

碰撞模实验报告

专业 工科试验班 姓名 史峰源 学号 2412526
分组及座号 H-12 实验日期 周二上午

碰撞实验报告

1 实验目的

- 1. 用对心碰撞特例检验动量守恒定律
- 2. 了解动量守恒和动能守恒的条件
- 3. 熟练地使用气垫导轨及数字毫秒计

2 仪器用具

空气导轨, 滑块, 数字毫秒计

3 实验原理

3.1 验证动量守恒定律

在平直导轨上, 两个滑块作对心碰撞, 在调平阻力的情况下, 在水平方向上应满足动量守恒定律, 即碰撞前后总动量不变。

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 u_1 + m_2 u_2 \quad (1)$$

式中 u_1, u_2 和 v_1, v_2 是两滑块在碰撞前后的速度, 通过验证等式左右相等来验证动量守恒定律。

3.2 碰撞后的动量损失

动能在碰撞过程中是否守恒与碰撞的性质有关, 该性质通产用恢复系数 e 表示:

$$e = \frac{v_2 - v_1}{u_2 - u_1} \quad (2)$$

当 $e = 1$ 时, 这类碰撞称为完全弹性碰撞。

当 $0 < e < 1$ 时, 这类碰撞称为非弹性碰撞。

当 $e = 0$ 时, 这类碰撞称为完全非弹性碰撞。

3.3 $m_1 = m_2 = m, u_2 = 0$ 的特定条件下, 两滑块的对心碰撞

(1) 完全弹性碰撞, $e = 1$ 。实际条件不能达到理想化, 若两滑块质量不严格相等, 两挡光物的有效挡光宽度 Δs_1 和 Δs_2 也不严格相等, 则碰撞前后的动量百分差 E_1 为

$$E_1 = \frac{|p_2 - p_1|}{p_1} = \left| \frac{m_2 \Delta s_2 \Delta t_1}{m_1 \Delta s_1 \Delta t_2} - 1 \right| \quad (3)$$

动能百分差 E_2 为

$$E_2 = \frac{|E'_{k2} - E'_{k1}|}{E'_{k1}} = \left| \frac{m_2 \Delta s_2^2 \Delta t_1^2}{m_1 \Delta s_1^2 \Delta t_2^2} - 1 \right| \quad (4)$$

若 E_1 和 E_2 在其实验误差范围内,则说明上述结论成立。

(2)完全非弹性碰撞

动量和动能百分差及分别为

$$E'_1 = \frac{|p'_2 - p'_1|}{p'_1} = \left| \left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right) \frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} - 1 \right| \quad (5)$$

$$E'_2 = \frac{|E'_{k2} - E'_{k1}|}{E'_{k1}} = \left| \left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2}\right)^2 - 1 \right| \quad (6)$$

则动能损失的百分差为

$$E_\Delta = \left| 2 \left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2}\right)^2 - 1 \right| \quad (7)$$

若 E'_1, E_Δ 在其实验误差内,则说明上述结论成立。

4 实验步骤

1. 实验开始时,先对气垫充气,再放滑块;试验结束时,先拿下滑块,再对气垫放气;

2. 用动态调平法进行调平,不用静态法;

3. 滑块时间应该在调平时间上下浮动 10-20ms,不可差太多;

4. 实验中应保证的条件,为此,在第一滑块未到达之前,先用手轻扶滑块 2,待滑块 1 即将与 2 碰撞之前再松手,且松手时不应给滑块以初速度;

5. 给滑块 1 速度时要平稳,不应该使滑块产生摆动;挡光框平面应与滑块运动方向一致,且其遮光边缘应与滑块运动方向垂直;

6. 测定完全弹性碰撞时应让两个挡光框大小相同;

7. 三组数据的数值不能相差过多;

8. 挡光框与滑块之间应该固定牢固,防止碰撞时相对位置改变,影响测量精度。

实验数据接下页

5 数据处理

5.1 原始数据

碰撞实验:

$m_1 = m_2 = m = 131.92g$
周期 $T = 107.13ms$

$S_t = (59 + 4 \times 0.05)mm$ $S_D = (9 + 4 \times 0.05)mm$ $\Delta S_1 = 5.000cm$
 $S_t = (59 + 3 \times 0.05)mm$ $S_D = (9 + 3 \times 0.05)mm$ $\Delta S_2 = 5.000cm$

完全弹性		完全非弹性	
前	后	前	后
1 102.34ms	105.60ms	100.09ms	208.48ms
2 96.85ms	98.38ms	98.88ms	204.07ms
3 105.85ms	108.21ms	105.34ms	215.16ms

