

# 大学

王家慧 沈人德 盛毅 主编

## 基础物理实验

DAXUE JICHU WULISHIYAN  
DAXUE JICHU WULISHIYAN  
DAXUE JICHU WULISHIYAN  
DAXUE JICHU WULISHIYAN

中国农业大学出版社



# 大学基础物理实验

王家慧 沈人德 盛毅 主编

中国农业大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

大学基础物理实验/王家慧,沈人德,盛毅主编. —北京:中国农业大学出版社,2004.1

ISBN 7-81066-704-1/O · 36

I. 大… II. ①王… ②沈… ③盛… III. 物理实验-高等学校-教材  
IV. 04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 113631 号

书 名 大学基础物理实验  
作 者 王家慧 沈人德 盛毅 主编

---

策划编辑	孙勇	责任编辑	姚小俐
封面设计	郑川	责任校对	王晓凤
出版发行	中国农业大学出版社		
社 址	北京市海淀区圆明园西路2号	邮政编码	100094
电 话	发行部 010-62891190,2620	读者服务部	010-62892336
	编辑部 010-62892617,2618	出版部	010-62893440
网 址	<a href="http://www.cau.edu.cn/caup">http://www.cau.edu.cn/caup</a>	E-mail	caup @ public. bta. net. cn
经 销	新华书店		
印 刷	北京鑫丰华彩印有限公司		
版 次	2004年1月第1版 2004年1月第1次印刷		
规 格	787×980 16开本 5.75印张 100千字		
印 数	1~3 000		
定 价	8.00元		

---

图书如有质量问题本社发行部负责调换

## 前 言

物理实验教学是物理学理论和应用之间不可缺少的教学环节。通过物理实验不仅能巩固和深化学生对物理学的理解,更重要的是能增强他们将理论应用到实践中的信心和能力。

为配合物理实验课的改革,我们在短时间内完成了这本教材。本书的特点是叙述简练、便于自学、利于操作,每个实验都配有思考题,使学生在做实验时不至于盲目。本书共分4章:第一章简要地讲解了误差理论及数据处理方法;第二章是热学实验(共6个);第三章是电学实验(共6个);第四章是光学实验(共7个,其中实验十九布儒斯特角的测定,因无仪器,暂时不能做)。

本书的第一章、实验一、实验三和实验十九由盛毅执笔,实验二、实验四、实验五、实验六和实验八由王家慧执笔,实验七和实验十二由祁铮执笔,实验九和实验十一由王卫执笔,实验十、实验十三、实验十四和实验十八由沈人德执笔,实验十五和实验十六由申兵辉执笔,实验十七由张建军执笔。全书由王家慧修改后统一定稿。

由于水平有限,时间较紧,书中难免有错,望各位老师和同学指正。

编 者

2003年11月

# 目 录

<b>第一章 误差理论及数据处理</b> .....	( 1 )
第一节 测量及误差.....	( 1 )
第二节 有效数字.....	( 4 )
第三节 数据处理及实验结果.....	( 5 )
<b>第二章 力学、热学实验</b> .....	( 8 )
实验一 长度测量.....	( 8 )
实验二 用单摆测重力加速度.....	( 12 )
实验三 驻波.....	( 15 )
实验四 测定空气的 $\gamma$ 值.....	( 18 )
实验五 液体表面张力系数的测定.....	( 21 )
实验六 液体黏度的测定.....	( 24 )
<b>第三章 电学实验</b> .....	( 27 )
实验七 基本电学量测量.....	( 27 )
实验八 用箱式电位差计为热电偶定标.....	( 32 )
实验九 用滑线式电位计测定化学电池的电动势.....	( 37 )
实验十 阴极射线示波器.....	( 42 )
实验十一 用便携式电桥研究热敏电阻的温度特性.....	( 49 )
实验十二 利用霍尔效应测磁感应强度.....	( 54 )
<b>第四章 光学实验</b> .....	( 58 )
实验十三 用棱镜测定光波的波长.....	( 58 )
实验十四 用光栅测定光波的波长.....	( 63 )
实验十五 牛顿环.....	( 66 )
实验十六 单缝衍射实验.....	( 71 )
实验十七 光电效应.....	( 74 )
实验十八 用旋光仪测定糖溶液的质量浓度.....	( 77 )
实验十九 布儒斯特角的测定.....	( 81 )

