

第 3.4 节 验证牛顿运动定律实验

{INCLUDEPICTURE"15WL3-75.TIF"}

一、实验目的

1. 学会用控制变量法研究物理规律。
2. 探究加速度与力、质量的关系。
3. 掌握利用图像处理数据的方法。

二、实验器材

小车、砝码、小盘、细绳、附有定滑轮的长木板、垫木、打点计时器、低压交流电源、导线、纸带、天平、米尺。

考点一 实验原理与操作

[典例 1] 某实验小组利用图实-4-1 所示的装置探究加速度与力、质量的关系。

{INCLUDEPICTURE"LZE-182.TIF"}

图实-4-1

(1)下列做法正确的是_____ (填字母代号)。

- A. 调节滑轮的高度，使牵引木块的细绳与长木板保持平行
- B. 在调节木板倾斜度平衡木块受到的滑动摩擦力时，将装有砝码的砝码桶通过定滑轮拴在木块上
- C. 实验时，先放开木块再接通打点计时器的电源
- D. 通过增减木块上的砝码改变质量时，不需要重新调节木板倾斜度

(2)为使砝码桶及桶内砝码的总重力在数值上近似等于木块运动时受到的拉力，应满足的条件是砝码桶及桶内砝码的总质量_____木块和木块上砝码的总质量。(选填“远大于”、“远小于”或“近似等于”)

(3)甲、乙两同学在同一实验室，各取一套图示的装置放在水平桌面上，木块上均不放砝码，在没有平衡摩擦力的情况下，研究加速度 a 与拉力 F 的关系，分别得到图实-4-2 中甲、乙两条直线。设甲、乙用的木块质量分别为 $m_{\text{甲}}$ 、 $m_{\text{乙}}$ ，甲、乙用的木块与木板间的动摩擦因数分别为 $\mu_{\text{甲}}$ 、 $\mu_{\text{乙}}$ ，由图可知， $m_{\text{甲}}$ _____ $m_{\text{乙}}$ ， $\mu_{\text{甲}}$ _____ $\mu_{\text{乙}}$ 。(选填“大于”、“小于”或“等于”)

{INCLUDEPICTURE"LZE-182+.TIF"}

图实-4-2

[题组突破]

1. 关于“验证牛顿第二定律”实验中验证“作用力一定时，加速度与质量成反比”的实验过程，以下做法中正确的是()

- A. 平衡摩擦力时，应将装沙的小桶用细绳通过定滑轮系在小车上
- B. 每次改变小车的质量时，不需要重新平衡摩擦力

C. 实验时，先放开小车，再接通电源

D. 可以利用天平测出沙桶和沙质量 m 和小车质量 M ，直接用公式 $a=\frac{mg}{M}$ 求出加速度

2. 图实-4-3 为验证牛顿第二定律的实验装置示意图。

{INCLUDEPICTURE"15WL3-78.TIF"}

图实-4-3

{INCLUDEPICTURE"15WL3-120.TIF"}

图实-4-4

(1)平衡小车所受阻力的操作：取下_____，把木板不带滑轮的一端垫高；接通电火花计时器电源，轻推小车，让小车拖着纸带运动。如果打出的纸带如图实-4-4 所示，则应_____ (选填“减小”或“增大”)木板的倾角，反复调节，直到纸带上打出的点迹_____ 为止。

(2)图实-4-5 为研究“在外力一定的条件下，物体的加速度与其质量的关系”时所得的实验图像，横坐标 m 为小车上砝码的质量。设图中直线的斜率为 k ，在纵轴上的截距为 b ，若牛顿第二定律成立，则小车受到的拉力为_____，小车的质量为_____。

{INCLUDEPICTURE"15WL3-79.TIF"}

图实-4-5

考点二 数据处理与误差分析

【典例 2】 (2015·宁德质检)某次“探究加速度 a 跟物体所受合力 F 和质量 m 的关系”实验过程是：

{INCLUDEPICTURE"15WL3-80a.TIF"}

图实-4-6

(1)图实-4-6 甲所示为实验装置图。图乙为某次实验得到的一段纸带，计数点 A 、 B 、 C 、 D 、 E 间的时间间隔为 0.1 s ，根据纸带可求出小车的加速度大小为_____ m/s^2 (结果保留两位有效数字)。

(2)保持小车质量不变，改变砂和砂桶质量，进行多次测量。根据实验数据做出了加速度 a 随拉力 F 的变化图线，如图实-4-7 所示。图中直线没有通过原点，其主要原因是

