

实验校本评量

实验手册

高中物理

第一版

2026年5月4日

马来西亚华文独立中学

(MICSS)

## 编辑说明

本手册是根据董教总华文独中工委统一课程委员会物理学科委员会所拟定的《高中物理课程标准》（简称“课标”）编写。有关课标拟定时参考了我国教育部颁发的中学新课程纲要以及世界其他国家或地区高中物理课程纲要及标准。在此框架下，实验是高中理科学习的核心环节，是将抽象理论转化为具体认知的关键桥梁。本手册作为考试局高中理科实验校本评量的工具，旨在建立一套科学、系统的实验教学评价体系。

本手册的编写特色体现在以下两个方面：

- (1) 校本评量的核心在于“以评促教、以评促学”。本手册设计的评量方案贯穿实验全过程 - 从操作规范、数据采集到分析论证，每个环节都有明确的思维导向和能力要求。我们不仅关注实验结果的准确性，更重视科学思维的培养：你如何提出假设？如何设计对照？如何分析误差？如何从数据中发现规律？
- (2) 手册精选的实验项目既涵盖课程标准要求，又融入独中特色，在保障基础技能训练的同时，为学生提供了拓展探究的空间。每个实验的探讨都经过精心设计，力求客观反映学生的综合科学素养。

本手册承蒙专家学者及多位独中资深教师悉心审阅，在实验设计与内容编修方面提供了宝贵意见。谨此一并致以诚挚谢意。

我们相信，真正的科学教育发生在动手实践和深度思考的交汇处。愿这本手册能成为学生探索科学世界的指引，在严谨的实验过程中培养求真务实的科学精神，在探究体验中收获发现与成长的喜悦。

对于手册中疏漏不足之处，敬请大家不吝指正。

董总考试局  
2026年1月

# 目录

	页数
编辑说明	ii
目录	iii
探究自由落体运动规律实验	1
牛顿第二运动定律实验	5
欧姆定律实验	10
电流的磁效应与电磁感应实验	14
杨氏双缝实验	20
二维运动学实验	23
动量守恒实验	28
回心力实验	32
单摆的周期实验	36
弹簧振子振荡周期实验	40
光栅实验	44
固体比热实验	49
熔化潜热实验	53
波义耳定律实验	56
电容器的充电与放电实验	58
电动势与内电阻实验	64
电磁感应实验	68
参考答案	71

## 探究自由落体运动规律实验

### 实验假设

在忽略空气阻力的情况下，自由下落的重物做匀加速直线运动，其瞬时速度  $v$  与时间  $t$  成正比。

### 实验目的

探讨自由落体的位移，速度与时间的关系。

### 实验器材

器材	规格	数量
打点计时器	6 V ~12 V, 50 Hz	1
打点纸带	长 2 m	1
金属重物	100 g ~ 50 g	1
甄架		1
G 型夹		1
胶带		1
夹子		1
垫物		1
低压交流电源	视打点计时器而定	1

## 实验步骤

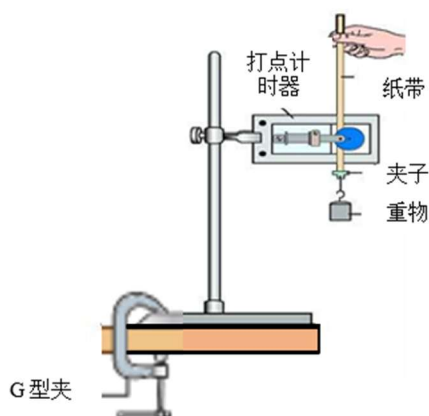


图 1

1. 将打点计时器固定在甄架上，离地大约 2 m，并利用 G 型夹固定于桌子上，如图 1 所示。
2. 将垫物置于重物的预定落点，用以吸收冲击，避免重物下落时损坏地面或重物本身。
3. 利用夹子将纸带的一端固定在重物上（纸带与重物连接处应加固，例如多层胶带包裹），并确保纸带能从打点器垂直拉出。
4. 启动打点计时器，然后释放重物，使重物拉着纸带一起下落并被打点。
5. 在纸带的开头处，选取一清晰且稳定的打点设定为第 0 点，之后按顺序标出第 5 点、第 10 点、第 15 点、第 20 点、第 25 点和第 30 点。
6. 测量每隔 5 个打点的间距  $y_n$ ，填入表 1。
7. 计算纸带上每隔 5 个打点的时间间隔  $\Delta t$ ，并计算出平均速度  $v_n = \frac{y_n}{\Delta t}$ 。
8. 计算每组的中间点时间  $t_n = (n - \frac{1}{2}) \cdot \Delta t$  ( $n = 1, 2, \dots$  间距序列)，并利用表 1 中的数据，绘制出  $v_n$  对  $t_n$  的关系图。
9. 从  $v_n$  对  $t_n$  的关系图求出最佳拟合线的斜率。

## 实验结果

1. 纸带上每隔 5 个打点的时间间隔， $\Delta t$ 。
- 2.

间距序列 $n$	点号区间	位移 $y_n$ (mm)	中间点时间 $t_n$ (s)
1	第 0-5 点		
2	第 5-10 点		
3	第 10-15 点		
4	第 15-20 点		
5	第 20-25 点		
6	第 25-30 点		

表 1

说明:

位移  $y_n$  的量测以 mm 为单位记录, 这是因为毫米刻度能在大多数尺具上清楚读取, 有助于降低读数误差并确保记录的有效数字准确。在计算过程中再将 mm 换算为 m, 可兼顾量测精度与计算规范。

理论说明:

我们可以近似认为, 每一段纸带的平均速度  $v_n$  等于该段时间中间时刻的瞬时速度。

3. 附上绘制  $v_n$  对  $t_n$  的关系图于这份实验报告中。

## 讨论

1. 试举出各一个操纵性变量、反应性变量和固定性变量。
2. 已知赤道附近的重力加速度值  $g_e$  为  $9.78 \text{ ms}^{-2}$ , 试计算实验误差百分率  $\Delta$ 。

3. 除了空气阻力与刻度尺精密度的限制之外，请解释本实验仍可能出现误差的其他原因，并据此提出一个改善建议。
  
4. 在实验中，如果空气阻力不可忽略，纸带上的打点间距和速度—时间关系图会出现什么变化？请结合原因加以说明。

## 牛顿第二运动定律实验

### 实验假设

**实验 A:** 在质量一定的情况下，小车的加速度  $a$  与所受合力  $F$  成正比。

**实验 B:** 在牵引力一定的情况下，小车的加速度  $a$  与其总质量  $M$  成反比。

### 实验目的

**实验 A:** 探究物体的加速度与受力的关系。

**实验 B:** 探究物体的质量与加速度的关系。

### 实验器材

器材	规格	数量
打点计时器	6 V ~ 12 V, 50 Hz	1
打点纸带		适量
重物 (0.5 kg 砝码或附加小车)		3
跑道		1
小车		1
胶带		1
甄架		1
电子天平		1
弹性线	未拉伸前长度约 20 cm	4
低压交流电源	视打点计时器而定	1

## 实验步骤

### 实验 A

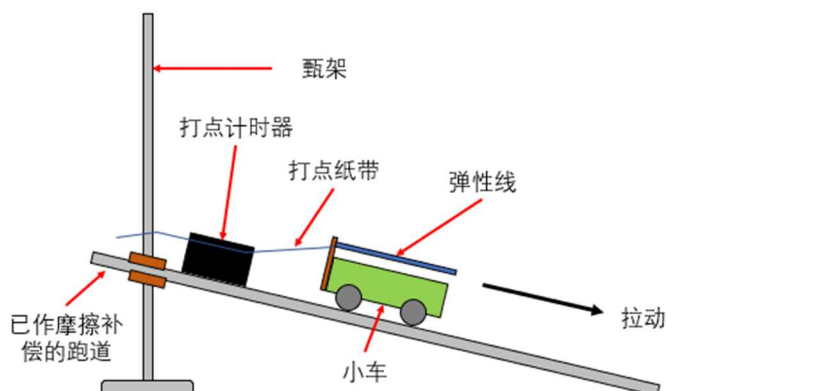
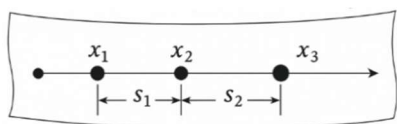


图 1

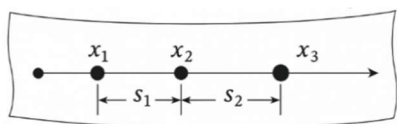
1. 测量小车的质量，并记录于表 1 中。
2. 按图 1 组装器材，并调整跑道至摩擦补偿状态（轻敲跑道时刚好能让小车做近似匀速滑动的斜度）。
3. 启动打点计时器，使用一条弹性线沿轨道拉动小车。实验过程中，弹性线的拉伸长度都必须一直保持不变。放开小车，使其在恒定拉力作用下通过打点器。
4. 完成打点后切断电源，取下纸带，并在纸带上标上纸带号码。
5. 分别以两条、三条和四条弹性线拉动小车，重复步骤 3-4。弹性线应并联使用，每次拉伸长度须与步骤 3 完全一致。
6. 从每条纸带中选取起始阶段之后、间距清晰稳定的一段打点区。选取连续 3 个打点，测量相邻打点的位移  $S_1$  和  $S_2$ ，记录于表 1，并利用公式  $S_2 - S_1 = a(\Delta t)^2$  计算加速度  $a$ 。



7. 利用表 1 中的数据，绘制  $a$  对弹性线的数目  $N$  的关系图。

## 实验 B

1. 按图 1 组装器材，并将跑道调至摩擦补偿状态。
2. 启动打点计时器，使用两条弹性线沿轨道拉动小车。弹性线的拉伸长度须一直保持不变。
3. 完成打点后切断电源，取下纸带，并在纸带上标上纸带号码。
4. 逐渐在小车上加入重物，每增加一次质量，就重复步骤 2-3，得到多条纸带。弹性线的拉伸长度在各次实验中必须保持与最初相同。
5. 记录小车和重物的总重量  $M$  和  $\frac{1}{M}$  于表 2 中。
6. 从每条纸带中选取起始阶段之后、间距清晰稳定的一段打点区。选取连续 3 个打点，测量相邻打点的位移  $S_1$  和  $S_2$ ，记录于表 2，并利用公式  $S_2 - S_1 = a(\Delta t)^2$  计算加速度  $a$ 。



7. 利用表 2 中的数据，绘制  $a$  对  $\frac{1}{M}$  的关系图。

## 实验结果

1. 小车的质量  $m =$  \_\_\_\_\_ kg
2. 每两个相邻点的时间间隔  $\Delta t =$  \_\_\_\_\_ s。

弹性线的数目 $N$	位移 $S_1$ (m)	位移 $S_2$ (m)	$\Delta S = S_2 - S_1$ (m)	加速度 $a$ ( $\text{ms}^{-2}$ )
1				
2				
3				
4				

表 1

3.

小车的总质量 $M$ (kg)	$\frac{1}{M}$ (kg <sup>-1</sup> )	位移 $S_1$ (m)	位移 $S_2$ (m)	$\Delta S = S_2 - S_1$ (m)	加速度 $a$ (ms <sup>-2</sup> )

表 2

4. 附上绘制的  $a$  对  $N$  和  $a$  对  $\frac{1}{M}$  的图表纸于这份实验报告中。

### 讨论

1. 试举出实验 A 的各一个操纵性变量、反应性变量和固定性变量。
2. 说明为什么在实验 A 与实验 B 中，弹性线的拉伸长度必须在每次实验中保持相同。
3. 根据上面两个实验所绘的关系图，试解释物体的质量、加速度和所受力之间的关系：
  - a) 说明实验 A 的关系图所显示的物体加速度与力之间的关系。
  - b) 说明实验 B 的关系图所显示的物体加速度与质量之间的关系。
  - c) 综合两个实验的结论，写出物体所受力、质量与加速度之间的普适关系。
5. 在实验 A 中，如果所使用的弹性线因老化而导致弹力减弱，试分析这会对实验结果及其关系图造成的影响，并提出一个可行的方法以确保所得数据可靠。

6. 在摩擦力保持不变的前提下，若将跑道的斜度调至“小于摩擦补偿”的角度，分别说明这对实验 A 和实验 B 所绘出的关系图会造成什么影响。

## 欧姆定律实验

### 实验假设

在温度保持不变的情况下，通过金属导体的电流  $I$  与其两端电压  $V$  成正比关系，其比值为常数，该常数就是导体的电阻  $R$ 。

### 实验目的

1. 探究导体在恒温条件下中电流与电压的关系，并求出导体的电阻值。
2. 采用低电阻法与高电阻法测定未知电阻  $R$ ，并分析仪表内阻对测量结果所造成的系统误差差异。

### 实验器材

器材	规格	数量
待测电阻	10 $\Omega$ 或 20 $\Omega$	1
安培计	0 ~ 50 mA ~ 500 mA ~ 5 A	1
伏特计	0 ~ 5 V ~ 15 V	1
干电池	1.5 V、D 型	2
电池座	2D 或 4D	1
可变电阻器	60 $\Omega$ 、1.5 A	1
电键	按键式或单刀单掷	1
导线	一般（含红色及黑色鳄鱼夹）	8

## 实验步骤

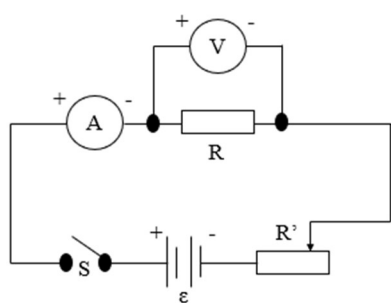


图 1

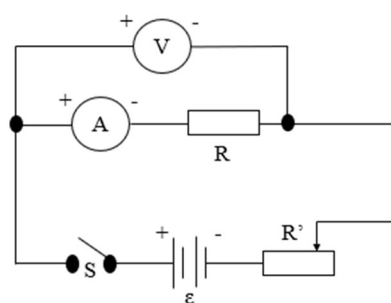


图 2

1. 首先采用低电阻测量法，设置如图 1 所示电路。
2. 先调整可变电阻器  $R'$  使其达最大电阻值，按下电键  $S$ ，接通电路，选择一适当的起始值，开始读取安培计及伏特计的数值，然后记录于表 1 中。
3. 调整可变电阻器  $R'$ ，逐渐减少  $R'$  的阻值，使待测电阻  $R$  两端电压每次升高  $0.2\text{ V}$ ，逐次记录安培计与伏特计的读数于表 1 中。
4. 利用表 1 中的数据，绘制  $I$  对  $V$  的关系图，标示为曲线 A。
5. 计算待测电阻  $R$  的测量值，再取平均值。
6. 改用高电阻测量法，设置如图 2 所示电路，重复步骤 2 至 5。将实验记录在表 2 中，并在同一张图表纸上绘出曲线 B。

## 实验结果

1. 低电阻测量法：

序	$V \pm \text{_____} / \text{V}$	$I \pm \text{_____} / \text{mA}$	$R / \Omega$
1			
2			
3			
4			
5			
待测电阻的平均值， $R_{10}$			

