

实验题目:

牛顿第二定律

一. 实验目的

1. 气垫导轨的调整和使用方法
2. 在气垫导轨上测量滑块运动的速度和加速度的原理和方法.
3. 物理天平的使用
4. 用作图法处理实验数据.

二. 实验仪器

气垫导轨, 数字毫秒计, 物理天平等.

三. 实验原理

1. 研究物体在斜面上的运动规律

如果一物体沿平直而光滑的斜面下滑时, 则该物体在恒力(物体所受重力沿斜面的分量)作用下作匀加速直线运动. 下滑时其初速度 v_0 , 速度 v_t , 在时间间隔 t 中下滑的距离 s 和加速度 a 应有如下规律: $v_t^2 = v_0^2 + 2as$.

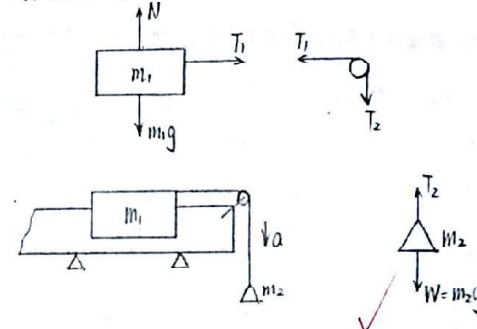
把已经调成水平的气垫导轨的一端用高 h 的垫块垫起, 让滑块从气垫导轨顶端静止滑下, 分别测出滑块在导轨上不同位置 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_i, \dots$ 的速度 $v_1, v_2, v_3, \dots, v_i, \dots$, 并记下相应的下滑距离 $s_1, s_2, s_3, \dots, s_i, \dots$. 在毫米方格纸上作出 v^2-s 关系图. 如果得出一条直线, 说明滑块的运动为匀加速直线运动. 直线的斜率为 $2a$, a 即是匀加速直线运动的加速度. 它应该等于重力加速度 g 沿斜面方向的分量, 即 $a = g \sin \theta = g \frac{h}{L}$.

式中: θ 为导轨与水平面的倾角; L 为气垫导轨两端支撑螺钉之间的距离.

2. 验证牛顿第二定律

导轨调平后, 将一条有砝码盘的柔软细绳跨过滑轮悬挂在滑轮上, 如图所示. 这一系统在重力作用下将以加速度 a 运动. 若滑块的质量为 m_1 , 砝码盘与盘中砝码质量为 m_2 , 滑轮的半径和质量很小, 忽略其转动惯量, 则有以下关系: $T_1 = m_1 a$, $m_2 g - T_2 = m_2 a$, $T_1 = T_2$.

式中: T_1, T_2 代表细绳的张力.



把前两式代入第三式得 $m_2 g = (m_1 + m_2) a$.

令 $M = m_1 + m_2$, 代表运动系统总质量, $F = m_2 g$ 代表系统所受的外力, 则有 $F = Ma$.

实验时可先保持系统总质量 M 不变, 在不同的外力 F 作用下, 测出系统相应的加速度 a . 在毫米方格纸上作 $F-a$ 关系图. 若得一直线则可验证运动系统的加速度与所受外力成正比关系. 其比例系数即直线的斜率就是运动系统的总质量 M . 然后再保持外力 F 不变, 改变系统总质量, 若测得 $M_1 a_1, M_2 a_2, \dots$ 在误差范围内皆等于外力 F , 则说明在相同外力作用下运动系统所获得的加速度大小与系统质量成反比关系. 于是式子 $F = Ma$ 得到验证.

四. 实验步骤

1. 熟悉实验装置, 调节气垫导轨水平
- 1) 用酒精棉擦试气垫导轨和滑块表面.
- 2) 正确使用数字毫秒计测量实验数据. 仪器使用方法参阅该实验室提供的使用说明书.

天津大学物理实验报告

天津大学物理实验报告

附页 2

信息学院 2013 年级 通信 专业 四 班 姓名 何青 成绩

实验日期: 2014.12.9 学号 3013204264 同组实验者 刘莉

实验题目:

牛顿第二定律

13) 把一滑块放在气垫导轨上, 调节两光电门之间的距离在 60cm 左右, 轻轻推动滑块, 使其在导轨上滑行, 观察滑块通过两光电门时, 滑块上遮光板遮光时间 δt_1 和 δt_2 . 若 δt_1 和 δt_2 不相等 ($|\delta t_2 - \delta t_1| > 3\text{ms}$), 应仔细调节导轨支撑螺钉, 直到两次读数大致相等, 表明导轨已达到水平.