_____。

{INCLUDEPICTURE"15WL3-82.TIF"}

图实-4-7

(3)保持砂和砂桶质量不变，改变小车上砝码质量，进行多次测量，得到小车加速度 a 、质量 m 及其对应的 $\frac{1}{m}$ 的数据如表中所示：

实验次数	1	2	3	4	5	6	7	8
小车加速度 $a/\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	1.90	1.72	1.49	1.25	1.00	0.75	0.50	0.30
小车和砝码质量 m/kg	0.25	0.29	0.33	0.40	0.50	0.71	1.00	1.67
$\{eq \lf(1,m)\}/\text{kg}^{-1}$	4.00	3.45	3.03	2.50	2.00	1.41	1.00	0.60

a. 请在坐标纸中画出 $a-\{eq \lf(1,m)\}$ 图线;

{INCLUDEPICTURE"15WL3-83.TIF"}

图实-4-8 $\{eq \a\vs4\al(,,,,,,)\}$ $\{eq \a\vs4\al(,,,,)\}$

b. 根据作出的 $a-\lf(1,m)$ 图像可以得到的结论是: _____。

[题组突破]

3. 用图实-4-9(a)所示的实验装置验证牛顿第二定律:

(1) 某同学通过实验得到如图(b)所示的 $a-F$ 图像, 造成这一结果的原因是: 在平衡摩擦力时木板与水平桌面间的倾角_____ (填“偏大”或“偏小”)。

{INCLUDEPICTURE"15WL3-85.TIF"}

图实-4-9

(2) 该同学在平衡摩擦力后进行实验, 实际小车在运动过程中所受的拉力_____ 砝码和盘的总重力(填“大于”、“小于”或“等于”), 为了便于探究、减小误差, 应使小车质量 M 与砝码和盘的总质量 m 满足_____ 的条件。

(3) 某同学得到如图实-4-10 所示的纸带。已知打点计时器电源频率为 50 Hz。A、B、C、D、E、F、G 是纸带上 7 个连续的点。 $\Delta s = s_{DG} - s_{AD} =$ _____ cm。由此可算出小车的加速度 $a =$ _____ m/s^2 (保留两位有效数字)。

{INCLUDEPICTURE"15WL3-86.TIF"}

图实-4-10

4. 某探究小组在做“探究加速度与力、质量的关系”实验时, 采用如图实-4-11 所示的装置, 通过控制装置让两小车同时开始运动, 同时停止, 测量两小车运动的位移, 从而讨论加速度与力、质量的关系。某次实验中, 测得两小车总质量均为 300 g, 现保持两小车质量不变, 改变盘中砝码的质量, 进行几次实验, 得到的数据如下表, 表中的 m_1 、 m_2 分别表示两盘与砝码的总质量, x_1 、 x_2 分别表示两小车运动的位移。

{INCLUDEPICTURE"15WL3-87.TIF"}

图实-4-11

(1) 在安装实验装置时, 应调整滑轮的高度, 使_____; 在实验时, 为减小系统误差, 应使砝码盘和砝码的总质量_____ 小车的质量(选填“远大于”、“远小于”或“等于”)。

(2) 由运动学知识可知, 两小车加速度之比 $\{eq \lf(a_1,a_2)\}$ 与位移之比 $\{eq \lf(x_1,x_2)\}$ 之间的大小 关系为_____ (选填“相等”、“不相等”、“没有关系”)。

次数	小车 1		小车 2		比值	
	m_1/g	x_1/cm	m_2/g	x_2/cm	m_1g/m_2g	x_1/x_2
1	9.00	28.80	14.00	45.00	0.64	0.64
2	9.00	23.20	19.00	50.50	0.47	0.46
3	14.00	29.90	24.00	52.20	0.58	0.57
4	14.00	23.40	29.00	51.20	0.48	0.46

(3)用 m_1g 和 m_2g 分别代表两小车所受拉力。根据实验数据可知,当小车的质量不变时,小车的加速度与拉力的关系是:_____。

考点三 实验的改进与创新

[典例 3] 某同学利用如图实-4-12 所示的装置探究“小车的加速度与所受合外力的关系”,具体实验步骤如下:

{INCLUDEPICTURE"15WL3-88.TIF"}

图实-4-12

- 按照图示安装好实验装置,挂上砂桶(含少量砂子)。
- 调节长木板的倾角,轻推小车后,使小车沿长木板向下运动,且通过两个光电门的时间相等。
- 取下细绳和砂桶,测量砂子和桶的质量 m ,并记下。
- 保持长木板的倾角不变,不挂砂桶,将小车置于靠近滑轮的位置,由静止释放小车,记录小车先后通过光电门甲和乙时显示的时间。
- 重新挂上细绳和砂桶,改变砂桶中砂子的质量,重复 B~D 步骤。