表 1

2. 高电阻测量法:

序	$V \pm \text{_____} / \text{V}$	$I \pm \text{_____} / \text{mA}$	$R / \Omega$
1			
2			
3			
4			
5			
待测电阻的平均值, $R_{hi}$			

表 2

3. 附上绘制的  $I$  对  $V$  的图表纸于这份实验报告中。

### 讨论

1. 试举出实验的各一个操纵性变量、反应性变量和固定性变量。
2. 为何实验时均须自高电阻开始逐次减少但绝不可使电路中无电阻?
3. 若待测电阻  $R$  的实际电阻值为\_\_\_\_\_。  
试分别计算两种测量法的误差百分率  $\Delta$ ?
4. 试说明与比较两种测量法所测电流、电压的读数, 经公式计算出电阻时产生误差的原因。

5. 在本实验中，伏特计的内阻  $R_v$  虽很大但有限，安培计的内阻  $R_a$  虽很小但非零。现欲测量一个未知电阻  $R_x$ ，且仅允许从“低电阻测量法”与“高电阻测量法”中选择其一，并自行决定安培计与伏特计的量程。请根据仪表内阻对电路的影响，提出一套判断原则，以选择最适合的测量接法与量程，使由仪表内阻造成的系统误差尽可能减小。

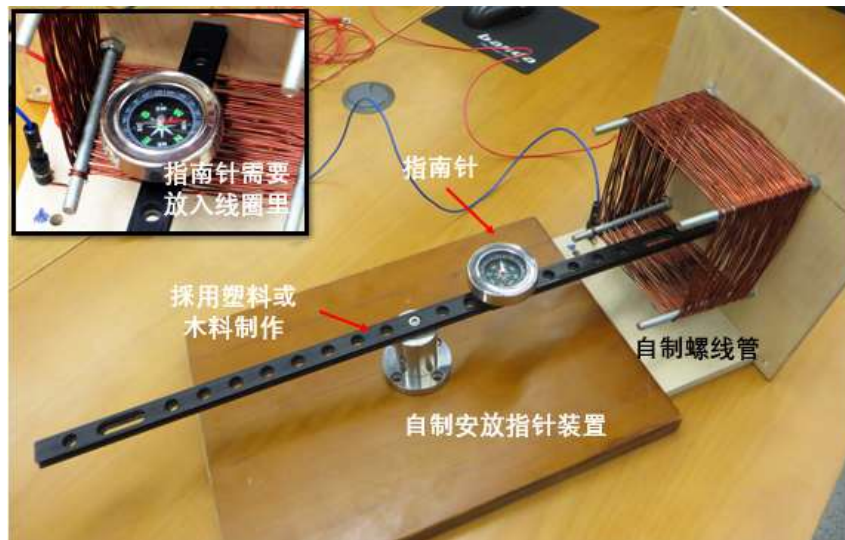
## 电流的磁效应与电磁感应实验

### 实验准备

因为实验 A 需要将指南针放入线圈的中间进行观察，若无法在市场购买合适的线圈或安放指针装置，教育工作者可以根据下图，在课前与学生一起仿制一个螺线管（25、50、100 匝数）和安放指针装置。

### 建议：

教育工作者可以通过这个准备过程观察学生是否充分展现团队合作和科学态度，例如是否一起或认真准备等等。



照片来源：<https://physlab.org/class-demo/oersteds-law/>

### 实验假设

**实验 A：**通电导线周围会产生磁场。若电流增大或线圈匝数增加，则磁场强度也会增强，表现为指南针偏转角度随之增大；若反转电流方向，则指南针偏转方向也会相反。

**实验 B：**只有当穿过线圈的磁通量发生变化时，才会在导线上感应出电流。即当磁铁或线圈相对运动时，电流计指针会发生偏转；而磁铁或线圈保持静止时，电流计不会偏转。

## 实验目的

**实验 A:** 探究影响电流磁效应的因素。

**实验 B:** 观察电磁感应现象。

## 实验器材

器材	规格	数量
条形磁铁		1
指南针		1
铜导线	一般（含红色及黑色鳄鱼夹）	至少 4 条
干电池	1.5 V、D 型	2
双节电池座		1
电键	单刀单掷	1
灯泡和灯泡座		1
线圈	25、50、100 匝数	不同匝数各 1 个
安放指针装置		1
木片	长 × 宽 × 高 ~ 2cm × 4cm × 0.3cm	6
电流计		1

## 实验步骤

### 实验 A

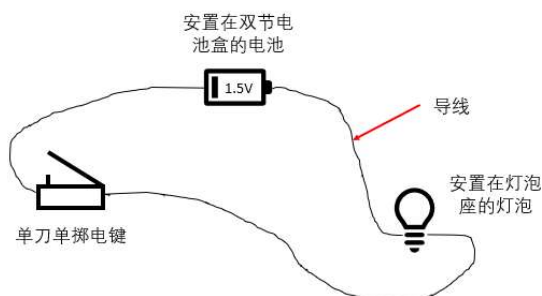


图 1

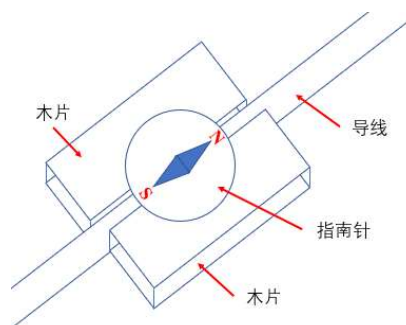


图 2

1. 设置如图 1 的闭合电路。按下电键，确保灯泡亮灯，证明闭合电路的设置正常，然后断电。
2. 将指南针平放在桌面上，保持针面朝上，确保指针稳定指向北方。利用条形磁铁确保指南针正常操作。
3. 将导线置于两片木片间，把指南针置放于木块和导线上，如图 2。
4. 按下电键，观察指南针指针，并把观察记录于表 1。在记录观察时，断开闭合电路。此为初始设置，除非有特别声明，否则以下实验需要与这个初始设置做比较。
5. 用其余的木片架高指南针。重复步骤 4。
6. 移开木片，将导线置放于指南针上。重复步骤 4。
7. 手动调换导线连接，以便反转电流。重复步骤 4。
8. 将两个 1.5 伏电池串联连接。重复步骤 4。
9. 维持上述串联连接，逐个替换不同匝数的螺线管，连接上闭合电路，并将指南针安放在自制装置，然后靠近线圈中央。重复步骤 4。

## 实验 B

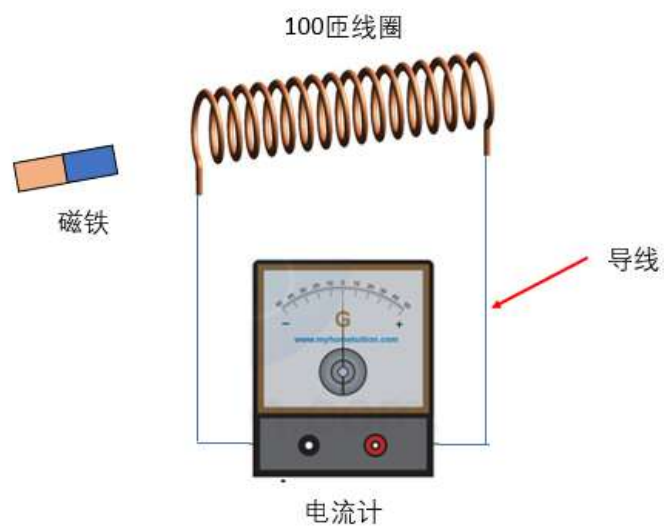


图 3

1. 依据图 3 设置器材。
2. 将磁铁固定在线圈附近，观察电流计指针，并把观察记录于表 2。
3. 用手将磁铁移入线圈里，观察电流计指针，并把观察记录于表 2。
4. 用手将磁铁移出线圈里，观察电流计指针，并把观察记录于表 2。
5. 将磁铁固定在线圈附近，移动线圈靠近和远离磁铁，观察电流计指针，并把观察记录于表 2。

## 实验结果

1. 当开启和断开闭合电路时，与初始设置作比较，并叙述指针的偏转角度和方向。在最后的观察项目，仅需要与第 e 项，以及不同匝数的螺线管之间作比较。

观察项目	观察结果
a. 导线置于两片木片间，把指南针置放于导线上。（初始设置）	
b. 导线置于架高的木片间，把指南针置放于导线上。	
c. 导线置放于指南针上方。	
d. 调换导线连接，反转电流。	
e. 两个电池串联连接。	
f. 替换不同匝数的螺线管，将指南针靠近线圈中央。	

表 1

2. 观察电流计指针的偏转方向，并将观察记录打√。

磁铁的位置状 态	线圈的位置状 态	电流计的偏转		
		向左偏转 (-)	维持在零 (0)	向右偏转 (+)
固定 (在线圈外)	固定			
移入线圈里	固定			
移出线圈里	固定			
固定	移动靠近磁铁			
固定	移动远离磁铁			

表 2

### 讨论

1. 试举出实验 A 的第 e 项和第 f 项的各一个操纵性变量、反应性变量和固定性变量。
2. 试从以上两个实验，解释电流磁效应和电磁感应有什么不同？
3. 在实验 A，为何每次完成观察项目的观察后，学生需要断开闭合电路？
4. 试以磁场强度与电流大小解释实验 A 第 e 项为何会导致所观察的结果？
5. 试从以上第 4 题的解答中，提出两项该注意的事项，并加以解释？
6. 只有磁铁或线圈移动时，才会出现感应电流吗？为什么？

## 杨氏双缝实验

### 实验假设

在相同的屏距  $L$  和双缝间距  $d$  下，绿光的干涉条纹会比红光更密集。

### 实验目的

观察两个相干波源的干涉现象。

### 实验器材

器材	规格	数量
镭射器	能分别发出红光和绿光的镭射	2
甄架	用以架设镭射器、双缝和相机或手机	3
狭缝间距不同的两组双缝		2
白屏		1
手机	拍摄白屏上所观察到的图样	1
短尺	15 厘米	1

## 实验步骤

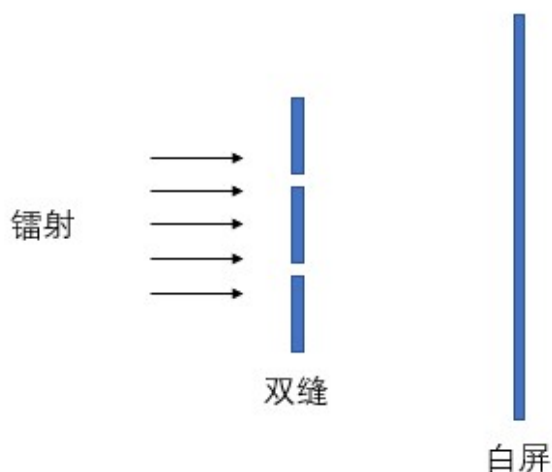


图 1

1. 将辐射器架设在甄架上，并把白屏放置在距辐射器较远位置，确保白屏能被辐射照射到。
2. 将手机架设在另一个甄架上，置于方便拍摄白屏上图样的位置。
3. 将间距较小的双缝架设在另一个甄架上，置于辐射器和白屏之间，但靠近辐射器。
4. 将一束红光辐射照射入双缝，观察屏幕上形成的图样，将短尺移进图样，再拍摄干涉图样，并将记录在表 1。
5. 将以上红光辐射切换成绿光辐射，重复步骤 4。
6. 使用间距较大的双缝重复步骤 4 和 5。

## 实验结果

1. 记录图样，并在各个图样标示各一个明纹和暗纹：

辐射	间距较小的双缝	间距较大的双缝
红色		

绿色		
----	--	--

表 1

### 讨论

1. 试举出实验的各一个操纵性变量、反应性变量和固定性变量。
2. 在相同屏距与双缝片条件下，哪个辐射光的干涉条纹更密。请解释这种现象，说明它与波长之间的关系。
3. 依据双缝干涉的条纹间距公式，同学打算进一步计算出红光或绿光的波长。然而，实验缺乏一些必要的测量数据。请提出一套改进的实验方案，并说明你的理由。

