

文章编号:1007-2934(2006)01-0047-04

碰撞打靶实验的设计和探讨

赵在忠

(复旦大学,上海,200433)

摘 要 介绍碰撞打靶实验仪在力学实验中的应用**关键词** 碰撞;打靶;能量损失;恢复系数**中图分类号**:O4-33**文献标识码**:A

1 引言

物体间的碰撞是自然界中普遍存在的现象,从宏观物体的天体碰撞到微观物体的粒子碰撞都是物理学中极其重要的研究课题。本实验通过两个球体的碰撞、碰撞前的单摆运动以及碰撞后的平抛运动,应用力学定律解决问题,从而更深入地了解力学原理,并探讨碰撞中能量损失的诸方面的原因,是一个较好的设计性研究性物理实验。

2 实验装置

碰撞打靶实验仪如图 1 所示。仪器由底盘、升降式立柱、被撞铁球、双线摆、带有升降架的电磁铁、滑槽等组成。底盘是一个内凹式的盒体,是整个仪器的基板,有不让球滚出盘的功能,它有三只螺丝用以调节水平。

底盘的中央,是一个升降台,升降台包括圆柱形的外套和内柱及固定螺丝钉三部分,其内柱可以在外套中自由升降,确定合适的高度后,再用固定螺丝把它固定。实验时被撞球放在内

柱的端面上。端面光滑,以减少摩擦,底盘的右边,有一条滑槽,可供其上的竖尺在水平方向移动,竖尺上有一个升降架,可在尺上升降。升降架上有一块小电磁铁,实验时,用细绳挂在杆上的撞击球(铁球)被吸在电磁铁下,操作时切断电源,即可使撞击球自由下摆并撞

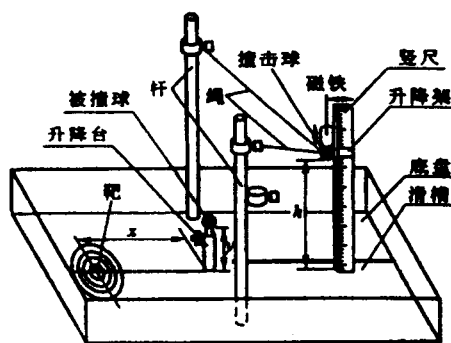


图 1 碰撞打靶实验仪

收稿日期:2005-03-28

击到被撞球,底盘的左边,放有一张靶纸。撞击球以双线摆运动的形式撞击被撞球,然后被撞球以平抛运动落在底盘的靶纸上。

3 实验内容

3.1 调节实验仪底盘的三个螺丝使底盘的水平。

3.2 用电子天平称量撞击球(直径和材料均与被撞球相同)的质量 m_1 ,被撞球的质量 m_2 。

3.3 推导出被撞球的高度 h_0 和靶心位置 x 的函数关系式,其推导过程如下:

$$\text{能量定理:} \quad m_1 g(h_0 - y) = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 \quad (1)$$

式中 m_1 是被撞球的质量, g 是重力加速度, h_0 是撞击球的高度, y 是被撞球的高度, v_1 是撞击球碰撞时的速度。

$$\text{动量定理:} \quad m_1 v_1 = m_2 v_2 + m_1 v_3 \quad (2)$$

v_3 是碰撞后撞击球的速度, v_2 是碰撞后被撞球的速度

$$\text{平抛运动:} \quad X = v_2 t \quad y = \frac{1}{2} g t^2 \quad (3)$$

t 是两球碰撞时刻到被撞球击中靶心位置的时间。

$$\text{由以上(1)~(3)式解得(4)式} \quad h_0 = \frac{(m_1 + m_2)^2 x^2}{16 m_1^2 x^2 y} + y \quad (4)$$

$$\text{如 } m_1 = m_2 \text{ (4)式就简化为 } h_0 = \frac{x^2}{4y} + y$$

3.4 调节撞击球的高低和左右位置,使其在摆动至最低点和被撞球进行正碰。

3.5 在底盘的对称中心线上,选某一合适位置贴上靶纸,以靶心为中心确定 X 值,并以 X 值为依据确定被撞球 h_0 的高度,调节升降台的高度 y 。并移动升降架上的竖尺使被撞球在 h_0 的高度被电磁铁吸住,同时系撞击球的两根细绳要拉直。

3.6 让撞击球撞击被撞球,记下被撞球击中靶纸的位置 X' (可撞击多次求平均),据此计算如击中靶心需要增加撞击球的高度 Δh 。

3.7 球的高度作调整后,再重复若干次试验,以确定能击中靶心的 h 值,观察撞击球在碰撞前和碰撞后的运动状态,分析碰撞前后各种能量损失的原因。

3.8 换质量不同的被撞球重复上述实验。

4 实验数据

实验数据见表1(撞击球和被撞球其质量分别为 28.3g,直径 $\Phi = 1.91 \text{ Cm}$ 同为经淬火处理的高碳钢)

