

探究空气阻力对球体斜抛运动的影响

王振鑫¹ 苏文斌² 时彦朋²

1.山东省实验中学 山东济南 250000; 2.山东大学 山东济南 250000

摘 要: 众所周知,物体在运动中会有阻力的存在,空气阻力也是所受阻力的其中一部分。物体运动时空气阻力,即物体运动速度越大,空气阻力就会越大。文章通过同一角度、不同质量、同一小球、同一发射高度、同一小球、同一角度、不同初速度三个方面展开对小球运动时空气阻力的研究。在本实验中主要着手于研究小球斜抛时空气阻力对水平距离的影响。

关键词: 斜抛运动; 空气阻力; 影响

在日常生活中,斜抛运动是非常常见的,人们常会提出自己的猜想,如何投出最远的距离。本文反复研究了斜抛角度与水平距离的关系、初速度与水平距离的关系,以及在一定情况下不同材料与水平距离的关系。在理论计算中,45 度角的投掷距离最远,但在考虑空气阻力的实际实验中,40 度角左右的投掷距离最远。相同体积的钢、塑料和泡沫球中,塑料球的水平投掷距离最远。在物理(必修二)教材“平抛运动”一节中,探讨了平抛运动规律,指出了一般抛物运动的研究方法。如果忽略空气阻力,则当物体平抛或斜抛时,其运动轨迹为抛物线。在本节末尾的“说一说”栏目中提出以下问题:“……但是物体在空气中运动时速度越大,阻力也就越大,所以,研究炮弹运动时,就不能忽略空气的阻力。”

1 实验原理

小球从微型发射器出口出发,通过光电门测小球的初速度,然后让小球落在一个特定的板子上停止计时,由此测出小球飞行时间。接下来通过测量小球初始位置到板子的位置,可以测出小球实际飞行长度,然后我们又可以利用初速度去测小球的理论飞行距离,由此我们可以通过比较二者的差异去得到空气阻力对小球的影响。

2 实验装置

表 1 实验装置目录

1	微型发射器	ME-6825A
2	光电门	ME-9498A
1	光电门支架	ME-6821A
1	飞行时间	ME-6810
1	工作台夹具	ME-9472
1	杆底座	ME-8735
1	90cm 杆	ME-8738
1	45cm 杆	ME-8736
1	无弹跳垫	SE-7347
	需要,但不包括	
	铅锤	SE-8728
	仪表棒	SE-8695

续表

	卷尺	SE-8712A
	复写纸	SE-8693
	850 通用接口	UI-5000
	PASCO Capstone 软件	UI-5400

实验步骤:

- (1) 固定实验装置的角度、发射高度以及发射器的档位。
- (2) 发射小球至计时板。
- (3) 当小球离开发射器口时开始计时,小球砸到计时板时停止计时。
- (4) 测量小球落板位置与发射器口的距离。
- (5) 多次测量取平均值减小误差。
- (6) 更改角度或档位或小球质量继续测量。

3 实验数据表格

在本实验中,我们以 5 度角为一组,每一组测量三次,并在每一组中,测量实际飞行距离和实际飞行时间,与理论飞行距离和理论飞行时间进行比较。在实验的过程中存在实验错误,如表 2 所示,灰色底纹的数据则为实验错误数据,有不同因素导致的如仪器问题、计算问题等。当实验完成之后我们将计算数据平均值、测量平均值和理论平均值进行比较,并得出结论。

表 2 实验数据结论

测量值	理论值	测量值	理论值	理论距离	测量距离 (平均值)
5.18	5.19	0.477	0.496	2.42	2.39
5.17	5.19	0.475	0.498	2.43	
5.18	5.18	0.467	0.497	2.43	
25°					
5.17	5.16	0.57	0.566	2.65	2.69
5.17	5.16	0.57	0.566	2.65	5.16
5.16	0.558	0.566	2.65		
30°					
5.13	5.11	0.64	0.631	2.79	2.81

续表

测量值	理论值	测量值	理论值	理论距离	测量距离 (平均值)
5.07	5.1	0.627	0.631	2.79	
5.11	5.12	0.627	0.632	2.8	
35°					
5.09	5.07	0.713	0.702	2.92	2.93
4.89	5.08	0.778	—	3.82	
5.07	5.07	0.71	0.701	2.91	
5.07	5.07	0.706	0.701	2.91	
40°					
5.06	5.04	0.764	0.761	2.94	2.97
5.04	5.05	0.777	0.761	2.95	
5.04	5.03	0.777	0.76	2.92	
50°					
5.01	5	0.883	0.871	2.8	2.91
5.02	5.03	0.888	0.875	2.83	
5.01	5.02	0.885	0.874	2.82	
塑料球 30°					
5.92	5.92	0.689	0.704	3.6	3.52
5.94	5.92	0.709	0.705	3.6	
5.9	5.95	0.678	0.707	3.64	
铁球+泡沫球					
4.29	4.4	0.639	0.573	2.74	2.45
6.52		0.023			
7.15		0.023			
6.75		0.023			
4.6	5.07	0.593	0.63	2.72	
5.04	4.21	0.603	0.557	3.03	