## 二维运动学实验

### 实验假设

在相同的桌面高度  $H$  下，钢球的水平发射速度  $u_x$  越大，则钢球的射程  $\Delta x$  越大。

### 实验目的

利用抛射运动来测定重力加速度。

### 实验理论

抛射运动是一个简单的二维运动形式。这个实验是一个小球从一定高度水平抛出。在这种情况下，抛体的射程取决于飞行时间和水平速度。

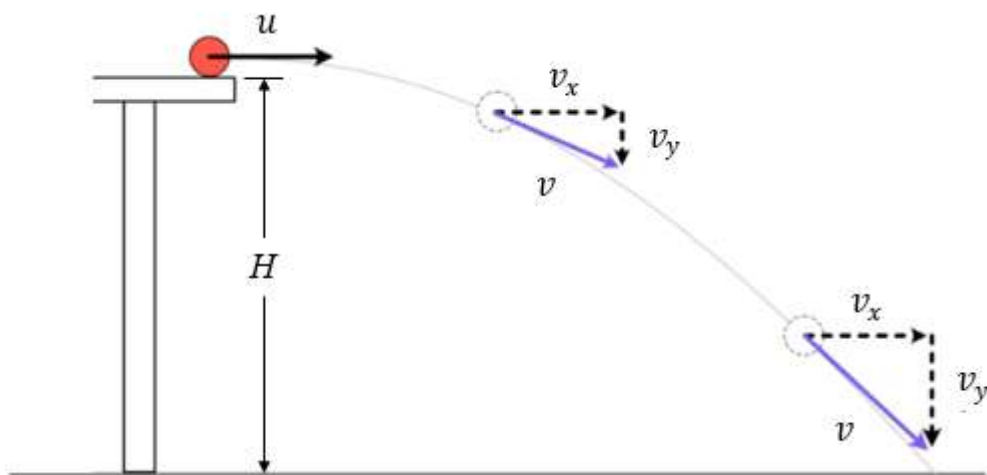


图 1

因此，本实验基于公式：

$$s_x = u_x \times t \rightarrow \textcircled{1}$$

除了水平运动，通过分析小球的竖直运动，即：

$$s_y = u_y t + \frac{1}{2} g t^2$$

进一步把飞行时间表示为重力加速度的函数：

由于初速度在竖直方向上为 0，

$$-H = 0 + \frac{1}{2} (-g) t^2$$

$$t^2 = \frac{2H}{g}$$

$$t = \sqrt{\frac{2H}{g}} \rightarrow \textcircled{2}$$

把 ② 代入 ①，抛体的射程可以表示为水平速度和其他控制变量（如高度  $H$  和重力加速度  $g$ ）的函数：

$$\therefore s_x = \left( \sqrt{\frac{2H}{g}} \right) u_x$$

### 实验器材

器材	规格	数量
斜槽		1
钢球		1
碳纸		1
白纸		1
米尺		1
秒表		1
胶带		1
橡皮泥		适量
剪刀		1
摆球		1
长线		适量

## 实验步骤

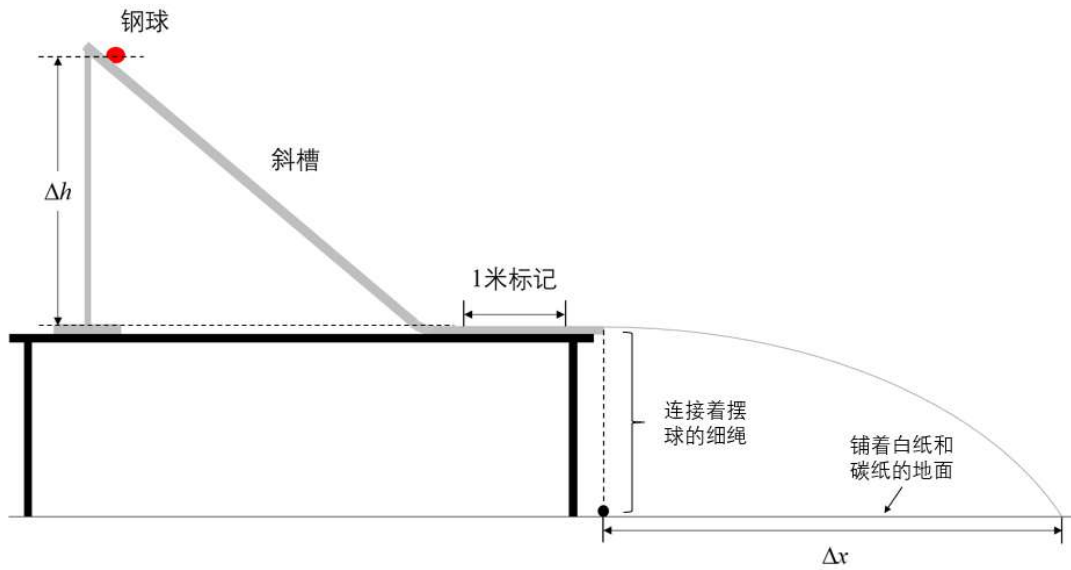


图 2

1. 把器材设置成如图 2。碳纸须要覆盖在白纸上，以便钢球落地时，击中碳纸，留下落点痕迹，供水平测量。用胶纸于斜槽底部标记 1 米水平长度。
2. 把连接着摆球的细绳绑在斜槽边缘，以便充当测量桌子边缘至钢球落点距离得起始点。测量斜槽边缘至地面的高度  $H$ ，并记录于表 1 中。
3. 测量钢球到桌面的竖直高度  $\Delta h = 60 \text{ cm}$ ，然后将钢球放在斜槽的相关高度。
4. 让钢球沿水平桌面滚下，并用秒表记录钢球在 1 米长标记滚动所需的时间  $t$  于表 1 中，并计算出水平发射速度  $u_x = \frac{1}{t}$ 。
5. 观察并测量钢球从桌子边缘到落点的水平距离  $\Delta x$ ，将数据记录于表 1 中。
6. 把钢球在斜槽上的的起始高度设定为 50 cm、40 cm、30 cm 和 20 cm，重复步骤 3 至 5。
7. 利用表 1 中的数据，绘制射程  $\Delta x$  对  $u_x$  的关系图。
8. 从  $\Delta x$  对  $u_x$  的关系图求出最佳拟合线的斜率  $m$ 。

## 实验结果

1.

斜槽边缘至地面的高度 $H$ (m)			
钢球在斜槽上的 竖直高度 $\Delta h$ (m)	1 米长滚动所需的 时间 $t$ (s)	水平发射速度 $u_x$ ( $\text{ms}^{-1}$ )	射程 $\Delta x$ (m)
0.6			
0.5			
0.4			
0.3			
0.2			

表 1

2. 附上绘制的  $\Delta x$  对  $u_x$  的图表纸于这份实验报告中。

## 讨论

1. 试举出各一个操纵性变量、反应性变量和固定性变量。
2. 试套用实验原理和关系图的斜率  $m$  计算实验测得的重力加速度  $g$ 。
3. 本实验存在多种误差来源，某些改动（如改用乒乓球）会进一步放大这些误差。请回答以下问题：
  - a) 请举出两项可能的实验误差，并说明如何减少这些误差。
  - b) 如果改用乒乓球代替钢球，射程和测得的重力加速度  $g$  会怎样变化？请解释原因。

- c) 使用乒乓球进行实验时，是否会影响实验的准确性、可靠性和/或有效性？请说明理由。

## 动量守恒实验

### 实验假设

在摩擦已被补偿、不同维度外力可忽略的条件下，任何一个情境中碰撞前的总动量等于碰撞后的总动量。

### 实验目的

利用小车探究动量守恒定律。

### 实验器材

器材	规格	数量
打点计时器	6 V — 12 V, 50 Hz	1
打点纸带		适量
跑道		1
小车		4
木块		1
甄架		1
胶带		1
橡皮泥		适量
大头针		1
软木塞		1
低压交流电源	视打点计时器而定	1

## 实验步骤

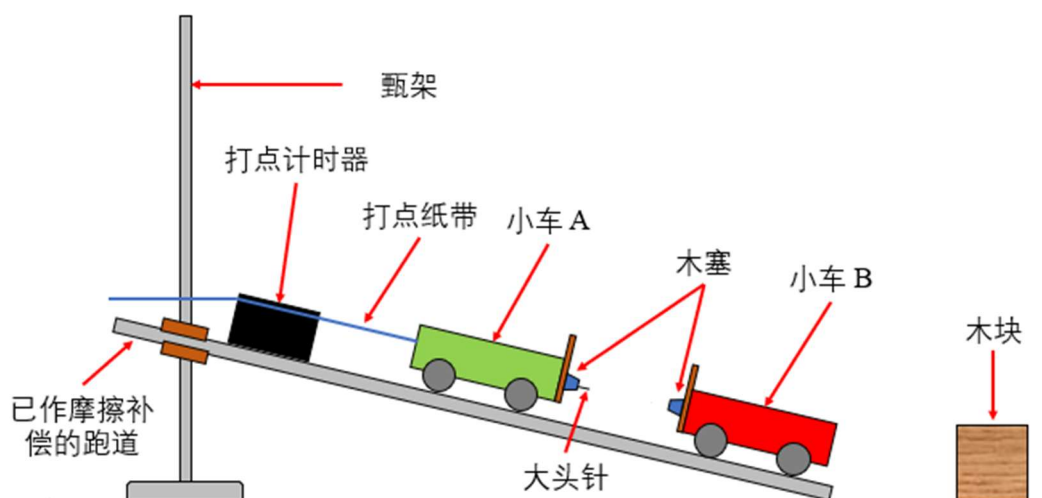


图 1

1. 按照图 1 所示安装实验装置。
2. 通过垫高跑道的一端来调节倾斜度，以便调整跑道至摩擦补偿。
3. 启动打点计时器，轻推小车 A，使其沿跑道运动并与静止的小车 B 碰撞。
4. 情境（一）测量并记录碰撞前小车 A 的初速度  $u$  和碰撞后小车 A 和小车 B 的共同速度  $v$ ，并将结果记录在表 1 中。谨记速度单位为“cm / 10 个点”。
5. 情境（二），让一辆小车与两辆静止小车发生碰撞，并重复步骤 3 与 4。
6. 情境（三），让两辆小车与一辆静止小车发生碰撞，并重复步骤 3 与 4。
7. 情境（四），让三辆小车与一辆静止小车发生碰撞，并重复步骤 3 与 4。

## 实验结果

1. 选择和附上某一个情境的打点纸带，并标出其属于哪个情境、碰撞前、碰撞当下和碰撞后的阶段。

2.

碰撞前					碰撞后		
小车质量		初速度 (cm / 10 个点)		总动量 $p_b$	小车质量	共同速度 (cm / 10 个点)	总动量 $p_a$
$m_A$	$m_B$	$u_A$	$u_B$	$m_A u_A + m_B u_B$	$m_A + m_B$	$v$	$(m_A + m_B) v$
1	1		0				
1	2		0				
2	1		0				
3	1		0				

表 1

## 讨论

- 试举出各一个操纵性变量、反应性变量和固定性变量。
- 实验中“小车 B 静止不动”的意思并不是要把它固定死在轨道上，也不是在它的前方放一个小挡块或采用手托方式，而是采用直接放置的方式，使其自然静止。试解释实验中小车 B 静止的关键条件是什么？
- 请以表 1 的实验结果：
  - 在动量守恒的基础上，并以碰撞前总动量为标准，计算每个情景的实验误差。

- b) 列出至少两个可能导致“前后总动量不相等”的实验误差或外力来源，并针对每一项给出可行的改进方法。
4. 交通安全中常见的“防撞缓冲区 (crumple zone)”设计，就是让车辆在碰撞中变形以延长碰撞时间，从而减小乘客所受的平均力。
- a) 试用动量守恒与冲量的概念解释为什么延长碰撞时间可以减小瞬时受力。
- b) 以上有关小车非弹性碰撞的实验可以模拟现实车祸，但也有无法完全模拟的局限性。试从动量——冲量原理解释本实验如何模拟，以及无法模拟现实车祸中的关键物理要点。
- c) 提出两条可行及面向普通公众，但非工程细节的交通安全建议，并说明这些建议如何基于动量——冲量原理减少伤害。

## 向心力实验

### 实验假设

当胶塞质量与旋转半径保持不变时，胶塞的角速率  $\omega$  与尼龙线的张力  $T$  满足  $\omega^2 \propto T$ 。

### 实验目的

探讨不同质量沿水平圆周旋转以测定向心力，并跟理论值作比较。

### 实验器材

器材	规格	数量
胶塞		1
玻璃管	15 cm	1
砝码组（包括砝码座）	12 × 0.02 kg	1
尼龙线	1.5 m	1
纸标记		1
秒表		1
米尺		1
胶带		1

## 实验步骤

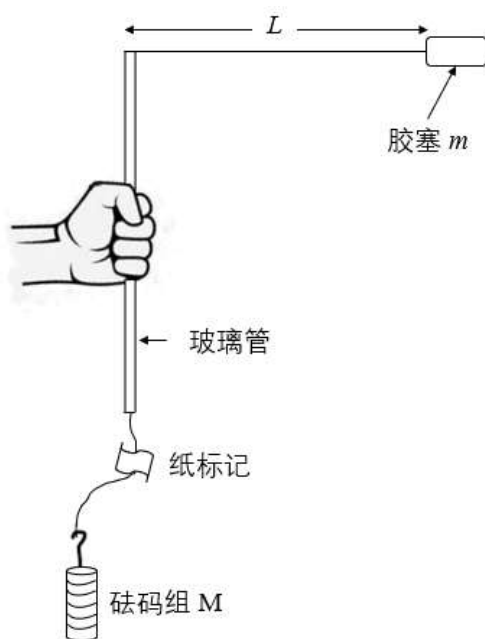


图 1

1. 把尼龙线的一端绑缚在胶塞，另一端则穿过玻璃管和纸标记，并绑缚在砝码组，如图 1 所示。
2. 将纸标记调整至靠近玻璃管口，并用胶纸固定它。然后将胶塞那一段的尼龙线长  $L$  调整至  $0.8\text{ m}$ 。从  $M = 0.12\text{ kg}$  开始进行实验。
3. 竖直拿着玻璃管旋转，过程中确保胶塞在头顶部作水平圆周旋转。尼龙线随胶塞的速率逐渐增加而延长（即  $L$  增加），直到纸标记正好抵达玻璃管下端，但不接触玻璃管口。
4. 确保纸标记刚好在玻璃管下端的同时保持角速率的稳定。然后在第 0 周启动秒表，第 20 周时按停秒表，测量胶塞旋转 20 周的时间，并记录于表 1 中。重复实验，再取第二次  $t$ ，并计算其平均时间  $t_a$ 。
5. 计算张力  $T = Mg$  和角速率  $\omega = \frac{2\pi}{t}$ 。
6. 取为不同的质量  $M$ ，重复步骤 2 至 5。
7. 测量胶塞的质量  $m_r$ ，并记录于表 1 中。
8. 利用表 1 中的数据，绘制  $\omega^2$  对  $T$  的关系图。
9. 从  $\omega^2$  对  $T$  的关系图求出最佳拟合线的斜率  $m$ 。

## 实验结果

1.

胶塞的质量 $m$ (kg)						
尼龙线长 $L$ (m)						
砝码组质量 $M$ (kg)	张力 $T$ (N)	20周旋转的时间 $20t$ (s)			1周旋转 的时间 $t$ (s)	角速率 $\omega$ (rad s <sup>-1</sup> )
		第一次	第二次	平均		

表 1

2. 附上绘制的  $\omega^2$  对  $T$  的关系图和斜率的图表纸于这份实验报告中。

## 讨论

1. 试举出各一个操纵性变量、反应性变量和固定性变量。
2. 由于胶塞旋转时尼龙线并不是水平，试证明：

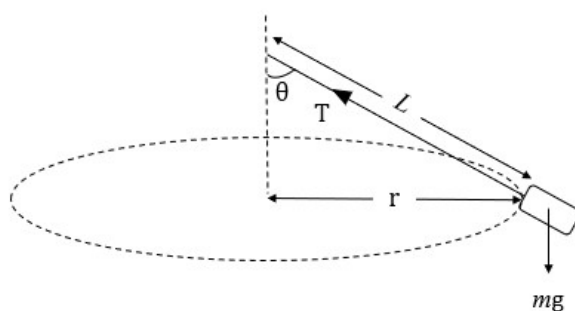


图 2

- a) 线的张力  $T$  等于  $m\omega^2L$ 。
- b) 角度  $\theta$  与角速率  $\omega$  无关。
3. 根据所绘关系图：
- a)  $\omega^2$  和  $T$  有何关系？
- b) 其斜率  $m$  有什么物理意义？
- c) 试取得其理论值  $m_t$ ，并计算实验误差百分率  $\Delta$ ？
4. 试解释步骤 3 的“纸标记刚好在玻璃管下端，但不接触管口”对实验的重要性。
5. 本实验测得的斜率相对理论值出现偏差。请指出两个最主要的误差来源，并对每一项说明其属于系统误差或随机误差，并各给出一个可操作的改进。
6. 试设计一个探究  $\omega$  和  $L$  关系的实验，须从三个面向，即步骤、变量控制与图像处理进行说明。

## 单摆的周期实验

### 实验假设

单摆的周期  $T$  与摆长  $l$  的平方根成正比，而与摆球的质量无关。

### 实验目的

探讨单摆的长度和摆动周期的关系。

### 实验器材

器材	规格	数量
甄架		1
量角器		1
摆球		1
秒表		1
米尺	100 cm	1
G 型夹		1
小夹板		2
长线	100 cm	1

## 实验步骤

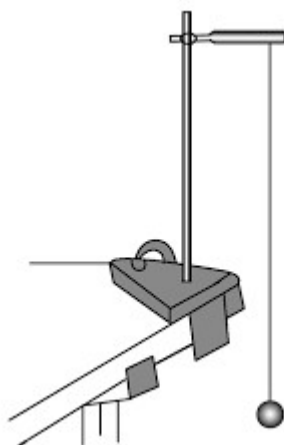


图 1

1. 将线的一端绑在摆球的挂钩上，再把线的一端用小夹板固定在甄架上，如图 1 所示。
2. 利用 G 型夹将甄架固定于桌子上。
3. 调整单摆的长度  $l$  至 90 cm，使单摆摆动。
4. 记录 10 次完整摆动的时间  $t_1$  于表 1 内，重复一次并记录于  $t_2$ ，并取其平均值  $t_a$ 。
5. 改变单摆长度  $l$  至 80 cm、70 cm、60 cm、50 cm、40 cm，重复步骤 2、3 和 4。
6. 计算单次摆动时间的平均值  $T = \frac{t_a}{10}$  和  $T^2$ ，并记录于表 1。
7. 利用表 1 中的数据，绘制出  $T^2$  对  $l$  的关系图。
8. 从  $T^2$  对  $l$  的关系图求出最佳拟合线的斜率  $m$ 。

## 实验结果

1.