2. 验证牛顿第二定律

1) 保持系统总质量不变, 研究外力 F 与加速度 a 的关系. 用适当长度的细线跨过滑轮把滑块与质量为 5.00g 的砝码盘连起来, 将 4 个质量为 5.00g 的砝码作备用, 保持系统总质量不变 (备用的砝码要放在滑块上), 测出系统在 4 个不同外力 F 作用下的加速度 a , 即依次将砝码一个个加在砝码盘上, 分别测量其加速度. 在每个外力作用下重复测量加速度 3 次, 求出平均值 \bar{a} .

测量时可将两光电门之间的距离调节为 70.0cm, 将滑块从气阀一端静止释放, 测出滑块遮光板经过两光电门时的遮光时间 δt_1 和 δt_2 .

2) 保持外力不变, 研究加速度 a 与质量 M 之间的关系. 砝码盘上只放一个 5.00g 的砝码, 分别测量两个不同质量滑块的滑行加速度, 各重复测量 3 次.

3. 滑块在斜面上的运动规律研究.

在导轨一端的支撑螺钉下垫放一个 $h=2.00\text{cm}$ 的垫块, 使导轨倾斜. 将一光电门置于导轨最高端约 20cm 的 A_0 处, 另一光电门先后置于 A_1, A_2, A_3, \dots 处, 使两光电门的距离 s 分别为 50.0, 60.0, 70.0, 80.0, 90.0 cm. 依次测量出导轨高端的滑块从静止状态下滑后通过二光电

门的速度 u_1 和 u_2 . 速度的平方差 $(u_2^2 - u_1^2)$ 与对应的二光电门之间的距离 s 应有线性关系. 作 $u^2 - s$ 关系图, 所得直线的斜率即为加速度 a 的 2 倍.

4. 有关量的测量

用物理天平称出两滑块的质量; 用游标卡尺测出滑块遮光板的宽度 δl .

5. 数据处理

表 1. 保持系统质量不变, 系统加速度与所受外力关系的实验数据.

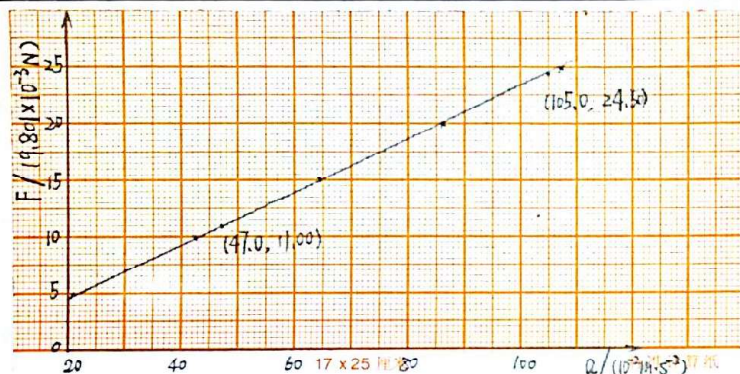
砝码质量 / g	遮光时间		$u_1 = \frac{\delta l}{\delta t_1}$	$u_2 = \frac{\delta l}{\delta t_2}$	$a = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2s}$	\bar{a}
	$\delta t_1 / s$	$\delta t_2 / s$	/ (cm·s ⁻¹)	/ (cm·s ⁻¹)	/ (cm·s ⁻²)	/ (cm·s ⁻²)
5.00	0.262	0.087	19.07	57.40	20.82	20.79
	0.263	0.087	19.00	57.35	20.78	
	0.262	0.087	19.07	57.32	20.76	
10.00	0.198	0.061	25.23	81.42	42.48	42.49
	0.176	0.061	28.37	82.44	42.43	
	0.201	0.062	24.98	81.00	42.57	
15.00	0.157	0.050	31.76	99.86	64.11	64.32
	0.157	0.050	31.52	99.96	64.34	
	0.158	0.050	31.63	100.12	64.50	
20.00	0.142	0.043	35.30	115.37	86.33	86.12
	0.135	0.043	36.92	115.71	85.98	
	0.139	0.043	35.96	115.37	86.65	
25.00	0.129	0.039	38.82	128.47	107.36	107.33
	0.144	0.039	34.76	127.42	107.56	
	0.101	0.038	49.68	132.00	107.08	

两光电门之间的距离 $s=70.0\text{cm}$, 遮光板宽度 $\delta l=5.04\text{cm}$, 滑块质量 $m=189.5\text{g}$. 实验地点 (天津地区) 重力加速度查附录 3 得 9.801m/s^2 .