恢复	动量	动能
1 0.90913	3.18546%	6.5%
2 0.984	0.016=1.6%	0.032=3.2%
3 0.978	0.022=2.2%	0.045=4.5%

恢复	动量	动能	百分误差
1 0	0.0398=3.98%	0.539=5.39%	0.078=7.8%
2 0	0.0309=3.1%	0.530=5.3%	0.061=6.1%
3 0	0.021=2.1%	0.521=5.21%	0.041=4.1%

5.2 两滑块碰撞前后的速度:

$m_1 = m_2 = m = 131.92g \quad t = 107.13ms$

$S_t = (59 + 4 \times 0.05)mm \quad S_D = (9 + 4 \times 0.05)mm \quad \Delta s = S_t - S_0$

$S_t = (59 + 3 \times 0.05)mm \quad S_D = (9 + 3 \times 0.05)mm \quad \Delta s = S_t - S_0$

$\Delta s_1 = 5.000cm \quad \Delta s_2 = 5.000cm \quad \Delta s'_1 = 5.000cm$

次数 i	完全弹性				完全非弹性			
	碰前		碰后		碰前		碰后	
	$\Delta t_1/ms$	$u/(m \cdot s^{-1})$	$\Delta t_2/s$	$v/(m \cdot s^{-1})$	$\Delta t'_1/s$	$u'/(m \cdot s^{-1})$	$\Delta t'_2/s$	$v'/(m \cdot s^{-1})$
1	102.34	0.48857	105.60	0.47348	100.09	0.49955	208.48	0.23983
2	96.85	0.51626	98.38	0.50823	98.88	0.50566	204.07	0.24501
3	105.85	0.47237	108.21	0.46206	105.34	0.47465	215.16	0.23239

表 1: 完全弹性与非弹性碰撞实验数据表格

求恢复系数 e , 动量百分差 E_1 , 动能百分差 E_2 , 并得出应有结论。

5.3 第一组数据

5.3.1 完全弹性碰撞:

恢复系数

$$e = \frac{v_2 - v_1}{u_1 - u_2} = \frac{0.47348}{0.48857} = 0.96913$$

动量百分差

$$E_1 = \left| \frac{P_2 - P_1}{P_1} \right| = \left| \frac{m_2 \Delta s_2 \Delta t_1}{m_1 \Delta s_1 \Delta t_2} - 1 \right| = 0.0318546 = 3.1855\%$$

动能百分差

$$E_2 = \left| \frac{E_{k2} - E_{k1}}{E_{k1}} \right| = \left| \frac{m_2 \Delta s_2^2 \Delta t_1^2}{m_1 \Delta s_1^2 \Delta t_2^2} - 1 \right| = 0.0645 = 6.5\%$$

发现三者均在误差范围内,验证完毕。

5.3.2 完全非弹性碰撞:

恢复系数

$$e = 0$$

动量百分差

$$E'_1 = \left| \frac{p'_2 - p'_1}{p'_1} \right| = \left| \left(\left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right) - 1 \right| = 0.0398 = 3.98\%$$

动能百分差

$$E'_2 = \left| \frac{E'_{k2} - E_{k1}}{E_{k1}} \right| = \left| \left(\left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right)^2 \right) - 1 \right| = 0.539 = 54.0\%$$

动能损失的百分误差

$$E_{\Delta} = \left| 2 \left(\left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right)^2 \right) - 1 \right| = 0.078 = 7.8\%$$

发现三者均在误差范围内,验证完毕。

5.4 第二组数据

5.4.1 完全弹性碰撞:

恢复系数

$$e = \frac{v_2 - v_1}{u_1 - u_2} = \frac{0.50823}{0.51626} = 0.984$$

动量百分差

$$E_1 = \left| \frac{P_2 - P_1}{P_1} \right| = \left| \frac{m_2 \Delta s_2 \Delta t_1}{m_1 \Delta s_1 \Delta t_2} - 1 \right| = 0.016 = 1.6\%$$

动能百分差

$$E_2 = \left| \frac{E_{k2} - E_{k1}}{E_{k1}} \right| = \left| \frac{m_2 \Delta s_2^2 \Delta t_1^2}{m_1 \Delta s_1^2 \Delta t_2^2} - 1 \right| = 0.032 = 3.2\%$$

发现三者均在误差范围内,验证完毕。

5.4.2 完全非弹性碰撞:

恢复系数

$$e = 0$$

动量百分差

$$E'_1 = \left| \frac{p'_2 - p'_1}{p'_1} \right| = \left| \left(\left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right) - 1 \right| = 0.0309 = 3.1\%$$