单摆的长度 $l$ (cm)	10次摆动时间 $t$ (s)		10次摆动时间的 平均值 $t_a$ (s)	单次摆动时间的 平均值 $T$ (s)	$T^2$ (s <sup>2</sup> )
	$t_1$	$t_2$			
90.0					
80.0					
70.0					
60.0					
50.0					
40.0					

表 1

2. 附上绘制  $T^2$  对  $l$  的关系图和斜率的图表纸于这份实验报告中。

## 讨论

1. 试举出各一个操纵性变量、反应性变量和固定性变量。
2. 从单摆的周期运动推导出公式  $T^2 = 4\pi^2 \frac{l}{g}$ ，试进一步套用关系图的斜率  $m$  计算实验测得的重力加速度  $g$ 。
3. 已知标准的重力加速度值  $g_e$  为  $9.81 \text{ ms}^{-2}$ ，试计算实验误差百分率  $\Delta$ 。
4. 试提出一个解释为何会出现以上的误差。

5. 游乐园的秋千可以看作一个“巨型单摆”。当秋千摆角很大时，实际周期会与理论计算值有差异。请分析其中的物理原因，并提出如何改进实验设计以减小这种差异。

## 弹簧振子振荡周期的实验

### 实验假设

在保持弹簧和振幅不变的条件下，弹簧振子的周期  $T$  与所挂质量  $m$  的平方根成正比。

### 实验目的

探究弹簧振子周期与质量的关系。

### 实验器材

器材	规格	数量
弹簧	长 10 cm	1
甄架		1
砝码组（包括挂钩）	50 g ~ 400 g	1
钉子（标记物）		1
秒表		1
米尺		1
胶带		1

## 实验步骤

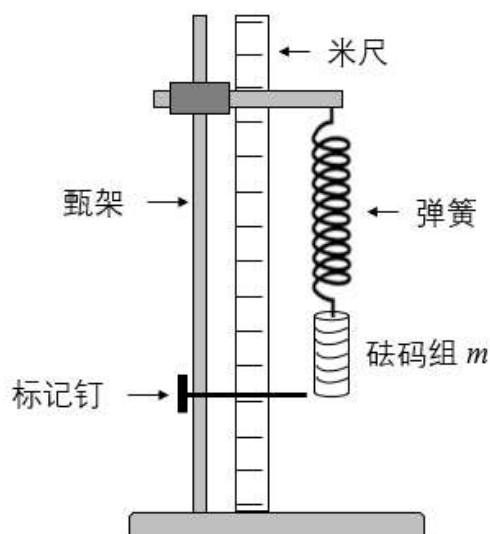


图 1

1. 将弹簧牢固固定在支架上，质量挂钩上只挂有 100 g 砝码，如图 1 所示。
2. 用米尺测量，垂直向下拉动挂钩约 2 至 5 cm，然后轻轻放开，使其开始振动。
3. 当质量挂钩在向上运动时经过标记钉时，启动秒表，是为起点。
4. 在挂钩完成 10 个完整振动后停止计时，记录总时间  $t_1$  于表 1，重复一次并记录于  $t_2$ ，并取其平均值  $t_a$ 。
5. 每次在挂钩上增加 50 g 砝码，重复步骤 2 至 4，直至获得 6 组数据。确保每次释放前下拉的长度相同。
6. 计算单次振动时间的平均值  $T = \frac{t_a}{10}$  和  $T^2$ ，并记录于表 1。
7. 7. 利用表 1 中的数据，绘制  $T^2$  对  $m$  的关系图。
8. 8. 从  $T^2$  对  $m$  的关系图求出最佳拟合线的斜率  $m$ 。

## 实验结果

1.

砝码组质量 $m$ (g)	10次振动时间 $t$ (s)		10次振动时间的 平均值 $t_a$ (s)	单次振动时间的 平均值 $T$ (s)	$T^2$ (s <sup>2</sup> )
	$t_1$	$t_2$			
100					
150					
200					
250					
300					
350					

表 1

2. 附上绘制的  $T^2$  对  $m$  的关系图和斜率的图表纸于这份实验报告中。

## 讨论

1. 试举出各一个操纵性变量、反应性变量和固定性变量。
2. 从以上实验中，试解释质量挂钩完成一个完整的周期运动模式。
3. 从弹簧的周期运动推导出公式  $T^2 = 4\pi^2 \frac{m}{k}$ ，试进一步套用关系图的斜率  $m$  计算实验测得的弹簧劲度  $k$ 。
4. 试举出实验里两项主要的误差来源，并各给出一个可操作的改进。

5. 试设计一个探究  $k$  与振幅关系的实验，须从三个面向，即步骤、变量控制与图像处理进行说明。

# 光栅实验

## 实验假设

当辐射光垂直照射在光碟片表面时，屏幕上出现的衍射光点间距与光碟片轨道间距  $d$  有关；轨距越小，衍射角越大，光点分布得越分散。

## 实验目的

利用光栅衍射现象测定光碟片轨道间距（track pitch）。

## 实验理论

光碟片是由一圈圈的同心圆轨道组成，轨道能让光线反射。这一条条轨道就像是反射光栅（reflection grating），轨道之间的距离就是衍射光栅的光栅常数  $d$ （grating constant）。经轨道反射的光线互相干涉，会在屏幕上形成衍射光点。当经由两相邻轨道反射光线的光程差为波长  $\lambda$  的整数倍时，便会产生建设性干涉。

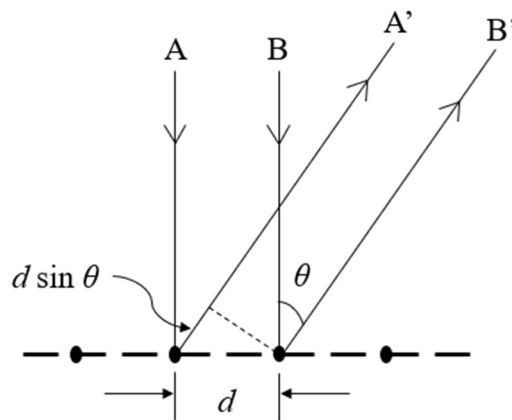


图 1

如图 1 所示，当衍射角  $\theta$  符合条件， $d \sin \theta_m = m\lambda$ ，即光碟轨距为  $d$ ，衍射角为  $\theta_m$ ，波长为  $\lambda$ ，级数为  $m$ ，就会在远处屏幕上产生光点。

测量光栅与屏幕之间的距离  $L$  及衍射光点与中间位置的距离  $X$ ，即可计算出  $\sin \theta = \frac{X}{\sqrt{L^2 + X^2}}$  的值。

## 实验器材

器材	规格	数量
镭射器	红光镭射（678.2 nm）和绿光镭射（532.0 nm）	1
CD 光碟片	例如 700 MB，轨道间距 1.6 $\mu\text{m}$ （未经刻录的光碟片效果更佳）	1
DVD 光碟片	例如 4.7GB，轨道间距 0.74 $\mu\text{m}$ （未经刻录的光碟片效果更佳）	1
白屏		1
钢卷尺	测量范围：3.5 m	1
棉线	1.5 ~ 2 m	1
纸盒	用以置放镭射器和光碟片	1
粘土或胶纸	用以固定镭射器和光碟片	1

## 实验步骤

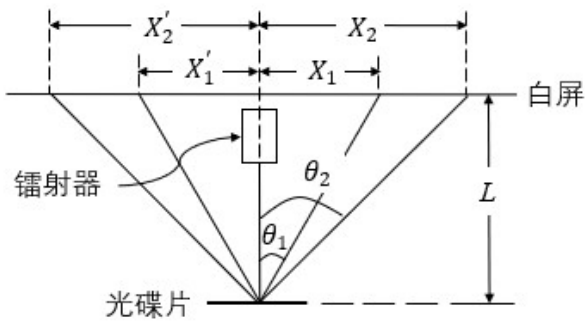


图 2

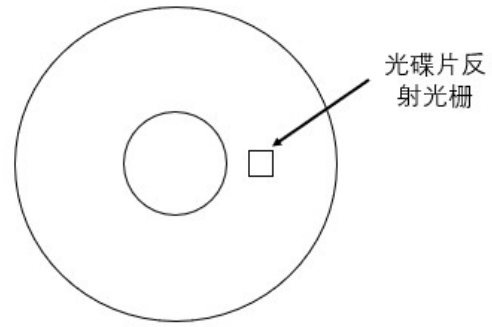


图 3

1. 用粘土将镭射器固定于纸盒上，使其背向白屏，发射器垂直于白屏。用胶纸将 CD 竖直地固定于纸盒上，如图 2 所示。
2. 开启镭射器，让镭射光点射向 CD 光碟片中央偏右或偏左的位置，如图 3 所示。
3. 调整 CD 光碟片角度以使镭射反射光线与光源重合，确认 CD 光碟片正对镭射器。
4. 测量白屏上各级衍射点至中点的距离  $X$  与  $X'$ ，并记录在表 1。
5. 以棉线配合长尺测量白屏至 CD 光碟片的距离  $L$ ，并记录在表 1。
6. 移动 CD 光碟片位置以获得不一样的  $L$ ，并重复步骤 3 至 5 二次。
7. 完成表 1 的计算部分，计算出 CD 光碟片的轨距  $d$ 。
8. 将 CD 光碟片换成 DVD 光碟片，并重做步骤 1 至 7。
9. 将所记录的数据填入表 2，计算出 DVD 光碟片的轨距  $d$ 。

## 实验结果

记录 CD 光碟片的数据:

辐射波长 / nm							
光碟实际轨距 / m							
序	$L$ ± ___ / cm	$X$ ± ___ / cm	$X'$ ± ___ / cm	$\bar{X}$ / cm	$m$	$\sin\theta =$ $\frac{\bar{X}}{\sqrt{L^2 + \bar{X}^2}}$	$d = \frac{m\lambda}{\sin\theta}$ / nm
1.							
2.							
3.							
						平均值 $d_{avg}$	

表 1

记录从 DVD 光碟片的数据:

辐射波长 / nm							
光碟实际轨距 / m							
序	$L$ ± ___ / cm	$X$ ± ___ / cm	$X'$ ± ___ / cm	$\bar{X}$ / cm	$m$	$\sin\theta =$ $\frac{\bar{X}}{\sqrt{L^2 + \bar{X}^2}}$	$d = \frac{m\lambda}{\sin\theta}$ / nm
1.							
2.							
3.							
						平均值 $d_{avg}$	

表 2

## 讨论

1. 试计算利用 CD 光碟片和 DVD 光碟片进行光栅实验的各误差百分率  $\Delta$ ?
2. 镭射投射至光碟片中心的上方，所反射的衍射光点如何分布？若雷射投射至光碟片中心的右方，所反射的衍射光点如何分布？为什么？
3. 若镭射光正面射向光碟片，则所衍射光点的个数是奇数或偶数？为什么？
4. 镭射光照射 DVD 光碟片时，所呈现的衍射光点和雷射光照射 CD 光碟片时的衍射光点比较，有何不同？为什么？
5. 何非零级（中央）的衍射光点会拉长呈圆弧状？

# 固体比热实验

## 实验假设

在实验条件下，即假设量热器几乎不与外界交换热量，并且在放入小铜球时无显著热损失到环境，小铜球从  $\theta_3$  降到  $\theta_2$  所释放的热量等于量热器和量热器内水从  $\theta_1$  升到  $\theta_2$ ，所吸收的热量，即能量守恒成立，从而可以用混合法测得小铜球的比热。

## 实验目的

利用混合法测定固体的比热容量。

## 实验理论

此实验利用混合法，将温度高（水的沸点）的小铜球  $\theta_3$  投入量热器内的水中，使初温  $\theta_1$  之水最后上升至  $\theta_2$ 。应用能量守恒原理，则小铜球所释放的热量应相等于量热器及筒内水所吸收的热量。

小铜球从  $\theta_3$  下降至  $\theta_2$  所释放的热量 = 量热器及筒内水温度从  $\theta_1$  上升至  $\theta_2$  所吸收的热量

## 实验器材

器材	规格	数量
量热器	75 mm × 50 mm	1
温度计	-10 — 110 °C	2
电子天平		1
小铜球	30 — 40 g	1
烧杯	100 ml、1000 ml 各一个	2
本生灯		1
水		适量
细线		1

甄架		1
玻璃棒		1
三脚架		1
陶瓷纤维网		1

### 实验步骤

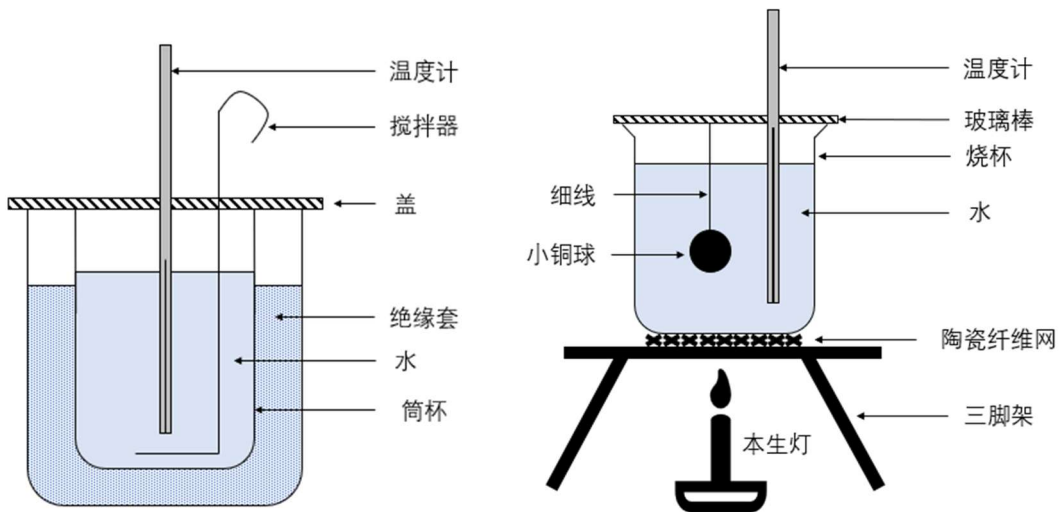


图 1

图 2

1. 利用电子天平测量量热器（附加搅拌器）的质量为  $m_1$ 。
2. 利用电子天平测量量热器（附加搅拌器、外盖、温度计及绝缘套）的质量为  $m_2$ 。
3. 注入室温的水于量热器筒杯，约达二分之一，测量此时量热器（附加外盖、温度计、搅拌器及绝缘套）及筒内水的总质量为  $m_3$ 。
4. 应用电子天平测量小铜球的质量  $m_4$ 。
5. 测量上述质量后，再均匀搅拌筒内水约 2 分钟，记录其初温度为  $\theta_1$ 。
6. 应用温度计测量煮沸的水的温度为  $\theta_3$ 。
7. 用细线绑好小铜球，然后把它浸没在煮沸的水中约 1 分钟。最后快速把小铜球放入量热器内，并盖好盖子再不停的搅拌，使水的温度趋于均匀，当温度开始下降时的温度即为最高温度  $\theta_2$ 。
8. 以上述同样的小铜球重复上述步骤 3 至 7，并记录所有相关数据。