# 第一章 误差理论及数据处理

## 第一节 测量及误差

### 一、测量

在从事生产实践和科学实验时,首先要对各种物理量进行测量。测量可分为直接测量和间接测量。

1. 直接测量。可以从测量仪表上直接读数的测量称为直接测量。直接测量实际上就是把待测的量直接与一个选作标准的同类量进行比较。如用米尺测量长度,米尺就是所选的标准;用电流表测电流,电流表一定是用标准电流校准过的。

2. 间接测量。不能从测量仪表上直接读数的测量称为间接测量。间接测量是通过直接测量和计算得到的。如球的体积的测量,只能直接测量其直径  $D$ , 然后根据  $V = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{D}{2}\right)^3$  计算出体积。

### 二、真值与误差

测量的目的是获得真值,但却不可避免地存在误差。

1. 真值。物理量的实际客观值称为真值,它是未知的,通过测量可对其进行估计。

2. 误差。误差是测量结果偏离真值大小的量度,可表示为:

$$\text{测量误差} = \text{测量结果} - \text{真值}$$

由于真值是未知的,所以,误差也不能精确求出,只能根据测量数据进行估计。

### 三、误差种类

误差的产生有多种原因,其性质也不同,一般可分为下列 3 种。

1. 系统误差。测量结果整体以一定规律偏离真值,增加测量次数并不能减小这种误差,但是如果分析出误差产生的具体原因或找出其规律,则不难采取适当的措施消除或校正。系统误差产生的原因主要是:

(1)仪器的误差:这是由仪器不良导致的。例如米尺刻度不均,天平两臂不等长等。

(2)实验方法的误差:这是由实验方法不当或实验条件不具备所引起的。例如20℃下刻度的标尺在0℃下使用;用米尺测量圆盘直径时常测在弦上,而使测量值系统地偏小等。

(3)个人误差:这是由测量者个人生理或心理的原因造成的。例如在用停表测量时间时,有人总是偏长,有人则总是偏短。

2. 随机误差。测量结果独立、随机地偏离真值,增加测量次数可以减小这种误差。即使采用完善的仪器,选择了恰当的方法,经过精心的观测,仍不可避免地存在随机误差。随机误差产生的原因是由于我们感官灵敏度和仪器精度的限制,以及许多不能预料的其他因素的影响。随机误差存在于一切测量之中,遵从或然率定律。即测量值大于或小于真值的机会相等,偏离真值越远的测量值,出现的可能性越小。例如用米尺测量工件长度时,米尺上最小刻度是1 mm,1 mm以下的数值只能靠测量者估计出,每次独立的估计一般是不同的,其值或大或小,但总不会相差太远。

3. 粗差。测量结果明显偏离真值。这是由于测量者一时粗心大意造成的,分析清楚原因后,这种数据可以剔除。例如将标尺上的3误读成8等。

#### 四、误差计算

严格的误差计算是很复杂的,可参考《JJG1027—97 国家计量技术规范》。在此我们只给出普通物理实验中估算误差的简单方法。

测量时,粗差是可以避免的,系统误差可以设法消除和校正,而随机误差是不可避免的;因此,测量结果的精确度主要由随机误差决定。

##### 1. 直接测量的误差计算。

(1)一次测量:对某量 $N$ 只进行了一次测量,测量值为 $N_0$ ,我们别无选择地把 $\bar{N}=N_0$ 作为 $N$ 的最可靠的估计值,而误差 $\delta N$ 取为仪器误差 $\Delta$ 。仪器误差是由仪器的精度决定的,若精度未知,我们可把仪器最小刻度的1/2作为仪器误差。

(2)多次测量:对某量 $N$ 进行了多次独立的测量,测量值为 $N_1, N_2, N_3, \dots, N_k$ ,我们取其算术平均值

$$\bar{N} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k N_i \quad (1.1)$$

作为 $N$ 的最可靠的估计值,而误差 $\delta N$ 取为标准偏差 $S_N$ ,即

$$\delta N = S_N = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (N_i - \bar{N})^2}{k(k-1)}} \quad (1.2)$$