天津大学物理实验报告

信息 学院 2013 年级 通信 专业 四 班 姓名 何青 成绩

实验日期: 2014.12.9 学号 3013204264 同组实验者 刘莉



作 F - a 关系图得一直线, 即验证了系统质量不变时, 加速度与外力成正比变化。

由直线斜率可求得系统总质量

$$M = \frac{(24.5 - 11.00) \times 10^{-3}}{(105.0 - 47.0) \times 10^{-2}} = 0.228 \text{ (kg)}$$

由称量所得系统总质量

$$M = m_1 + m_2 = 187.5 \text{ g} + 25.00 \text{ g} = 0.2145 \text{ (kg)}$$

两者比较的相对百分差: $\frac{0.228 - 0.2145}{0.2145} = 6.3\%$

表2. 当系统所受外力不变, 系统加速度与质量关系的实验数据 (转页)

$s = 70.0 \text{ cm}$, $l = 50.4 \text{ cm}$, $M_1 = 187.5 \text{ g} + 10.0 \text{ g} = 197.5 \text{ g}$, $M_2 = 340.0 \text{ g} + 10.0 \text{ g} = 350.0 \text{ g}$

质量比列值与加速度的反比列值之间的相对百分差:

$$\frac{M_1/M_2 - a_2/a_1}{M_1/M_2} = \frac{197.5/350.0 - 27.01/45.77}{197.5/350.0} = -3.5\%$$

可见, 外力不变时质量与加速度成反比关系在实验误差范围内得到验证。

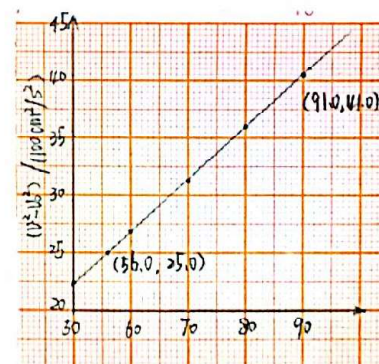
天津大学物理实验报告

附 页 3

小滑块系统					大滑块系统				
$\delta t_1/s$	$\delta t_2/s$	$v_1/(cm \cdot s^{-1})$	$v_2/(cm \cdot s^{-1})$	$a_1/(cm \cdot s^{-2})$	$\delta t_1/s$	$\delta t_2/s$	$v_1/(cm \cdot s^{-1})$	$v_2/(cm \cdot s^{-1})$	$a_2/(cm \cdot s^{-2})$
0.156	0.058	32.00	86.09	45.76	0.207	0.076	24.19	66.11	26.99
0.161	0.058	30.97	85.75	45.80	0.201	0.075	24.92	66.39	27.03
0.156	0.058	32.14	86.18	45.82	0.200	0.075	25.05	66.45	27.02
$\bar{a}_1 = 45.79 \text{ (cm} \cdot \text{s}^{-2}\text{)}$					$\bar{a}_2 = 27.01 \text{ (cm} \cdot \text{s}^{-2}\text{)}$				
$F_1 = M_1 \bar{a}_1 = 9.14 \times 10^{-2} \text{ N}$					$F_2 = M_2 \bar{a}_2 = 9.45 \times 10^{-2} \text{ N}$				
按砝码质量计算的作用力 $F = 9.801 \times 10^{-2} \text{ N}$									

表3. 滑块在斜面上运动的加速度的实验数据

序号 i	A_0/cm	A_i/cm	S/cm	$\delta t_1/s$	$\delta t_2/s$	$v_{0i}/(cm/s)$	$v_i/(cm/s)$	$(v_i^2 - v_0^2)/(100 cm^2/s^2)$
1	20.0	70.0	50.0	0.229	0.096	21.80	52.24	22.5
2	20.0	80.0	60.0	0.229	0.089	21.79	56.20	26.8
3	20.0	90.0	70.0	0.229	0.083	21.81	60.07	31.3
4	20.0	100.0	80.0	0.229	0.078	21.81	63.82	36.0
5	20.0	110.0	90.0	0.229	0.074	21.80	67.22	40.4