9. 在实验结果项的空白处作表 1 记录  $m_1$ 、 $m_2$ 、 $m_3$ 、 $m_4$ 、 $\theta_1$ 、 $\theta_2$  和  $\theta_3$ ，包括计算和记录量热器的质量  $m_c$  和量热器筒内水的质量  $m_w$ 。

## 实验结果

## 讨论

1. 已知水的比热  $c_w$  为  $4200 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$  量热器的比热  $c_c$  为  $390 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ 。应用实验取得的数据，计算量热器及筒内水从  $\theta_1$  变成  $\theta_2$  吸收的热量  $Q_1$  为多少？
2. 在此实验中，量热器及筒内水所吸收的热量是从何而来？试写出其热量  $Q_2$  的大小。
3. 从能量守恒原理来看，铜球放出的热量等于水和量热器吸收的热量，即  $Q_1 = Q_2$ 。请用此关系式，分别计算出两次实验中小铜球的比热容量，并求取其平均值。
4. 已知铜的标准比热为  $385 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ，试计算实验误差百分率  $\Delta$ 。
5. 请依据以上误差结果，并从实验步骤与装置出发，列出两项最可能的误差来源，同时解释每项如何导致以上的计算结果。对每一项提出在下一次实验中能实施的具体改进措施。

6. 某些锅的手柄会用隔热材料或为中空设计。请讨论材料的比热与热传导率在产品设计中的作用，并结合你在本实验对比热测量时遇到的误差与限制，说明在产品设计中测定“安全与舒适”需要哪些额外考量。

## 熔化潜热实验

### 实验假设

在忽略外界热量交换与假定投入的冰为  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  的条件下，量热器和水失去的热量等于冰吸收的总热量；根据测得的质量与温度变化，计算出的冰的熔化潜热  $L$  将接近理论值  $L_0$ 。

### 实验目的

测定冰的熔化潜热。

### 实验器材

器材	规格	数量
量热器	75 mm × 50 mm	1
温度计	-10 °C — 110 °C	2
电子天平		1
秒表		1
冰块	30 — 40 g	1
烧杯	400 ml	1
水	1000 ml	1
吸墨纸		1

## 实验步骤

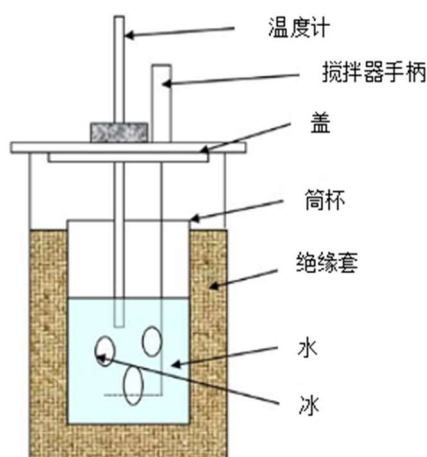


图 1

1. 利用电子天平测量量热器（附搅拌器）的质量为  $m_1$ 。
2. 利用电子天平测量量热器（附外盖、温度计、搅拌器和绝缘套）的质量为  $m_2$ 。
3. 注入室温的水于量热器筒杯，大约五分之三满，测量此时的量热器（附外盖、温度计、搅拌器和绝缘套）及筒内水的总质量为  $m_3$ 。
4. 均匀搅拌大约 1 分钟，记录其初温度为  $\theta_1$ 。
5. 取出几块冰块以吸墨纸擦干，快速放入热量器内，并盖紧盖子，再不停的搅拌，直到温度达到最小后略有上升，记录其温度为  $\theta_2$ 。
6. 此时再测量量热器及水（部分为冰块所熔化）的总质量为  $m_4$ 。
7. 重复步骤 3 至 6，并记录所有相关数据。
8. 在实验结果项的空白处作表 1 记录  $m_1$ 、 $m_2$ 、 $m_3$ 、 $m_4$ 、 $\theta_1$  和  $\theta_2$ ，包括计算和记录量热器的质量  $m_c$ 、水的质量  $m_w$  和冰的质量  $m_i$  于表 1。

## 实验结果

### 讨论

1. 已知水的比热  $c_w$  为  $4200 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$  及量热器的比热  $c_c$  为  $390 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ 。应用能量守恒定律提出实验假设，并利用实验取得的数据计算出冰的熔化潜热  $L$ 。
2. 已知冰的熔化潜热等于单位质量的冰从固态的冰变成同温度液态的水时所需的热量，其理论值  $L_0$  为  $3.36 \times 10^5 \text{ Jkg}^{-1}$ ，试计算实验误差百分率  $\Delta$ 。
3. 试提出一个改善此实验误差该注意的事项。
4. 试说明下述情况对测量结果  $L$  的影响：
  - a. 测  $\theta_1$  之前没有搅拌。
  - b. 冰未擦干便投入量热器。
5. 这个实验往往假定“投入的冰为  $0^\circ\text{C}$  且无额外热损失”。试提出一项可在高中实验室实现、且不需要复杂仪器的改进或补充实验设计，以验证“冰温是否低于  $0^\circ\text{C}$ ”这一重要假设（不须给数值计算，只需说明步骤概述、如何判断假设成立或不成立，以及该方法能否减小某类误差）。

# 波义耳定律实验

## 实验假设

在温度恒定、气体质量不变的条件下，气体的体积与压强成反比。

## 实验目的

在温度恒定的情况下，确定固定质量的气体的体积与压强的关系。

## 实验器材

器材	规格	数量
注射器	100 ml	1
橡胶管		1
压强计		1
甄架		1

## 实验步骤

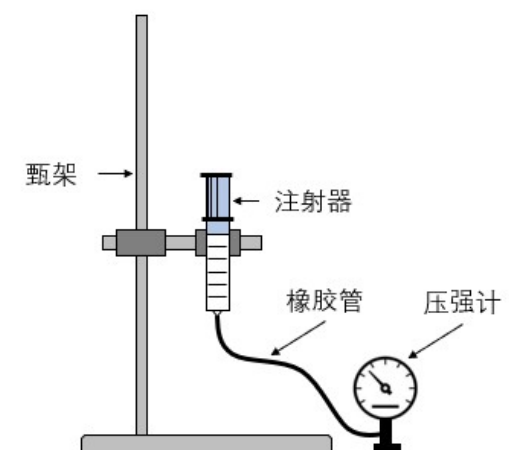


图 1

1. 按图 1 安装器材。
2. 调节注射器内气体体积至 100 ml，然后注射器另一端接上压强计。

- 记录气体的体积和初始压强  $P$ ，如表 1。
- 缓慢推动注射器至 90 ml。记录此时的压强。
- 重复步骤 4，分别在体积为 80 ml、70 ml 和 60 ml 时记录压强。
- 完成表 1，并利用其数据，绘制  $P$  对  $\frac{1}{V}$  的关系图。

## 实验结果

体积 $V$ (ml)	压强 $P$ (kPa)	$\frac{1}{V}$ (ml <sup>-1</sup> )
100		
90		
80		
70		
60		

表 1

附上绘制的  $P$  对  $\frac{1}{V}$  图表纸于这份实验报告中。

## 讨论

- 试举出各一个操纵性变量、反应性变量和固定性变量。
- 在实验中，当气体体积逐渐减小时，你观察到压强表的读数会怎样变化？请根据你的实验现象进行描述。
- 请列出两项可能的实验误差来源，须加以解释，并提出各自的改进方法。
- 在炎热的天气，把一瓶未开封的矿泉水从室外带进冷气房里，瓶身常会出现明显的凹陷。请结合本实验结论，解释这一现象，并讨论这对食品包装设计有什么启示。

# 电容器的充电与放电实验

## 实验假设

当电容器与电阻串联接入直流电源时，电容器的充电电流随时间指数式减小；当电源断开并通过相同电阻放电时，放电电流随时间指数式衰减。若电阻  $R$  或电容  $C$  增大，充放电过程将变慢。

## 实验目的

探讨电容器在充电与放电过程中的特性，并求出相关的时间常数。

## 实验理论

如图 1 所示，当按下电键  $K$  时，电容器开始充电，根据基尔霍夫回路定则，

$$\varepsilon - \frac{q}{C} - IR = 0$$

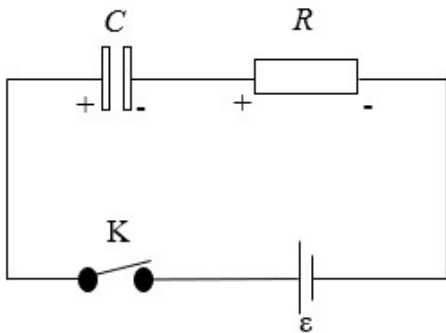


图 1

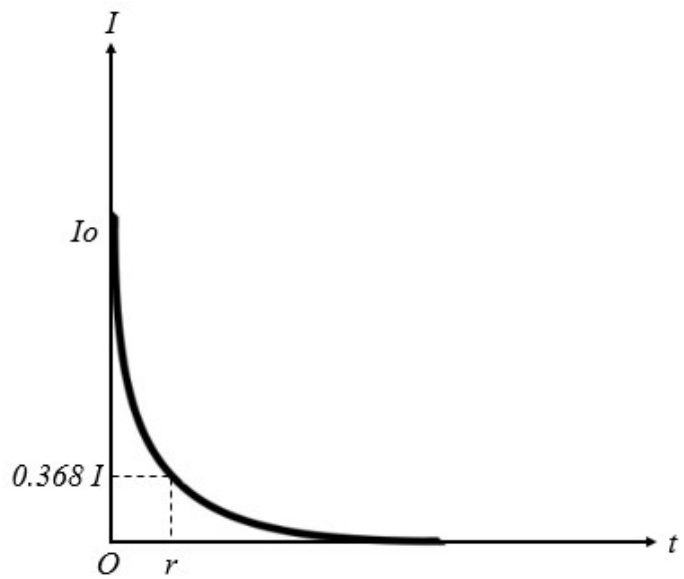


图 2

其中  $\frac{q}{C}$  为电容器两端的电压， $IR$  为电阻两端的电压。

$$\varepsilon - \frac{q}{C} - \frac{dq}{dt}R = 0$$

$$\begin{aligned}
\frac{dq}{dt}R &= \varepsilon - \frac{q}{C} \\
\frac{dq}{dt} &= \frac{\varepsilon}{R} - \frac{q}{RC} \\
&= -\frac{q-C\varepsilon}{RC} \\
\frac{dq}{q-C\varepsilon} &= -\frac{1}{RC} dt \\
\int_0^q \frac{1}{q-C\varepsilon} d(q-C\varepsilon) &= -\frac{1}{RC} dt \\
[\ln(q-C\varepsilon)]_0^q &= \left[-\frac{1}{RC}\right]_0^t \\
\ln\left(\frac{q-C\varepsilon}{-C\varepsilon}\right) &= -\frac{1}{RC} t \\
\frac{q-C\varepsilon}{-C\varepsilon} &= e^{-\frac{1}{RC}t} \\
q &= C\varepsilon - C\varepsilon e^{-\frac{1}{RC}t} \\
&= C\varepsilon(1 - e^{-\frac{1}{RC}t}) \\
I &= \frac{dq}{dt} \\
&= \frac{Q}{RC} e^{-\frac{1}{RC}t} \\
&= \frac{\varepsilon}{R} e^{-\frac{1}{RC}t}
\end{aligned}$$

其中  $Q = C\varepsilon$  为电容器充满电时的电荷量， $R$  与  $C$  的乘积为一常量，称为该电路的时间常数  $\tau$  (time constant)。

由上述推导可得知电容器充电过程中，储存在电容器上的电荷量随时间呈指数式递增，而电流是随时间呈指数式递减，如图 2 所示。

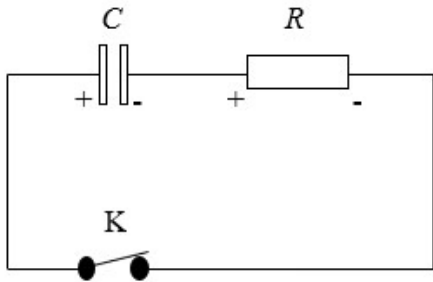


图 3

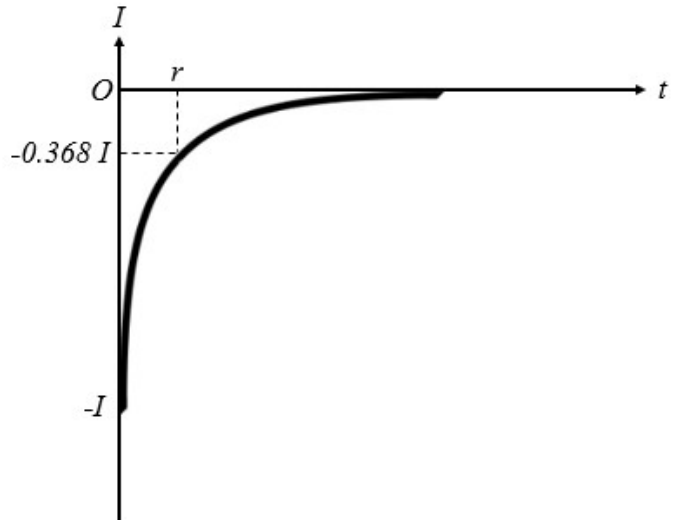


图 4

当电容器  $C$  充满电荷后，再通过电阻器  $R$  放电，如图 3 所示，根据基尔霍夫回路定则，

$$\begin{aligned}
 -\frac{q}{C} - IR &= 0 \\
 IR &= -\frac{q}{C} \\
 \frac{dq}{dt}R &= -\frac{q}{C} \\
 \frac{dq}{q} &= -\frac{1}{RC} dt \\
 \int_Q^q \frac{1}{q} dq &= \int_0^t -\frac{1}{RC} dt \\
 [\ln q]_Q^q &= \left[-\frac{1}{RC} t\right]_0^t \\
 \ln q - \ln Q &= -\frac{1}{RC} t \\
 \ln \frac{q}{Q} &= -\frac{1}{RC} t \\
 q &= Qe^{-\frac{1}{RC}t} \\
 I &= \frac{dq}{dt} \\
 &= -\frac{\varepsilon}{R} e^{-\frac{1}{RC}t}
 \end{aligned}$$