表 1 实验数据表

n	撞击球高度/cm	打靶次数	中靶环数	击中位置/cm	平均值 \bar{x} /cm	Δh /cm
第一组	$h_0 = 20.4$	1	7	18.8	18.8	1.3
		2	7	18.8		
		3	8	18.9		
	$h_1 = 21.7$	1	10	19.9	20.0	
		2	10	19.9		
		3	10	20.1		
第二组	$h_0 = 17.5$	1	7	14.8	15.0	1.2
		2	8	15.1		
		3	8	15.2		
	$h_1 = 18.3$	1	10	15.7	16.0	
		2	10	16.0		
		3	10	16.2		
第三组	$h_0 = 15.2$	1	7	10.7	10.9	0.6
		2	8	10.9		
		3	8	11.1		
	$h_1 = 15.8$	1	10	11.9	12.0	
		2	10	12.0		
		3	10	12.1		

将上述的数据计算整理成表 2

表 2 数据表

n	h_0 /cm	h /cm	Δh /cm	y /cm	\bar{x} /cm	σ/x	ΔE
1	21.7	20.4	1.3	12.3	20.0	6.50%	$3.61 \times 10^{-3} \text{J}$
2	17.5	18.3	0.8	12.3	16.0	4.6%	$2.22 \times 10^{-3} \text{J}$
3	15.2	15.8	0.6	12.3	12.0	3.9%	$1.66 \times 10^{-3} \text{J}$

表中 n 为打靶的组数(每组若干次), h_0 为撞击球的理论高度, h_1 为撞击球击中靶心的实际高度, Δh 为高度的修正值, Y 为被撞球的高度, \bar{x} 为每组打靶的平均中靶的落点, σ/x 为相对误差, ΔE 为碰撞前后的总能量损失。

5 数据分析

5.1 本实验的 ΔE 主要有碰撞中的能量损失, 空气阻力和被撞球与升降台的摩擦力。 h_0 的增加, ΔE 也随着增加反应了实验的真实状况。因为行程的增加, 空气阻力也增加了。

5.2 碰撞中的能量损失, 主要由恢复数 e 来表征, $e = \frac{v_3 - v_2}{v_1 - v'_2} \leq 1$ (v'_2 是碰撞前被撞球的速度)

度)。它的定义是碰撞后两球的分离速度(v_3-v_2)与碰撞前两球的接近速度($v_1-v'_2$)成正比,比值由两球的质料决定。根据机械能守恒定律撞击球在碰撞前由公式(1)得 $v_1 = \sqrt{2g(h-y)}$ 。根据公式(2)和 v'_2 (由于被撞球开始时为静止)得:

$$v_2 = v_1 = v_3 \quad (5) \quad v = \frac{1-e}{2} v_1 \quad (7)$$

$$e = \frac{v_3-v_2}{v_1} \quad (6) \quad v = \frac{1+e}{2} v_1 \quad (8)$$

由上面四式得

$$e = \sqrt{1 - \frac{2\Delta E}{mg(h_0-y)}} = 0.86 \text{ (如选择表 2 的第二组数据代入)}$$

当然 $e = 0.86$ 是在没有排除空气和摩擦系数形成的阻力而损失的能量。实际上 e 要大于 0.86,则将本实验设计为模拟弹性碰撞的实验还是合理的。

6 教学效果和可以探讨的问题

本实验实践主要有以下优点:

- 6.1 在启发学生创造思维方面有显著的作用。如可以对碰撞中的能量损失进行逐个分析,并寻找有效的实验分析方法进行半定量的测量,在这个方面给学生提供了深入实验的空间。如可利用摆球两边的高度差计算出空气阻力造成能量的损失,也可利用已知不同材料和不同形状物体的摩擦系数,计算碰撞时被撞球和升降台的摩擦力造成的能量损失。
- 6.2 增强学生的动手能力。由于本实验仪的升降台、升降架、竖尺、及被控球绳的长短高低都可以进行位置的调整,所以如何在较短的时间内,对诸多不可确定因素进行合理的调整,以使达到理想的碰撞状态,这对学生的动手能力的锻炼是很有益的。
- 6.3 提高学生对物理实验的兴趣。整个实验集众多物理思想于一体,最后以击中 10 环为实验终极,使学生在教学“娱乐”中完成整个实验。

DESIGN AND RESEARCH ON THE EXPERIMENT OF BUMPING AND TARGFING

Zhao Zaizheng

(Fudan University, Shanghai, 200433)

Abstract: The paper introduces the application of the bumping and targeting apparatus on the dynamics experiment.

Key words: bump; target; loss of energy; reset rate