可以证明,当  $k$  足够大时  $S_N \propto \frac{1}{\sqrt{k}}$ , 所以,增加测量次数可以减小随机误差。

若考虑到仪器误差  $\Delta$ , 则  $\delta N = \sqrt{S_N^2 + \Delta^2}$ 。为简单起见,当仪器精度足够时,忽略  $\Delta$ ,  $\delta N = S_N$ 。当  $S_N < \Delta$  时,取误差为  $\delta N = \Delta$ 。

2. 间接测量的误差计算。当直接测量几个独立的量  $A, B, C, \dots$ , 通过公式  $N = f(A, B, C, \dots)$  对  $N$  进行间接测量时,  $N$  的最可靠估计值为

$$\bar{N} = f(\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \dots) \quad (1.3)$$

绝对误差为

$$\delta N = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial A} \delta A\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial B} \delta B\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial C} \delta C\right)^2 + \dots} \quad (1.4)$$

相对误差为

$$\frac{\delta N}{N} = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln f}{\partial A} \delta A\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial B} \delta B\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial C} \delta C\right)^2 + \dots}$$

公式(1.4)称为误差传递公式。

[例 1]  $N = A - B$

则

$$\bar{N} = \bar{A} - \bar{B}, \quad \delta N = \sqrt{(\delta A)^2 + (\delta B)^2}$$

[例 2]  $N = A \times B$

则

$$\bar{N} = \bar{A} \times \bar{B}, \quad \delta N = \sqrt{(B \delta A)^2 + (A \delta B)^2}$$

或

$$\frac{\delta N}{N} = \sqrt{\left(\frac{\delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\delta B}{B}\right)^2}$$

[例 3]  $N = KA^n$  ( $K$  为准确量)

则



$$\bar{N} = K \bar{A}^n, \quad \delta N = |KnA^{n-1}\delta A|$$

## 五、测量结果

1. 测量结果的表示。当完成对量  $N$  的测量后,得到  $N$  的最可靠估计值  $\bar{N}$  及误差  $\delta N$ ,则可将测量结果表示为

$$N = \bar{N} \pm \delta N \quad (1.5)$$

2. 测量结果的意义。将测量结果表示成式(1.5)的意义是: $N$  的真值在  $\bar{N} - \delta N$  到  $\bar{N} + \delta N$  范围内出现的机会(概率)是某一确定值  $W$ 。例如,取  $\delta N = S_N$  时,  $W = 68.3\%$ 。

## 六、相对误差

误差  $\delta N$  定量地描述了测量的精度,但不一定表示测量结果的好坏。测量结果的好坏由相对误差  $\delta N/N$  来评价。例如,甲测得时钟走  $\bar{N}_1 = 1.2$  h,误差  $\delta N_1 = 0.1$  h;乙测得  $\bar{N}_2 = 240$  h,误差  $\delta N_2 = 2$  h。由  $\delta N_1 < \delta N_2$  可知甲的测量精度比乙的高,由  $\frac{\delta N_1}{N_1} > \frac{\delta N_2}{N_2}$  可知乙的测量结果比甲的好。

# 第二节 有效数字

## 一、有效数字

1. 有效数字的概念。从数据的第一个不为 0 的可靠数字开始,到最后一位有误差的可疑数字为止的部分称为有效数字。如 0.012 5 的有效数字为 3 位,最后一位 5 为可疑数字,有误差。由误差的意义可知,误差本身的有效数字最多取两位就够了。物理实验室一般规定,误差只取一位有效数字,而实验结果的末位数字应与误差的末位数字对齐。如 0.012 5 这个测量结果的误差为 0.001,则测量结果表达为  $0.013 \pm 0.001$ ,而不可写成  $0.012 5 \pm 0.001$  或  $0.012 5 \pm 0.001 0$ 。直接测量的有效数字以仪器能读出的有效数字(仪器上准确读出的数字和估计数字)为标准,直接测量末位的估计值一般取仪器最小刻度的  $1/5$  或  $1/2$ 。

2. 有效数字的表示。数字结果可用  $X \times 10^n$  的形式来表示,其中  $X$  以最简洁的形式将测量结果的有效数字表示出来, $10^n$  与单位合起来表示结果的大小。如电