动能百分差

$$E'_2 = \left| \frac{E'_{k2} - E_{k1}}{E_{k1}} \right| = \left| \left(\left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right)^2 \right) - 1 \right| = 0.530 = 53.0\%$$

动能损失的百分误差

$$E_{\Delta} = \left| 2 \left(\left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right)^2 \right) - 1 \right| = 0.0061 = 6.1\%$$

发现三者均在误差范围内,验证完毕。

5.5 第三组数据

5.5.1 完全弹性碰撞:

恢复系数

$$e = \frac{v_2 - v_1}{u_1 - u_2} = \frac{0.46206}{0.47237} = 0.978$$

动量百分差

$$E_1 = \left| \frac{P_2 - P_1}{P_1} \right| = \left| \frac{m_2 \Delta s_2 \Delta t_1}{m_1 \Delta s_1 \Delta t_2} - 1 \right| = 0.022 = 2.2\%$$

动能百分差

$$E_2 = \left| \frac{E_{k2} - E_{k1}}{E_{k1}} \right| = \left| \frac{m_2 \Delta s_2^2 \Delta t_1^2}{m_1 \Delta s_1^2 \Delta t_2^2} - 1 \right| = 0.045 = 4.5\%$$

发现三者均在误差范围内,验证完毕。

5.5.2 完全非弹性碰撞:

恢复系数

$$e = 0$$

动量百分差

$$E'_1 = \left| \frac{p'_2 - p'_1}{p'_1} \right| = \left| \left(\left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right) - 1 \right| = 0.021 = 2.1\%$$

动能百分差

$$E'_2 = \left| \frac{E'_{k2} - E_{k1}}{E_{k1}} \right| = \left| \left(\left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right)^2 \right) - 1 \right| = 0.521 = 52.1\%$$

动能损失的百分误差

$$E_{\Delta} = \left| 2 \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right)^2 - 1 \right| = 0.041 = 4.1\%$$

发现三者均在误差范围内,验证完毕。

6 考查题

1. 动量守恒定律成立的条件是什么? 实验中应如何保证

保证 $m_1 \approx m_2 = m$

2. 完全非弹性碰撞中,要求碰撞前后选用同一挡光框遮光有什么好处? 实验操作中如何实现?

使用同一挡光框能避免因两挡光框有效挡光宽度不同导致的系统误差。实验中使用滑块 1 前后经过两个光电门的时间作为实验数据。

3. 既然导轨已经调平,为什么实验操作中还要用手扶住滑块二? 手扶滑块时应该注意什么?

导轨调平是为了能使滑块在其上运动时能匀速,而非滑块能在其上静止,手扶滑块可以保证滑块二初速度为

0. 应注意松手时不要给滑块 2 初速度。

4. 滑块 2 距光电门 2 尽些好还是远些好? 两光电门之间尽些好还是远些好? 为什么?

滑块 2 应离光电门稍微远些,避免碰撞后滑块 2 在短暂的加速过程中通过光电门。两门之间距离适当远些,理由同上。

7 思考题

1. 完全弹性碰撞的特点是什么? 试证明在完全弹性碰撞中,两物体分离的速度 $v_2 - v_1$ 等于碰撞前两物体相互接近的速度 $u_1 - u_2$

碰撞前后动能守恒,恢复系数 $e=1$ 。根据 e 的公式可知 $u_1 - u_2 = v_2 - v_1$

2. 设导轨质量远大于滑块质量,问:当滑块与导轨一端做弹性碰撞时,其恢复系数等于多少?

导轨质量远大于滑块质量,则滑块在与导轨一端碰撞后原速返回,则 $v_2 - v_1 = v_2 - v_1$,即 $e = 1$ 。

3. 为什么要尽量做到对心碰撞? 在你的实验中是如何保证的?

只在一维方向上验证动量守恒定律,保证滑块只沿导轨方向运动而不沿垂直方向抖动。

4. 设两滑块质量及速度大小均相同,相对碰撞之后,两滑块的运动情况将如何?

以大小相等,方向相反的速度弹开。

5. 试总结,为了验证本次实验的结论,在实验操作中保证实验条件以减小测量误差的方法。

保证两滑块质量近似相等;两挡光物有效挡光宽度近似相等;保证滑块 2 初速度为 0;保证滑块在导轨上不抖动;调平气垫导轨等。

8 分析总结

通过本实验,我验证了动量守恒定律在弹性与非弹性碰撞中的适用性。在完全弹性碰撞中,动量和动能基本守恒;在完全非弹性碰撞中,动量守恒但机械能不守恒。实验结果与理论分析基本一致,误差在合理范围内,达到了实验目的。