4 实验示意图、实验受力图及实验结论

根据实验示意图和实验受力图(如图1)我们可以发现,当发射器的发射档位相同时,小球发射时的受力是一定的,在重力和空气阻力的作用下,所得结论如下:

结论(1):同一角度,不同质量的小球飞行时间和飞行距离是不同的。根据理论分析和实际测量我们发现,塑料小球的射程是最远的3.613m,小铁球+泡沫球的射程是最近的2.45m;塑料小球的飞行时间是最大的,平均值为0.692s,泡沫球+铁球的飞行时间是最短的,平均值为0.581s。

结论(2):在空气阻力下,同一小球,同一发射高度(所有计算高度都为42.6cm),不同角度。根据角度的不同,小球的射程和速度(如图2)也有所不同,速度会随着角度的增大逐渐减小,但射程不是。根据理论计算,在不计空气阻力的作用下,45度角的速度和飞行路程是最大的(如图4),但由于空气阻力的作用下,即45度角不是最远射程,而是要小于45度角。在实际测量中,在20度角时,飞行距离为188.95cm(如图3),飞行速度为4.213m/s;在25度角时,飞行距离为199.43cm,飞行速度为4.19m/s;在30度角时,飞行距离为207.4cm,飞行速度为4.17m/s;在35度角时,飞行距离为209.18cm,飞行速度为4.14m/s;在40度角时,飞行距离为211.32cm,飞行速度为4.12m/s;在42度

角时,飞行距离为212.03cm,飞行速度为4.12m/s;在45度角时,飞行距离为208.03cm,飞行速度为4.10m/s;在50度角时,飞行距离为199.10cm,速度为4.09m/s。我们可以总结出,小球质量与小球运动距离的关系是一个二次关系,呈抛物线,小球的速度则为一个一次函数,阻力系数 $k < 0$ 。根据理论分析和实际测量,理论可以证明实验。

结论(3):在空气阻力下,同一小球,同一角度,不同初速度。根据初速度的不同,空气阻力对实验的影响也不同。根据理论计算,计算每组实验的平均空气阻力的值,我们可以发现,速度越大的空气阻力越大,当阻力系数 k 决定为定值时(平均值),可以根据 $f = -kv$ 得出,速度 v 越大,空气阻力越大。在实验中,我们可以发现,当球的速度为5.44m/s时(最大速度,如图6),飞行距离的测量值和理论值(如图5)差为0.32m;当球速在4.20m/s(如图6)时,飞行距离的测量值和理论计算值(图5)的差为0.16m;当球速在3.21m/s时(如图6),飞行距离的测量值和理论计算值(如图5)差为0.06m。