电流值由  $-I$  降至  $-0.368I$  所需的时间是一个常量，称为该电路的时间常数  $\tau$ 。

由上述推导可得知电容器放电过程中，储存在电容器上的电荷量随时间呈指数式递减，而电流值是随时间呈指数式递减，如图 4 所示。

## 实验器材

器材	规格	数量
电源组	0 ~ 12 V 直流电源组	1
微安计	0 ~ 100 $\mu\text{A}$	1
电解质电容器	470 $\mu\text{F}$	1
电阻器	20 $\text{k}\Omega$	1
电键 (K)	双刀双掷	1
秒表		1

## 实验步骤

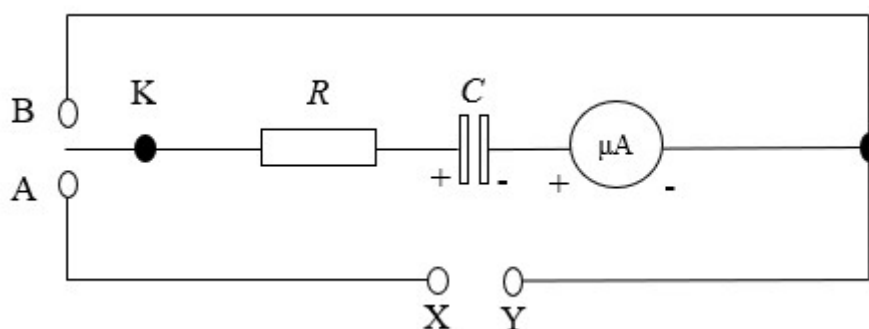


图 5

1. 把器材连接成如图 5 所示。在 XY 端上接上直流电源（注意所用的直流电源的电压应与电容器的工作电压相符）。
2. 将电键 K 连接至 A，同时开始计时并即刻读取微安计的起始读数，然后每隔 5 秒重复此读取工作，将所得结果记录于表 1 中。
3. 利用表 1 中的数据，绘制电容器充电过程的  $I$  对  $t$  的关系图。
4. 当电容器充分充电后（注意：必须使用刚刚被完全充满电的电容器），将电键 K 连接到 B 使电容器通过电阻器 R 放电，同时开始计时并即刻读取微安计的起始读数，然后每隔 5 秒重复此读取工作，直到此电流值的读数差不多趋于零为止，将所得结果记录于表 2 中。
5. 利用表 2 中的数据，绘制电容器放电过程的  $I$  对  $t$  的关系图（注意：绘于另外一张图表纸）。

## 实验结果

电容器充电：

充电时间 $t_{\pm}$ (s)												
充电电流 $I_{\pm}$ ( $\mu\text{A}$ )												

表 1

电容器放电：

放电时间 $t_{\pm}$ (s)												
放电电流 $I_{\pm}$ ( $\mu\text{A}$ )												

表 2

附上绘制的  $I$  对  $t$  的两份图表纸于这份实验报告中。

(请忽略“最佳拟合线”。 $I$  对  $t$  曲线可参考实验原理)

## 讨论

1. 试举出各一个操纵性变量、反应性变量和固定性变量。
2. 从所绘制的电容器放电过程的  $I$  对  $t$  关系图中，求放电电路的时间常数  $\tau$  值。
3. 利用公式  $\tau = RC$  计算该电路的时间常数  $\tau$  值，并与从  $I$  对  $t$  关系图所得  $\tau$  值作比较。

4. 若实验中电容器有漏电现象或电阻温度升高，这会如何影响  $I$  对  $t$  图像与时间常数  $\tau$  的测量？请提出两项改进方法。
  
5. 在  $RC$  电路图中，其时间常数决定于其充电与放电的快慢，应如何加快其充电与放电的速度？
  
6. 电容器常用于电子装置的“延时电路”（如相机闪光、自动关灯或电源稳压）。请结合本实验中  $\tau = RC$  的原理，解释如何通过改变  $R$  和  $C$  设计不同延时电路，并说明这在生活或工程中的重要性。

# 电动势与内电阻实验

## 实验假设

当电池与外电阻组成闭合电路时，电流越大，电池两端的输出电压越小，且两者之间呈线性关系。电池的电动势等于当电流为零时的端电压，而电压随电流增大而线性减小，其减小速率取决于内电阻。

## 实验目的

利用安培表和伏特表测定干电池的电动势  $\varepsilon$  和内电阻  $r$ ，这种测量方法也称为伏安法，并通过对实验数据的收集处理，利用“公式法”和“图像法”分析处理实验数据。

## 实验理论

根据闭合电路欧姆定律，如图 1 所示，

$$\begin{aligned}\frac{\varepsilon}{I} &= R + r \\ \varepsilon &= IR + Ir \\ \varepsilon &= V + Ir \\ V &= \varepsilon - Ir\end{aligned}$$

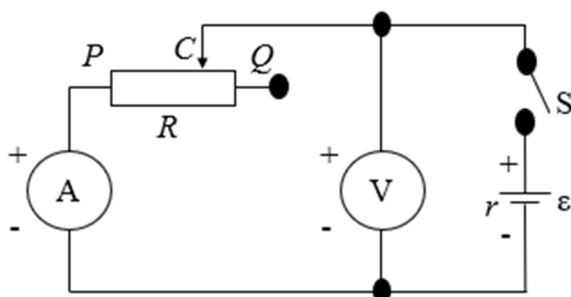


图 1

## 实验器材

器材	规格	数量
安培计	0 ~ 50 mA ~ 500 mA ~ 5A	1
伏特计	0 ~ 5 V ~ 12 V	1
干电池	1.5 V, D 型	1
电池座	4 D 型	1
可变电阻器	60 Ω, 1 A	1

电键 (S)	按键式或单刀式	1
测电笔	普通	1
导线	一般 (含红色及黑色鳄鱼夹)	8

## 实验步骤

1. 用 D 型 1.5 V 干电池设置如图 1 的电路。可变电阻器  $R$  的触端  $C$  一开始接于  $Q$  端，注意不可接于  $P$  端。
2. 接通电键  $S$ ，记下安培表及伏特表的读数  $I$  与  $V$  于表 1。
3. 滑动可变电阻器  $R$  的触端  $C$ ，使其阻值逐渐减小，测得相应之电流  $I$  与路端电压  $V$ ，记于表 1 内。重复以上步骤，共记录六组数据。
4. 分别以“公式法”及“图像法”求出干电池的电动势  $\varepsilon$  和内电阻  $r$ 。

## 实验结果

次数	$I_{\pm}$ (mA)	$V_{\pm}$ (V)
1		
2		
3		
4		
5		
6		

用公式法计算电动势  $\varepsilon$  和内电阻  $r$ ：

将第 1、2 次测得的  $V$ 、 $I$  值代入公式

$$\begin{cases} \varepsilon &= V_1 + I_1 r \\ \varepsilon &= V_2 + I_2 r \end{cases}$$

联立方程组，得  $r = \frac{V_2 - V_1}{I_1 - I_2}$ ， $\varepsilon = V_1 + I_1 r$

同理，由第 3、4 次，第 5、6 次的测量结果可求出相应的  $\varepsilon$  和  $r$ ，填入以下的表中。然后求出干电池的电动势和内电阻的平均值。

序	$\varepsilon$ (V)	$r$ ( $\Omega$ )
1		
2		
3		
平均值		

用图像法计算电动势  $\varepsilon$  和内电阻  $r$ :

- a) 利用表 1 中的数据, 绘制  $V$  对  $I$  的关系图。
- b) 从  $V$  对  $I$  的关系图求出最佳拟合线的斜率  $m$ 。
- c) 从图中求出:

电动势  $\varepsilon =$                       V, 内电阻  $r =$                        $\Omega$

- d) 附上绘制的  $V$  对  $I$  的图表纸于这份实验报告中。

## 讨论

1. 试举出各一个操纵性变量、反应性变量和固定性变量。
2. 在实验中，当滑动变阻器的滑片从 Q 端向 P 端移动时，电流和端电压会怎样变化？请根据你的实验现象简述原因。
3. 实验中测得的电动势  $\varepsilon$  与电池标称值（1.5 V）略有差异，请指出两项可能的误差来源，加以说明，并提出合理改进方法。
4. 在汽车或手机电源系统中，电池常标示“3.7 V， 2600 mAh”。请结合本实验所学，解释为什么随着电流增大，电池端电压会下降，以及在设计电池供电设备时，请提出两项工程师必须考虑的因素以确保装置能稳定工作？

# 电磁感应实验

## 实验假设

感应电动势的大小取决于磁场变化的快慢、线圈的匝数以及磁场强度。磁通量变化越大或变化越快，感应电动势越大。

## 实验目的

探究影响感应电动势大小的因素。

## 实验器材

器材	规格	数量
线圈	400 匝与 800 匝线圈各一个	2
条形磁铁		2
电流计		1
导线		若干
橡皮筋		若干

## 实验步骤

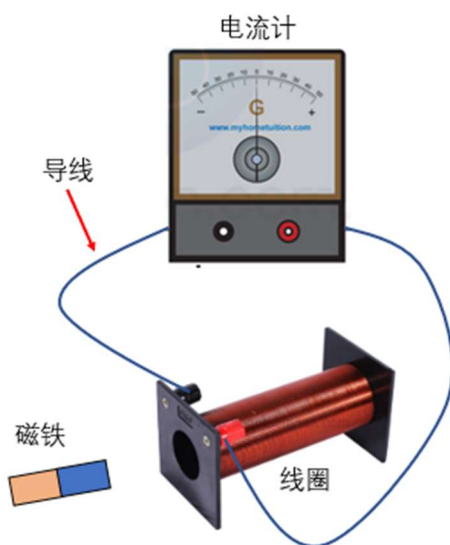


图 1

1. 按图 1 所示装置连接实验器材。
2. 将条形磁铁缓慢推入 400 匝的线圈内，记录电流计的最大读数。
3. 将条形磁铁快速推入 400 匝的线圈内，记录电流计的最大读数。
4. 将条形磁铁缓慢推入 800 匝的线圈内，记录检流计的最大读数。
5. 用橡皮筋将两根条形磁铁同极并列绑在一起。
6. 将绑好的两根条形磁铁缓慢推入 800 匝的线圈内，并将电流计的最大读数记录在表 1 中。

## 实验结果

磁铁的数量	推入磁铁的速度	线圈的匝数	电流计的最大读数		
			第一次尝试	第二次尝试	平均
1	缓慢	400			
1	快速	400			
1	缓慢	800			
2	缓慢	800			

## 讨论

1. 试举出各一个操纵性变量、反应性变量和固定性变量。
2. 当磁铁推入线圈的速度加快时，电流计的最大偏转会怎样变化？为什么？
3. 列举本实验中一个主要的误差来源，并提出一个改进建议。
4. 说明本实验所探讨的原理在日常生活或科技应用中的一个实例，并解释其与感应电动势的关系。

## 参考答案

### 探究自由落体运动规律实验

讨论	参考答案
第 1 题	操纵性变量：打点计时器的打点数
	反应性变量：每隔 5 个打点的间距 或 每 6 个点之间的距离
	固定性变量：打点计时器的频率
第 2 题	写出方程或直接代入相关数值： $\Delta = \frac{g_e - g}{g_e} \times 100$ ; $g$ 为最佳拟合线的斜率
第 3 题	解释： 1. 实验过程空气中的阻力导致实验误差。 2. 测量 $y_n$ 时纸带未完成拉直，导致位移读数偏差。  或其他合理的答案。
	建议： 1. 应选用质量大，但体积小的重物，以改善实验误差。 2. 把纸带平放并拉直再量，避免纸带弯曲造成读数不准。  或其他合理的答案。
第 4 题	纸带间距变化：若有空气阻力，间距仍然先变大，但增加的幅度逐渐减小，最后趋于恒定。
	速度——时间关系图变化：若有空气阻力，图像是一条斜率逐渐减小的曲线，最后趋于水平线。
	原因：空气阻力与速度相关，导致加速度小于 $g$ ，斜率偏小 → 测得的 $g$ 会比真实值小。  指出加速度 $< g$ ，斜率偏小  给出原因（空气阻力作用）清晰完整

## 牛顿第二运动定律实验

讨论	参考答案
第 1 题	操纵性变量：弹性线的条数或作用力的大小
	反应性变量：小车的加速度
	固定性变量：小车的质量或弹性线的拉伸度或摩擦已补偿的跑道的斜度
第 2 题	摩擦补偿的意思是指调整跑道的斜度，使小车在未受外力拉动下，能保持匀速直线运动。这样可以抵消小车与跑道之间的摩擦力，使实验测量的加速度仅由弹性线提供的拉力所致。
	验证步骤： 1. 将小车轻轻推前，在没有拉力情况下观察小车是否能以接近恒定速度滑行。 2. 若小车减速，则斜度太小；若加速，则斜度太大。 3. 调整跑道斜度，重复测试，直到小车能匀速前进，表示摩擦已被补偿。
第 2 题	保持弹性线拉伸度一致，是为了确保每条弹性线提供的拉力大小恒定。若拉伸度改变，即使弹性线条数相同，所提供的合力大小也会不同，影响实验的准确性与可比性。
第 3a 题	当质量固定，随着弹性线数量增加（即合力 $F$ 增大），加速度 $a$ 也线性增加，说明加速度与所受外力成正比，即： $a \propto F$ 。
第 3b 题	在所受拉力恒定的情况下，质量越大，加速度越小，说明加速度 $a$ 与总质量 $M$ 成反比关系，即： $a \propto \frac{1}{M}$ 。
第 3c 题	两个实验结合得出牛顿第二运动定律的一般形式： $F = ma$ 。
第 4 题	影响分析： 弹性线老化会导致其拉力减小，即使条数相同，提供的合力也会较小，导致实际加速度低于预期值。关系图中， $a$ 对 $N$ 的曲线可能不再呈线性，而趋于平缓，失去线性关系，影响对 $a \propto F$ 的验证。

	<p>应对方案：</p> <p>在每次使用前应预先测量弹性线的拉力，确保每条线提供相近的力，例如用弹簧秤测量特定拉伸长度下的拉力。若拉力不足，应更换弹性线或校正使用条数，以保持力的总和与预期一致。</p>
第 5 题	<p>实验 A 的图像：</p> <p>图像向下偏移，但仍大致呈线性关系，斜率变小，负载距偏移。</p>
	<p>实验 B 的图像：</p> <p>加速度偏低，不再是理想的反比例关系，出现非线性弯曲，图像向下弯曲。</p>

