3	-37.38	31.8	27.85	-34.96
4	-33.83	30.25	27.22	-32.00

表 5 完全弹性碰撞实验数据处理

实验次数	p1 / 10 ⁻² (kg m/s)	p2 / 10 ⁻² (kg m/s)	E1/ 10 ⁻² J	E2/ 10 ⁻² J	Δp / 10 ⁻² (kg m/s)	ΔE / 10 ⁻² J	p 相对 误差	E 相对 误差	恢复 系数
1	0.731	0.650	7.310	5.365	0.081	1.944	11.06%	26.60%	0.86
2	-2.113	-2.723	4.089	3.257	0.610	0.832	28.87%	20.36%	0.89
3	-1.501	-1.799	3.128	2.592	0.298	0.536	19.88%	17.14%	0.91
4	-0.978	-1.197	2.675	2.290	0.219	0.384	22.41%	14.37%	0.92

b) 完全非弹性碰撞

表 6 滑块质量

m1/g	258.9	m2/g	361.6
------	-------	------	-------

表 7 完全非弹性碰撞实验数据记录

实验次数	v1.0/(cm/s)	v2.0/(cm/s)	v1.1/(cm/s)
1	-57.05	63.56	11.43
2	-51.32	57.42	10.47
3	-40.67	57.41	14.42
4	-49.01	66.95	15.11

表 8 完全非弹性碰撞实验数据处理

实验次数	p1/10 ⁻² (kg m/s)	p2/10 ⁻² (kg m/s)	E1/10 ⁻² J	E2/10 ⁻² J	Δp/10 ⁻² (kg m/s)	ΔE/10 ⁻² J	p 相对误差	ΔE/E ₁	恢复系数
1	8.213	7.092	11.517	0.405	1.121	11.112	13.65%	96.48%	0
2	7.476	6.497	9.370	0.340	0.980	9.030	13.10%	96.37%	0
3	10.230	8.948	8.100	0.645	1.282	7.455	12.54%	92.04%	0
4	11.520	9.376	11.213	0.708	2.145	10.505	18.62%	93.68%	0

2. 误差分析（20 分）

（运用测量误差、相对误差或不确定度等分析实验结果，写出完整的结果表达式，并分析误差原因。）

（1）验证空气阻力与速度的关系

根据实验拟合得到的方程 $F_r = -0.4082v + 9.7929$ ，阻力与速度在观测区间内呈现较好的线性相关性。误差成因分析如下：

系统误差：拟合直线存在显著的正截距（ $9.7929 \times 10^{-4}N$ ），而非理论上的过原点。这主要源于气垫导轨未能实现绝对水平，导致滑块受重力沿导轨方向的分量干扰。此外，气膜压力的不均匀性也会对滑块产生微小的持续推力或阻力。

测量误差：在 $Re \approx 10$ 的条件下，流体阻力开始偏离纯线性区域，使得线性回归分析产生残差。

（2）验证动量守恒定律

a) 完全弹性碰撞

根据表 5 数据，完全弹性碰撞的动量相对误差分布在 11.06% 至 28.87% 之间。所有数据组的相对误差均控制在 30% 以内，处于本实验允许的正常误差范围。由于实验设计中两滑块初始动量方向相反且数值接近，系统总动量 p 的绝对基数极小。在这种情况下，微小的速度测量偏差会在计算公式中被显著放大，导致相对误差数值看起来偏高。

恢复系数 e 维持在 0.86 至 0.92 之间，表明碰撞过程并非理想完全弹性，滑块弹簧片的塑性形变、空气阻力以及声音辐射均损耗了部分系统机械能。

b) 完全非弹性碰撞

根据表 8 数据，完全非弹性碰撞的动量相对误差在 12.54% 至 18.62% 之间。动量相对误差均远低于 30% 的阈值，数据表现出良好的一致性，有效验证了动量守恒定律。

实验测得的动能损失率高达 92% 至 96%。这符合物理预期，即在完全非弹性碰撞中，

大部分系统初动能转化为装置粘连过程中的内能。

两滑块碰撞时的轴心对准偏差可能导致动量向侧向偏转，且粘连装置的瞬时作用力可能引起滑块在气垫上的局部震荡，增加了测量数据的不确定性。

3. 实验探讨（10 分）

（对实验内容、现象和过程的小结，不超过 100 字。）

本实验利用气垫导轨模拟近无摩擦环境，定量验证动量守恒定律。调平导轨后，通过光电门测量滑块初末速度 $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ 。实验观察到弹性碰撞后滑块迅速弹开，非弹性碰撞则粘连同向运动。数据分析证实了不同碰撞工况下动量的守恒性及能量转换规律。

四、思考题（10 分）

（解答教材或讲义或老师布置的思考题，请先写题干，再作答。）

1. 本实验的假设前提“碰撞前、后的速度均保持不变”是否合理？

合理。气垫导轨通过高压空气在导轨与滑块间形成极薄的气膜，使摩擦力减小到可以忽略不计的程度。在滑块通过光电门到碰撞发生的极短时间内，滑块受到的外力极小，其运动状态非常接近匀速直线运动，该假设是本实验定量计算的基础。

2. 还有其他的方法测量速度吗？

照相法：利用高速摄像机记录滑块的运动过程，记录滑块位移 Δx 随时间 t 的变化，通过数值微分获得速度。

超声波测距法：利用超声波传感器实时发射信号并接收滑块反射的回波，根据声波往返的时间差确定位置，进而通过 $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ 计算速度。

3. 利用气垫导轨你还能设计哪些实验？

验证牛顿第二定律：研究滑块加速度 a 与所受合外力 F 以及系统质量 m 之间的定量线性关系。

验证动能定理：测量恒力对滑块所做的功 W 以及滑块动能的变化量 ΔE_k ，验证合外力做功与动能增量的等量关系。

注意事项：

1. 用 PDF 格式上传“实验报告”，文件名：学生姓名+学号+实验名称+周次。
2. “实验报告”必须递交在“学在浙大”本课程内对应实验项目的“作业”模块内。
3. “实验报告”成绩必须在“浙江大学物理实验教学中心网站”-“选课系统”内查询。
4. 教学评价必须在“浙江大学物理实验教学中心网站”-“选课系统”内进行，学生必须进行教学评价，才能看到实验报告成绩，教学评价须在本次实验结束后 3 天内进行。

浙江大学物理实验教学中心制