子电荷为  $1.601 \times 10^{-19} \text{ C}$ , 真空中的光速为  $2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$  等。

3. 有效数字的意义。有效数字直观地给出了相对误差的大小, 因此, 可直接用有效数字的多少来评价测量结果的好坏。如  $1.2 \pm 0.1$  和  $240 \pm 2$ , 前者有 2 位有效数字, 相对误差为  $1/12$ ; 后者有 3 位有效数字, 相对误差为  $1/120$ 。

## 二、有效数字的运算规则

有效数字的最后一位必须与误差对齐, 因此, 计算结果的有效数字由最后计算出的误差决定。当不要求计算误差时, 我们采用下列计算规则来确定间接测量的有效数字。

1. 加减法。用各相加减量中最大的误差位作为标准, 多保留一位进行计算, 结果与最大误差位对齐。

例如  $3.5 \text{ cm} + 1.73 \text{ cm} + 0.0253 \text{ cm} = 5.2553 \text{ cm}$   
最后结果为  $5.3 \text{ cm}$ 。

2. 乘法。取各乘除量中有效数字最少的量作为标准, 多保留一位有效数字进行计算, 结果的有效数字与有效数字最少的量位数相同。

例如  $r = 1.5 \text{ cm}$ ,  $2\pi r = 2 \times 3.14 \times 1.5 = 9.42 \text{ cm}$   
最后结果为  $9.4 \text{ cm}$ , 可见取  $\pi = 3.14$  就够了。

## 第三节 数据处理及实验结果

### 一、数据表格

测量数据应填写在数据表格内, 表格设计要合理、直观、便于计算。一般应包括下列内容。

序号	A(单位)	B(单位)	...
1			
2			
⋮			
平均值 $\bar{N}$			
误差 $\delta N$			

根据不同要求, 还可设计出各种表格, 其他已知数据也应列出表格。

## 二、数据处理

数据处理过程应包括计算公式、误差公式、简洁的计算过程和结果表达式。

例如测量球体密度  $\rho$ , 直接测量量为: 直径  $d = (1.20 \pm 0.01) \times 10^{-1} \text{ m}$ , 质量  $m = (3.2 \pm 0.2) \text{ kg}$ 。

计算公式:

$$\bar{\rho} = \frac{\bar{m}}{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3} = \frac{6\bar{m}}{\pi d^3}$$

误差公式:

$$\delta\rho = \rho \sqrt{\left(\frac{\delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{3\delta d}{d}\right)^2}$$

$$\bar{\rho} = \frac{6 \times 3.2 \text{ kg}}{3.14 \times (1.20 \times 10^{-1} \text{ m})^3} = 3.54 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$\delta\rho = 3.54 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot \sqrt{\left(\frac{0.2}{3.2}\right)^2 + \left(3 \times \frac{0.01}{1.20}\right)^2} = 0.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

结果为:  $\rho = (3.5 \pm 0.6) \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。

## 三、作图

根据测量数据作图能更直观地表现测量结果, 便于揭示其规律。作图应在坐标纸上进行。选取适当的坐标区间进行刻度, 使其满足测量值有效位数的要求, 将数据点准确地画在坐标系中。根据数据点作光滑曲线, 不要求通过每个数据点, 但要使数据点对称地分布在曲线两侧(作仪表校准曲线除外)。选择合适的标度, 使曲线成  $45^\circ$  角倾斜。求斜率时, 应在直线上取两点, 注明数据, 距离远些。

图 1 为同一组数值的作图示例。

根据不同的需要, 还可用单对数坐标、双对数坐标等。

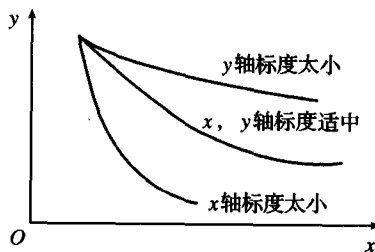


图 1

#### 四、思考题

1. 对一个量重复多次测量有什么优点?
2. 2.5 和 2.50 有什么差别?
3. 当测量精度受到限制时,怎样使测量结果更好? 试举一例说明。
4. 系统误差有何特点? 怎样处理?