作 $(v^2 - v_0^2)$ - S 关系图得到一直线。

天津大学物理实验报告

信息学院 2013 年级 通信 专业 四 班 姓名 何青 成绩 _____

实验日期: 2014.12.9 学号 3013204264 同组实验者 刘莉 _____

实验题目: 牛顿第二定律

由直线斜率 $k=2a = \frac{(41.0-25.0) \times 100}{91.0-56.0} = 45.7 \text{ (cm/s}^2\text{)}$

得加速度 $a = 22.9 \text{ (cm/s}^2\text{)}$

重力加速度沿导轨斜面的分量

$$a = \frac{h}{L} \cdot g = \frac{200}{96.0} \cdot 980.1 = 22.8 \text{ (cm/s}^2\text{)} \quad \checkmark$$

两者的百分差: $\frac{22.9-22.8}{22.8} = 0.4\%$

六. 误差分析

实验误差主要来源于以下方面:

2.1.10

1. 导轨未完全调水平;
2. 空气阻力的影响, 细线、滑轮运动阻力的影响;
3. 气流波动的影响;
4. 宽光板宽度为 5.04cm, 计算时按 5cm 代入;
5. 砝码的质量误差.
6. 操作误差等.

作业纸

实验原始数据

院系 信息 班级 通四 姓名 何青 第 页

牛顿第二定律

1. 保持系统质量不变, 系统加速度与所受外力关系的实验数据

砝码质量/g	遮光时间		$v_1 = \frac{S_1}{\delta t_1}$	$v_2 = \frac{S_2}{\delta t_2}$	$a = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$	\bar{a}
	$\delta t_1/s$	$\delta t_2/s$	/cm/s	/cm/s	/cm/s ²	/cm/s ²
5.00	0.262	0.087	19.07	57.40	20.82	20.79
	0.263	0.087	19.00	57.35	20.78	
	0.262	0.087	19.07	57.32	20.76	
10.00	0.198	0.061	25.23	81.42	42.48	42.49
	0.176	0.061	28.37	82.41	42.43	
	0.201	0.062	24.88	81.00	42.57	
15.00	0.157	0.050	31.76	99.86	64.11	64.32
	0.159	0.050	31.52	99.96	64.34	
	0.158	0.050	31.63	100.12	64.50	
20.00	0.142	0.043	35.30	115.37	86.33	86.12
	0.135	0.043	36.92	115.71	85.98	
	0.139	0.043	35.96	115.37	86.05	
25.00	0.129	0.039	38.82	128.47	107.36	107.33
	0.144	0.039	34.76	127.62	107.56	
	0.101	0.038	67.68	132.00	107.08	

遮光板间距 70cm.

宽 5.04cm → 5cm

支架间距 8600cm

垫块 $h = 2.00cm$

小滑块 189.59

大滑块 340.09

2014-12-9

2. 当系统所受外力不变, 系统加速度与质量关系的实验数据

小滑块					大				
$\delta t_1/s$	$V_1/cm/s$	$V_2/cm/s$	$\delta t_2/s$	$a_1/cm/s^2$	$\delta t_1/s$	$\delta t_2/s$	$V_1/cm/s$	$V_2/cm/s$	$a_2/cm/s^2$
0.156	32.00	86.09	0.058	45.76	0.207	0.076	26.19	66.11	26.99
0.161	30.97	85.75	0.058	45.80	0.201	0.075	26.92	66.38	27.03
0.156	32.14	86.18	0.058	45.82	0.200	0.075	25.05	66.65	27.02
$\bar{a}_1 = 45.79 \text{ cm/s}^2$					$\bar{a}_2 = 27.01 \text{ cm/s}^2$				
$F_1 = M_1 \bar{a}_1 = 9.148 \times 10^{-2} \text{ N}$					$F_2 = 9.45 \times 10^{-2} \text{ N}$				
按砝码质量计算					$F = 9.80 \times 10^{-2} \text{ N}$				

3. 滑块在斜面上运动的加速度的实验数据

序号	A_0/cm	A_1/cm	S/cm	$\delta t_1/s$	$\delta t_2/s$	$V_{01}/cm/s$	$V_{02}/cm/s$	$V_1^2 - V_0^2 / 100 \text{ cm}^2/s^2$
1	20.0	70.0	50.0	0.229	0.096	21.80	52.24	22.5
2	20.0	80.0	60.0	0.229	0.089	21.79	56.20	26.8
3	20.0	90.0	70.0	0.229	0.083	21.81	60.07	31.3
4	20.0	100.0	80.0	0.229	0.078	21.81	63.82	36.0
5	20.0	110.0	90.0	0.229	0.074	21.80	67.22	40.4