## 欧姆定律实验

讨论	参考答案
第 1 题	操纵性变量：待测电阻两端的电压
	反应性变量：通过待测电阻的电流
	固定性变量：待测电阻的阻值/温度 或 伏特计的内电阻/安培计的内电阻
第 2 题	电路中无电阻，电流会剧增，形成短路，会损坏器材/过热。
	大电流会使待测电阻与导线迅速升温，造成电阻上升，影响测量。
第 3 题	<p>写出方程或直接代入相关数值：</p> $\Delta_{lo} = \frac{R_{lo}-R}{R} \times 100 \text{ 和 } \Delta_{hi} = \frac{R_{hi}-R}{R} \times 100$
第 4 题	在低电阻测量法，伏特计分流导致 $I$ 被高估，所以 $R$ 偏小。
	在高电阻测量法，安培计内阻导致 $V$ 被高估，所以 $R$ 偏大。
第 5 题	<p>原则 1：</p> <p>让安培计及伏特计“对被测量的干扰最小”。</p> <p>若让 <math>R_x &lt; R_v</math>，伏特计分流极小 → 适合低电阻测量法。</p> <p>若让 <math>R_A &lt; R_x</math>，安培计串联压降可忽略 → 适合高电阻测量法。</p>
	<p>原则 2：</p> <p>器材最小刻度是固定的，所以量程选择使读数位于刻度中上段。</p> <p>如果量程过大，指针只动一点点（读数在刻度下段），那么每一小格占的数值很大，读数时的“眼睛误差”比例就会更大。</p> <p>如果量程太小，一旦电流过大，器材可能损坏。</p>

## 电流的磁效应与电磁感应实验

讨论	参考答案
第 1 题	操纵性变量：不同匝数的螺线管
	反应性变量：指针的偏转角度
	固定性变量：电压
第 2 题	电流磁效应是指：通电导线会产生磁场。  指出电→磁的转化。
	实验 A 通过观察导线周围指南针的偏转来验证这个效应。  指出实验 A 是验证电流磁效应实验，并加以合理的解释。
	电磁感应是指：磁场的变化会在导线中感应出电流。  指出磁→电的转化。
	实验 B 通过移动磁铁或线圈，观察电流计的指针偏转或读表来验证这个现象。  指出实验 B 是验证电流磁效应实验，并加以合理的解释。
第 3 题	因为短时间内通过大电流会使电池过热，缩短寿命，甚至损坏。
第 4 题	磁场强度（B）与电流（I）成正比。
	根据欧姆定律 $I=V/R$ ，当电压变大（1.5V → 3V），导线电阻不变时，电流变大。  必须顺着次序回答，即先提欧姆定律或写出该公式→电压变大→电阻不变→电流变大。
	磁效应增强→指南针偏转角度更大。
第 5 题	不要让电路长时间通电-3V 下电流更大，电池更容易过热。  或 确保导线不太细-防止发热或熔断。

	<p>或</p> <p>使用短导线可减少电阻-提高电流。</p> <p>或</p> <p>其它合理的答案。</p>
第 6 题	<p>是的，当磁铁或线圈移动时，磁通量发生变化，电流计指针才会偏转/移动。</p>

## 杨氏双缝实验

讨论	参考答案
第 1 题	操纵性变量：镭射光的颜色或其它合理的答案
	反应性变量：条纹间距大小
	固定性变量：双缝到屏的距离或其它合理的答案
第 2 题	实验观察：绿光镭射的干涉条纹比红光镭射更密。  或 实验观察：红光镭射的干涉条纹比绿光镭射更疏散。
	列出双缝干涉的条纹间距公式： $\Delta y = \frac{\lambda L}{d}$  $\Delta y$ 条纹间距 $\lambda$ 波长 $L$ 屏距 $d$ 双缝间距
	进一步解释： 当 $L$ 与 $d$ 相同，条纹间距大小只取决于光的波长 $\lambda$ 。条纹更密表示条纹间距 $\Delta y$ 更小。根据公式，波长越短，条纹间距越小，条纹就越密。因此，绿光镭射的波长比红光镭射短。
	实验方案设计： 1. 在屏上加上标尺或用相机拍摄时包含标尺，用来测量干涉条纹的间距。 2. 用卷尺测量双缝到白屏的距离 $L$ ，并记录。 3. 测量双缝间距 $d$ ，并记录。 4. 在相同的 $L$ 和 $d$ 下，记录多组相邻明纹/暗纹的间距 $\Delta y$ ，或多阶条纹的位置。
第 3 题	理由论证： 1. 条纹间距公式 $\Delta y = \frac{\lambda L}{d}$ 表明，若要计算波长，则须测 $L$ 、测 $d$ 、测 $\Delta y$ 。 2. 现有实验只有图样，没有数值，无法直接计算，因此必须增加这些测量。

- |  |   |
|--|---|
|  | <ol style="list-style-type: none"><li>3. 多次测量条纹间距可减少偶然误差，使结果更可靠。</li><li>4. 用标尺或相机记录数据能提高精度与可复核性。</li></ol> |
|--|---|

## 二维运动学实验

讨论	参考答案
第 1 题	操纵性变量：钢球在斜槽上的起始高度
	反应性变量：钢球的射程
	固定性变量：桌子高度或钢球质量与种类或斜槽角度
第 2 题	公式推导： 从实验原理，得 $s_x = \left(\sqrt{\frac{2H}{g}}\right) u_x$ 对应直线方程， $\Delta x = m \cdot u_x$ 所以， $m = \sqrt{\frac{2H}{g}}$ $\therefore g = \frac{2H}{m^2}$
第 3a 题	误差与改进： a. 秒表人为反应误差 → 改用光电门计时； b. 钢球离开斜槽时方向不完全水平 → 调整斜槽位置，确保出口水平； c. 测量射程时碳纸偏移或不清晰 → 固定碳纸并多次测量； d. 测量高度和射程时的视差误差 → 眼睛应与刻度尺保持垂直位置。
第 3b 题	射程：减小（空气阻力显著使其减速快）
	测得的 $g$ ：偏小（斜率 $m$ 偏大）
	原因： 乒乓球质量小、表面积大，空气阻力不可忽略。
第 3c 题	准确性： 下降 → 结果偏离真实 $g$ 值。 可靠性： 下降 → 空气扰动影响大，落点分散性高。有效性：下降 → 实验理论假设忽略空气阻力，但乒乓球不符合此假设。

## 动量守恒实验

讨论	参考答案
第 1 题	操纵性变量：小车 A 的起始速度（轻推强度/出发高度控制）或碰撞前的质量配置
	反应性变量：碰撞后系统的共同速度 或 碰撞前后系统总动量的差值
	固定性变量：跑道倾角（在摩擦补偿后保持固定）或 无外力的环境
第 2 题	跑道倾角已调节至摩擦力补偿，跑道近似水平，水平方向无外力作用，所以小车 B 放上去后能自然保持静止，直到碰撞发生。
第 3a 题	写出方程： $\Delta = \frac{p_a - p_b}{p_b} \times 100$
第 3b 题	<p>误差（一）： 跑道摩擦或空气阻力未完全补偿。</p> <p>改进（一）： 用多次试验调节斜度直到静止小车保持静止且匀速通过 或 在使用低摩擦跑道。</p> <p style="text-align: center;">或</p> <p>误差（二）： 打点计时器与纸带测量误差，例如打点抖动，导致速度计算误差。</p> <p>改进（二）： 增加重复次数取平均 或 使用更高频率的打点计时器 或 光电门测速。</p> <p style="text-align: center;">或</p> <p>误差（三）： 碰撞有角度 或 小车未能完全黏合，部分动量分配到反弹或旋转。</p> <p>改进（三）： 确保小车轨迹与碰撞中心对齐 或 在碰撞前后检查并记下是否发生旋转。</p>

第 4a 题	<p>冲量 <math>I</math> 为动量变化; <math>I = \Delta p = m \cdot \Delta v = F \cdot \Delta t</math>。</p> <p>在碰撞中, 动量变化 <math>\Delta p</math> 由碰撞前后的速度差决定。若 <math>\Delta p</math> 相同, 将冲量分布到更长时间, 即增加 <math>\Delta t</math>, 则平均力 <math>F = \frac{\Delta p}{\Delta t}</math> 变小, 所以延长碰撞持续时间会减小瞬时受力, 从而保护乘客。</p>
第 4b 题	<p>可模拟的部分:</p> <p>测得碰撞前后动量和可以检验动量守恒, 且可通过观察黏合或弹性碰撞展示动量在系统内重新分配。</p> <p>局限性的部分:</p> <p>实验中小车刚性、尺度小且通常在同一直线上发生碰撞, 无法很好再现车身变形、能量以热能等形式耗散、以及乘员相对运动与安全带/安全气囊的作用。</p> <p>现实中有较大外力, 例如地面反冲、车身旋转、刹车力等, 以及复杂多维运动, 实验简化为一维问题。</p>
第 4c 题	<p>建议 (一):</p> <p>保持安全车距, 给自己更多反应和减速时间 → 等同于增加碰撞前可用的制动/减速时间, 降低碰撞相对速度, 从而减小 <math>\Delta p</math> 与冲量。</p> <p style="text-align: center;">或</p> <p>建议 (二):</p> <p>使用并正确佩戴安全带, 包括儿童安全座椅 → 将乘客与车辆一起“绑在一起”, 使碰撞时乘客与车身一起变速、延长制动时间, 减小乘客与车内结构因惯性使然而发生碰撞的瞬间力度。</p>

## 向心力实验

讨论	参考答案
第 1 题	操纵性变量：张力或砝码组质量 M
	反应性变量：角速率
	固定性变量：尼龙线长或胶塞的质量或近乎水平的运动且无管壁摩擦
第 2a 题	公式推导： 写出向心方程， $T \sin \theta = m\omega^2 r \rightarrow \textcircled{1}$ 写出 $r = L \sin \theta \rightarrow \textcircled{2}$ 把 $\textcircled{2}$ 代入 $\textcircled{1}$ ， $T \sin \theta = m\omega^2 L \sin \theta$ $\therefore T = m\omega^2 L$ 。
第 2b 题	推导： 竖直分力， $T \cos \theta = mg$ 进一步推导， $\cos \theta = \frac{mg}{T}$ 本实验中 $T = Mg$ 由悬挂质量确定，与 $\omega$ 无关。 总结， $\theta$ 只由 $T$ 和 $mg$ 决定，与 $\omega$ 无关。
第 3a 题	根据 $T = m\omega^2 L$ ， $\omega^2$ 和 $T$ 为线性关系，过原点。
第 3b 题	根据 $T = m\omega^2 L$ ，斜率 $m$ 为 $mL$ 。
第 3c 题	理论值 $m_t$ ：用已测 $m$ 与其设定 $L$ （参考表 1）算 $mL$ 。 采用误差传递原则，若 $L$ 取步骤 2 的 $0.8 m$ ，则理论值计算 $= m \times 0.8 m$ 。 写出方程或直接代入相关数值： $\Delta = \frac{m_t - m}{m_t} \times 100$ ； $m$ 为最佳拟合线的斜率
第 4 题	确保有效线长 $L$ 恒定。 避免与管口摩擦/碰撞引入额外切向阻力与不稳定，从而改变所需张力。
第 5 题	误差（一）： 人为计时反应时差，随机为主。 改进（一）： 计 40 圈 或 用光电门计时。 <div style="text-align: right;">或</div>

	<p>误差（二）： 管口摩擦，系统为主。</p> <p>改进（二）： 在管口加低摩擦衬垫并确保“刚好不接触”。</p> <p style="text-align: center;">或</p> <p>误差（三）： <math>\omega</math> 不稳，随机。</p> <p>改进（三）： 练习至稳定、只在角速度稳定区间计时。</p>
第 6 题	<p>步骤：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 固定悬挂质量 <math>M</math>。</li> <li>2. 移动纸标记设定不同 <math>L</math>。</li> <li>3. 每个 <math>L</math> 处稳定转动并测 20 周时间求 <math>\omega</math>。</li> </ol> <p>变量：</p> <p>操纵变量（或自变量） = <math>L</math></p> <p>反应变量（或因变量） = <math>\omega</math></p> <p>控制变量 = <math>M</math>、<math>m</math>、环境与操作方式</p> <p>图像处理：</p> <p>从 <math>T = m\omega^2 L \rightarrow \omega^2 = \frac{T}{m} \cdot \frac{1}{L}</math>。</p> <p>画 <math>\omega^2</math> 对 <math>\frac{1}{L}</math> 的关系图。</p> <p>斜率是 <math>\frac{T}{m}</math>。</p>

## 单摆的周期

讨论	参考答案
第 1 题	操纵性变量：单摆的长度
	反应性变量：单摆的摆动周期
	固定性变量：单摆的质量或摆幅的角度
第 2 题	写出方程 $y = mx$ ； $m$ 为斜率。 $T^2 = \frac{4\pi^2}{g} l$
	进一步推导： $m = \frac{4\pi^2}{g} \rightarrow g = \frac{4\pi^2}{m}$
第 3 题	写出方程或直接代入相关数值： $\Delta = \frac{g_e - g}{g_e} \times 100\%$
第 4 题	单摆的长度测量并非从夹板下至摆球中间。  或  摆球没有在垂直平面上摇摆。
第 5 题	当摆角较大时，单摆不再是简谐运动，周期会大于理论值。
	原因： 推导公式假设“摆角小于 $10^\circ$ ”，否则近似 $\sin \theta \approx \theta$ 不成立。
	改进方法： 保持摆角小于 $10^\circ$  或 使用更复杂的数学模型修正大角度周期公式  或 利用传感器（光电门/运动传感器）更准确测量周期。

## 弹簧振子的周期

讨论	参考答案
第 1 题	操纵性变量：挂在弹簧上的质量
	反应性变量：振动周期
	固定性变量：弹簧的种类与长度或振幅大小
第 2 题	<p>周期的定义是“一次往返运动”，运动状态与出发时相同。</p> <p>当质量挂钩向上经过标记钉时，记为起点。质量挂钩随后向下、再向上，直到再次向上经过同一标记钉，完成一个完整周期。</p>
第 3 题	<p>写出方程 <math>y = mx</math>；<math>m</math> 为斜率。</p> $T^2 = \frac{4\pi^2}{k} m$
	进一步推导： $m = \frac{4\pi^2}{k} \rightarrow k = \frac{4\pi^2}{m}$
第 4 题	<p>误差（一）： 人为计时反应时差。</p> <p>改进（一）： 测更长周期数 或 用光电门自动计时。</p> <p>或</p> <p>误差（二）： 振幅过大。</p> <p>改进（二）： 保持小振幅（位移 <math>\leq 5 \text{ cm}</math>）。</p> <p>其他可接受的误差来源： 弹簧质量不可忽略、空气阻力、释放方式不一致。</p>
第 5 题	<p>步骤：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 固定弹簧与质量不变，改变振幅，如 2 cm、4 cm、6 cm。</li> <li>2. 测定不同振幅下的周期 <math>T</math>。</li> </ol>

	<p>变量控制：</p> <p>操纵变量（或自变量）= 振幅大小</p> <p>反应变量（或因变量）= T</p> <p>控制变量 = 控制弹簧、质量、环境条件</p>
	<p>图像处理：</p> <p>绘制 T（或 T<sup>2</sup>）对振幅的关系图。</p> <p>在确保小振幅下，图像近似水平直线，说明周期与振幅无关。</p>