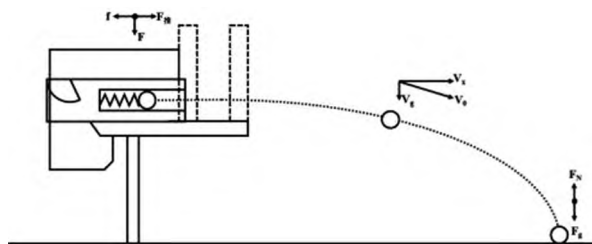


图1

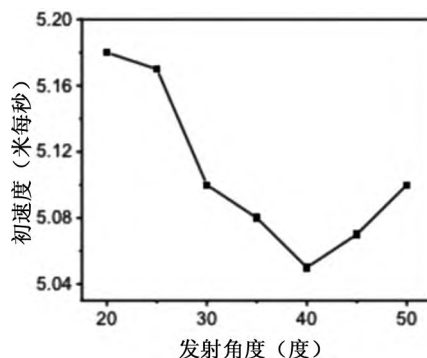


图2

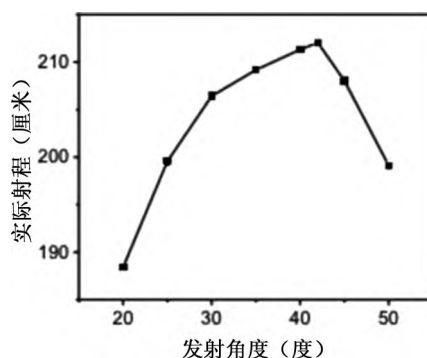


图3

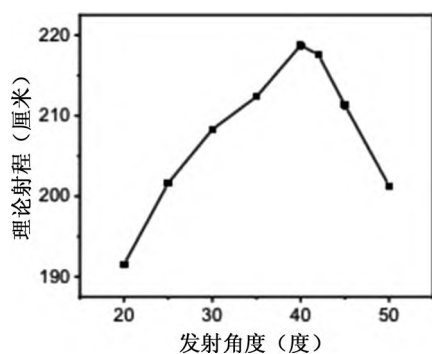


图 4

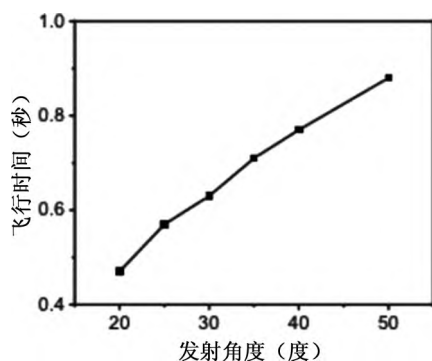


图 5

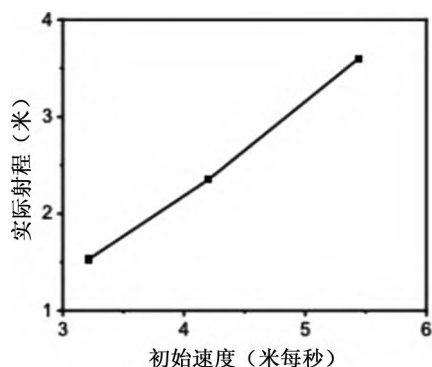


图 6

根据实验,我们可以得出结论,当球初速越大时,空气阻力对小球射程的影响就越大,空气阻力会随着速度的增大而增大。因此,实验与理论相符。

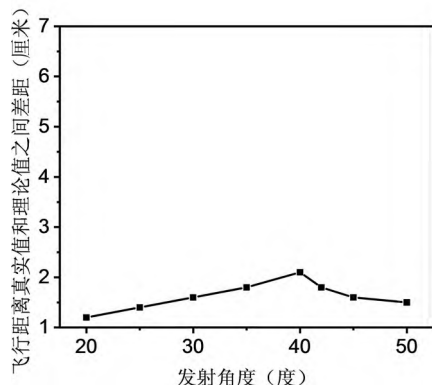


图 7

如图所示,图 7 为研究在不同角度下,飞行距离的真实值和理论值之间的差距。

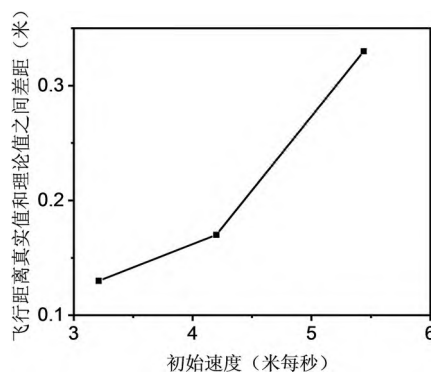


图 8

图 8 为在研究不同初速度下,飞行距离的真实值与理论值的差距。

在实验中,空气阻力计算方法如下,首先由基本公式得 $ft = mv$,所以可以将距离 s 进行微积分,得到速度 v ,然后通过已知的质量 m 和作用力的持续时间 t 求出空气阻力。

5 结论

(1) 在空气阻力作用下,同角度、同高度、同初速度、同体积不同质量的小球质量越大,空气阻力越强。

(2) 在空气阻力的作用下,同发射高度,同一小球,不同角度会对小球的初速度和射程有影响,初速度随着角度的增加而逐渐减小;在 40~45 度角之间会有最远射程。

(3) 在空气阻力的作用下,同发射角度,同一小球,同一高度,不同初速度,初速度越大,对球的空气阻力越强,初速度越小,对球的空气阻力越小。

参考文献:

- [1] 郭学鹏. 抛射体运动的新设计《考虑变气阻力的斜抛运动研究》[J]. 物理通报, 2017, 6.
- [2] 许立明. 抛射体运动的新设计《抛体运动的几点研究》[J]. 科技传播, 2012.
- [3] 张雄, 王黎志, 胡绍明, 等. 新概念物理研究《抛射体运动的实验研究》[J]. 物理通报, 2003, 11.
- [4] 方佳琳, 赖莉飞. 抛射体运动的新设计《抛射体运动的新设计》[J]. 宁波工程学院学报, 2015, 02.