(1)若砂桶和砂子的总质量为 m ,小车的质量为 M ,重力加速度为 g ,则步骤 D 中小车加速下滑时所受合力大小为_____。(忽略空气阻力)

{INCLUDEPICTURE"15WL3-89.TIF"}

图实-4-13

- 用游标卡尺测得遮光片宽度 $d=$ _____mm。
- 若遮光片的宽度为 d ,光电门甲、乙之间的距离为 l ,显示的时间分别为 t_1 、 t_2 ,则小车的加速度 $a=$ _____。
- 有关本实验的说法正确的是_____。

- 砂桶和砂子的总质量必须远远小于小车的质量
- 小车的质量必须远远小于砂桶和砂子的总质量
- 平衡摩擦力时要取下细绳和砂桶
- 平衡摩擦力时不能取下细绳和砂桶

[题组突破]

5. 某同学利用图实-4-14(a)所示实验装置及数字化信息系统获得了小车加速度 a 与钩码

的质量 m 的对应关系图,如图(b)所示。实验中小车(含发射器)的质量为 200 g,实验时选择了不可伸长的轻质细绳和轻定滑轮,小车的加速度由位移传感器及与之相连的计算机得到。回答下列问题:

{INCLUDEPICTURE"GKJXKB1-10.TIF"}

{INCLUDEPICTURE"GKJXKB1-10A.TIF"}

图实-4-14

(1)根据该同学的结果,小车的加速度与钩码的质量成_____(填“线性”或“非线性”)关系。

(2)由图(b)可知, $a-m$ 图线不经过原点,可能的原因是_____。

(3)若利用本实验装置来验证“在小车质量不变的情况下,小车的加速度与作用力成正比”的结论,并直接以钩码所受重力 mg 作为小车受到的合外力,则实验中应采取的改进措施是_____,钩码的质量应满足的条件是_____。

6.如图实-4-15所示是利用光电门探究“滑块加速度与外力关系”的实验装置。滑块上的挡光板的宽度为 d ,滑块出发点到光电门位置的距离为 l 。使滑块从起点由静止开始运动。光电计时器记录下滑块上挡光板通过光电门的时间为 Δt 。

{INCLUDEPICTURE"15WL3-121.TIF"}

图实-4-15

(1)滑块小车通过光电门时的瞬时速度 $v=$ _____。

(2)滑块小车的加速度 $a=$ _____。

(3)换用不同钩码拉,测出多组不同拉力 F 对应的 Δt ,用图像法处理获得的数据,若以拉力 F 为纵坐标,则应以_____为横坐标,才能得出加速度与合外力的正比关系。

7.如图实-4-16所示,是一种可以用来测量动摩擦因数的实验装置。长木板用铁架台支撑起来形成一个斜面。打点计时器固定在斜面上,滑块拖着穿过打点计时器的纸带从斜面上滑下。

{INCLUDEPICTURE"15WL3-122.TIF"}

图实-4-16

在实验中得到的一条纸带,如图实-4-17,是实验中得到的纸带的一部分,分别测量 B 、 C 、 D 、 E 、 F 、 G 到 A 点的距离 s ,以打下 A 点的时刻为时间 t 的计时起点,根据 s 、 t 对应数据,做出 $s-t^2$ 图线如图-4-18所示。

{INCLUDEPICTURE"15WL3-124.TIF"}

图实-4-17

{INCLUDEPICTURE"15WL3-123.TIF"}

图实-4-18

(1)从图线能够判断出,打下 A 点时,小车的运动速度 $v_A=$ _____,图线斜率 k 与小车加速度 a 的关系是_____。

(2)从图线可知, 小车的加速度 $a=$ _____ cm/s^2 。

(3)为测量滑块与长木板之间的动摩擦因数, 还应该测量出下列物理量中的 _____ (填选项前面的字母)。

- A. 斜面长度 L
- B. 斜面高度 h
- C. 滑块的质量 m
- D. 滑块运动的时间 t

滑块与木板间的动摩擦因数 $\mu=$ _____ (用所测物理量表示, 重力加速度为 g)。与真实值相比, 这种方法测量的动摩擦因数 _____ (填“偏大”或“偏小”)。