## 光栅实验

讨论	参考答案
第 1 题	<p>写出方程或直接代入相关数值：</p> $\Delta = \frac{d_{avg} - d_t}{d_{avg}} \times 100\% ; d_t \text{ 为相关光碟片的实际轨距}$
第 2 题	<p>衍射图样方向垂直于刻线。</p> <p>打在中心上方 → 刻线局部趋于“横向” → 条纹竖直分布</p> <p>打在中心右方 → 刻线局部趋于“竖向” → 条纹水平分布</p>
第 3 题	<p>光点总数为奇数。</p> <p>若只统计非零级，则为偶数；但通常讨论“可见总个数”时包含零级，为奇数。</p> <p>理由：</p> <p>有 1 个零级中心斑 (<math>m = 0</math>) + 两侧对称的 <math>\pm m</math> 级。</p> <p>对于两侧的 <math>\pm m</math> 级，须要写出类似“对称”或“成对出现”字眼。</p>
第 4 题	<p>DVD (<math>d \approx 0.74 \mu\text{m}</math>) 的衍射角更大、级次更分开，但可见的级次数通常更少。</p> <p>CD (<math>d \approx 1.6 \mu\text{m}</math>) 的衍射角较小、级次更靠近，但可见的级次数通常更多。</p> <p>理由：</p> <p>DVD 栅距比 CD 小，在同一 <math>m</math> 下所需的 <math>\sin \theta_m</math> 越大，可见级次会受限。</p> <p>对于描述 <math>\sin \theta_m</math>，须要写出类似“同一 <math>m</math> 下”这个前提条件。</p>
第 5 题	<p>非零级光点拉成弧形。</p> <p>原因：</p> <p>刻线为同心圆/螺旋，不同微小位置的刻线方向不断变化，所以辐射照射的局部刻线方向不同。同一级次对应一段角度范围里的刻线方向。</p>

<p>还可能因以下原因产生叠加，使弧形更明显： 碟片微小翘曲、表面不均匀或入射并非完美等</p>
--

## 固体比热实验

讨论	参考答案
第 1 题	写出方程： $Q_1 = m_w c_w (\theta_2 - \theta_1) + m_c c_c (\theta_2 - \theta_1)$
第 2 题	写出方程： $Q_2 = m_4 c_b (\theta_3 - \theta_2)$ <p><math>c_b</math> 为小铜球的比热。</p>
第 3 题	写出方程： $m_4 c_b (\theta_3 - \theta_2) = m_w c_w (\theta_2 - \theta_1) + m_c c_c (\theta_2 - \theta_1)$ $c_b = \frac{m_w c_w (\theta_2 - \theta_1) + m_c c_c (\theta_2 - \theta_1)}{m_4 (\theta_3 - \theta_2)}$
	将表 1 相关数据代入方程，得两次的 $c_{b1}$ 和 $c_{b2}$ 。
	求平均值 $\bar{c}_b = (c_{b1} + c_{b2}) / 2$ 。
第 4 题	写出方程或直接代入相关数值： $\Delta = \frac{\bar{c}_b - 385}{385} \times 100$
第 5 题	答案必须依据第 4 题的误差。  若实验值偏低： a) 热量散失到环境 解释： 铜球在转移或混合时有部分热散失，导致水和量热器吸收的热量少于应有值 → 计算出的 $c_b$ 偏低。 改进： 快速转移铜球；使用保温盖、绝热套减少散热；在铜球投放后立即搅拌均匀。  b) 平衡温度 $\theta_2$ 读数偏低

	<p>解释： 若温度计反应慢或未充分搅拌，温度尚未稳定时就记录，<math>\theta_2</math> 被低估 <math>\rightarrow (\theta_2 - \theta_1)</math> 变小 <math>\rightarrow</math> 吸热量计算偏小 <math>\rightarrow c_b</math> 偏低。</p> <p>改进： 充分搅拌后等温度稳定再读；选用快响应温度计。</p> <p>若实验值偏高：</p> <p>a) 铜球初温 <math>\theta_3</math> 被低估</p> <p>解释： 若铜球没有真正加热到沸水温度，但实验中仍按 <math>100\text{ }^\circ\text{C}</math> 计算，则实际 <math>(\theta_3 - \theta_2)</math> 大于记录的数值 <math>\rightarrow</math> 分母变小 <math>\rightarrow</math> 计算出的 <math>c_b</math> 偏高。</p> <p>改进： 确保铜球完全浸没在沸水中并保持足够时间；转移时迅速；在投入前轻轻甩去附着水。</p> <p>b) 铜球质量 <math>m_4</math> 被低估</p> <p>解释： 若称量不准或表面水滴被蒸发掉，实际 <math>m_4</math> 大于记录值 <math>\rightarrow</math> 分母变小 <math>\rightarrow</math> 计算出的 <math>c_b</math> 偏高。</p> <p>改进： 使用精确天平；确保铜球表面干燥后再称量。</p>
第 6 题	<p>比热与传导率的作用：</p> <p>比热大： 手柄材料升温慢，能延缓烫手。</p> <p>热传导率低： 减少热量传递到手握处，是隔热的关键。</p> <p>二者结合： 通常选低热传导率且适度高比热的材料。</p>

	<p><b>联系实验误差与限制：</b></p> <p>在实验中，温度读数误差、热量散失、材质非均匀分布都会影响比热测定。</p> <p>在工业设计中，要考虑：温度分布不均、环境对流与散热、使用场景（干燥/潮湿/反复加热）。</p> <p>实验的“不完全绝热”问题提醒工程师，实际环境比实验条件复杂得多。</p>
	<p><b>额外考量：</b></p> <p>设计上需加入：人体触感实验（舒适温度阈值）、耐久性测试（反复加热冷却）、材料机械强度与成本。</p> <p>需考虑安全标准与法规（食品级、无毒、耐火）。</p>

## 测定冰的熔化潜热

讨论	参考答案
第 1 题	能量守恒定律提出实验假设（一）： 将 0 °C 的冰块投入盛有水的量热器内，使初温度为 $\theta_1$ 的水下降至 $\theta_2$ ，而冰块融化成水且温度升高至 $\theta_2$ 。
	能量守恒定律提出实验假设（二）： 冰融化到最后状态所吸收的总热量，等于量热器和筒内的水所放出的总热量。
	写出方程： $L = \frac{(4200m_w + 390m_c)(\theta_1 - \theta_2)}{m_i} - 4200\theta_2$
第 2 题	写出方程或直接代入相关数值： $\Delta = \frac{L_0 - L}{L_0} \times 100\%$
第 3 题	实验中所用的水的初温和末温必须和室温相差不大，以减少外界的热量流入水中（或其它合理的答案）。
第 4a 题	由于测温之前未进行搅拌，则测得温度比实际偏高，则测得结果偏大。
第 4b 题	冰未擦干，则表面含水，致使其温度不可视为 0，则测得结果偏小。
第 5 题	步骤概述： 取少量代表性的冰样置于一小量热容器中，用温度计测量冰表面和冰内部接触处的温度，并记录数值与时间；记录前后温度变化是否稳定于 0 °C。 <p style="text-align: center;">或</p> 采用“等温测试”，把筛选到的冰放入一个已知温度略低于 0 °C 的冷却环境，用温度计监测是否存在温度上升并稳定在 0 °C；若冰刚取出温度低于 0，温度会先上升到 0，然后停留一段时间表示开始相变。
	如何判断：

	<p>若温度读数在一定时间内稳定接近 <math>0\text{ }^{\circ}\text{C}</math>，说明冰在投入前接近 <math>0\text{ }^{\circ}\text{C}</math>。</p> <p style="text-align: center;">或</p> <p>若温度明显低于 <math>0\text{ }^{\circ}\text{C}</math> 并且在投入短时间内仍持续上升到 <math>0\text{ }^{\circ}\text{C}</math> 才开始融化，则原假设不成立。</p>
	<p>为什么能减小某类误差：</p> <p>通过这一验证，以便决定是否需要在本次实验前对冰的温度进行处理，如将其置在 <math>0\text{ }^{\circ}\text{C}</math> 的冰箱隔层或与室温接触短暂时间以使表面接近 <math>0\text{ }^{\circ}\text{C}</math>，从而消除“冰低于 <math>0\text{ }^{\circ}\text{C}</math> 导致 <math>L</math> 人为偏大”的系统性误差。该方法不需要复杂设备，只需温度计与可控制的等温环境或观察技巧，适合高中实验室。</p>

## 波义耳定律实验

讨论	参考答案
第 1 题	操纵性变量：气体的体积
	反应性变量：气体的压强
	固定性变量：温度 或 气体的种类 或 气体的质量
第 2 题	体积减小 → 压强增大 或 体积增大 → 压强减小
第 3 题	<p>误差与改进：</p> <p>a) 注射器接口漏气导致实际气体量减少，数据偏差 → 检查密封性，防止漏气</p> <p>b) 推动活塞过快导致气体温度暂时升高，不再是恒温条 → 缓慢推动活塞，让气体与环境充分热平衡</p> <p>c) 读数视差或压强计刻度误差 → 读数时视线与刻度垂直，或使用更灵敏仪器</p>
第 4 题	<p>现象解释：</p> <p>室外高温 → 瓶内气体压强较大；进入冷气房 → 瓶内气体温度降低，压强随之减小</p> <p>外界大气压保持不变 → 外压大于内压 → 瓶身被压凹</p> <p>与实验联系：</p> <p>本实验在温度恒定下，研究了体积与压强的关系。</p> <p>生活中的例子进一步说明压强也与温度有关。</p> <p>设计启示：</p> <p>食品包装需考虑温差带来的内外压差</p> <p>材质要有足够强度或弹性，避免运输或储存中瓶身变形。</p>

## 电容器的充电与放电实验

讨论	参考答案
第 1 题	操纵性变量：时间 $t$ 或 电容器的充电/放电状态
	反应性变量：电流 $I$ 或 微安计读数
	固定性变量：电源电压 或 电容 $C$ 或 电阻 $R$ 或 环境温度 或 导线连接
第 2 题	公式理论： $I = I_0 e^{-\frac{1}{RC}t}$
	$\tau$ 的定义条件： $I = I_0 e^{-1} \approx 0.368 I_0$
	从 $I$ 对 $t$ 的关系图读出当 $I = 0.368 I_0$ 的时刻 $t$ ，即为 $\tau$ 。
第 3 题	正确代入 $R$ 与 $C$ 数值。 $R = 20 \text{ k}\Omega; C = 470 \text{ }\mu\text{F}$
	理论值：约 9.4 s。
	计算误差： $\Delta = \frac{\tau_e - \tau}{\tau} \times 100\%; \tau_e \text{ 为 } I \text{ 对 } t \text{ 关系图所获之值, } \tau \text{ 为理论值。}$
	比较： 误差 $\leq \pm 10\%$ ，表示实验控制良好，数据可信。  或 $\pm 10\text{--}20\%$ ，属正常实验范围，可能是元件误差与读数误差。  或 $> \pm 20\%$ ，可能有漏电、接触不良、仪表响应滞后或读数错误。
第 4 题	漏电影响及方向： 电容器放电更快， $I$ 对 $t$ 曲线下降更陡，测得 $\tau$ 偏小。
	电阻升温影响及方向： 电阻 $R$ 增大，充放电变慢， $I$ 对 $t$ 曲线更平缓，测得 $\tau$ 偏大。
	改进方法：

	使用无漏电电容器或新器件或避免长时间通电，使电阻不过热或间隔重复实验或选功率较高的电阻。
第 5 题	$\tau = RC$ 控制充放电快慢：若要加快充放电过程 $\rightarrow$ 需使 $\tau$ 减小
	减小 $R$ 加快过程：换用较小阻值电阻
	减小 $C$ 加快过程：换用较小电容量的电容器
	物理意义： $R$ 或 $C$ 越小，充放电曲线下降更快，电流衰减时间更短。
第 6 题	原理： 时间常数 $\tau = RC$ ； $R$ 或 $C$ 越大，充放电越慢 $\rightarrow$ 延时时间越长
	应用实例(任选其一)： 相机闪光电路：需瞬间放电 $\rightarrow$ 小 $R$ 、小 $C$ 自动关灯/雨刷延时：需长延时 $\rightarrow$ 大 $R$ 、大 $C$ 稳压电路：利用电容平滑电压变化
	重要性： 控制设备反应时间或防止电流突变或提高安全与稳定性

## 电动势与内电阻实验

讨论	参考答案
第 1 题	操纵性变量：电流, $I$ 或 外接电阻, $R$
	反应性变量：电池的端电压, $V$
	固定性变量：电池的电动势 或 温度 或 导线的接线方式 或 使用的电表类型
第 2 题	<p>电流变化方向：</p> <p>滑片从 Q → P 移动时，外电阻 <math>R</math> 减小 → 电路电流 <math>I</math> 增大。</p>
	<p>解释原因和端电压变化方向：</p> <p>因为电池有内电阻，流过电流越大，内电压降 <math>Ir</math> 越大 → 端电压 <math>V = \varepsilon - Ir</math> 减小。</p>
第 3 题	<p>误差与改进：</p> <p>a) 伏特表有较大内阻，安培表有小内阻，使测得的 <math>V</math>、<math>I</math> 略偏离真实值 → 使用内阻较高的伏特表、校准的安培表</p> <p>b) 导线接触电阻、接触点氧化或导线发热，导致实际电路总电阻与理论不符 → 确保导线与接点清洁、接触良好</p> <p>c) 电池老化，所以实际电动势低于标称值 → 选用新电池并控制测量间隔，防止电池放电过多</p>
第 4 题	<p>解释端电压下降原因：</p> <p>电池有内电阻，当放电电流增大时，内阻产生的电压降 <math>Ir</math> 增加 → 输出电压 <math>V = \varepsilon - Ir</math> 减小</p>
	<p>对设备运行的影响：</p> <p>若电压下降太多，设备可能无法正常工作。</p>
	<p>合理设计考量：</p> <p>a) 决定续航与压降的电池的内阻与容量</p>

- |   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>b) 防止过热与性能衰减的最大工作电流</li><li>c) 维持输出电压恒定的电路或利用电容器平滑电压的波动，以便维持供电稳定</li><li>d) 电池老化效应，防止电压不足造成设备损坏</li></ul> |
|---|

## 电磁感应实验

讨论	参考答案
第 1 题	操纵性变量：磁铁的运动速度 或 线圈匝数 或 磁铁数量
	反应性变量：电流计的最大读数
	固定性变量：线圈种类 或 磁铁种类 或 磁铁推入方向等
第 2 题	电流计的最大偏转会增大。
	解释原因： 磁通量变化率变大，感应电动势也随之增大。
第 3 题	误差来源： 磁铁每次推入线圈的速度难以保持一致。
	改进建议：使用计时器 或 导轨控制磁铁运动，使速度更恒定。
第 4 题	实例： 如自行车发电灯 或 电吉他拾音器 或 电磁煞车系统等（仅列明其中一个实例即可）
	说明： 这些装置都利用磁通量变化产生感应电动势的原理。当线圈或磁铁相对运动时，回路中产生感应电流，实现能量转换或信号产生。  须指出涉及磁通量变化或感应电动势原理，以及说明清楚原理与功能关系。