## 第二章 力学、热学实验

### 实验一 长度测量

长度测量是最基础的测量，对别的物理量的测量都可根据物理学的有关原理转换成为对长度的测量。如时钟指针走过的弧长对应的是时间，秤杆的长度对应质量等。

#### 一、实验目的

1. 掌握游标类测量器具的原理及使用方法。
2. 掌握螺旋类测量器具的原理及使用方法。
3. 掌握误差的计算方法及有效数字的应用。

#### 二、实验仪器

游标卡尺、螺旋测微器。

#### 三、实验原理

1. 游标卡尺。游标卡尺由主尺和游标尺构成，如图 1-1 所示。

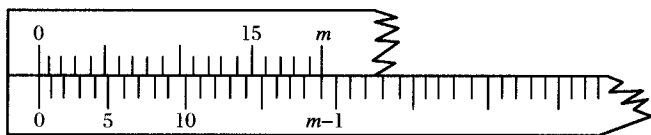


图 1-1

游标尺上共有  $m$  个等分刻度，与主尺  $m-1$  个最小分度的总长相等。设  $y$  为主尺的最小分度值， $x$  为游标尺的最小分度，则

$$mx = (m-1)y$$

即

$$x = y - y/m$$

因此,游标尺每分度与主尺每分度之差  $\Delta x = y - x = y/m$ 。所以,当游标尺上的刻线 0 与主尺上某刻线  $k$  重合时,游标尺上的其他第 1, 2, 3,  $\dots$ ,  $m-1$  条刻线,都不与主尺上的任何刻线重合,它们与右边相邻的主尺刻线的距离则依次为  $\Delta x, 2\Delta x, 3\Delta x, \dots, (m-1)\Delta x$ 。如果这时把游标尺向右移动一小距离,使它上面的第  $n$  个刻线与原来在它右边的主尺刻线相重合,那么游标尺向右移动的距离一定是  $n\Delta x$ ,此时游标尺的读数为  $ky + n\Delta x$ 。

利用上述原理构成的游标卡尺如图 1-2 所示。

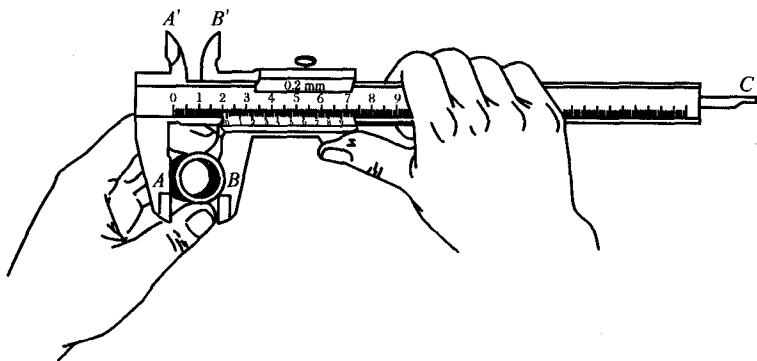


图 1-2

$A, A'$  固定在主尺上,  $B, B', C$  固定在游标上,当游标尺的刻线 0 与主尺的刻线 0 重合时,  $A$  与  $B$  重合,  $A'$  与  $B'$  重合,  $C$  端与主尺末端平齐。用  $A'B'$  可测量物体的内径,用  $AB$  可测量物体的长度和外径,用  $C$  可测量物体的深度。

2. 螺旋测微器。螺旋测微器由主尺和螺旋柱构成,螺旋的螺距与主尺最小分度值相同,螺旋柱在主尺上移动一个分度,而螺旋柱的圆周很长,可将其等分成  $m$  个刻度。设主尺最小分度值是  $y$ ,则螺旋柱的最小分度值就是  $\Delta x = y/m$ 。

利用上述原理制作的螺旋测微器如图 1-3 所示。其主尺最小分度为 0.5 mm,螺旋柱分度为 50 等分,因此,从主尺和螺旋柱上能准确读出 1/100 mm 的数值。对螺旋柱的最小刻度再估计一位,即可读出 1/1 000 mm 的数值,所以,工业上常称之为千分尺。

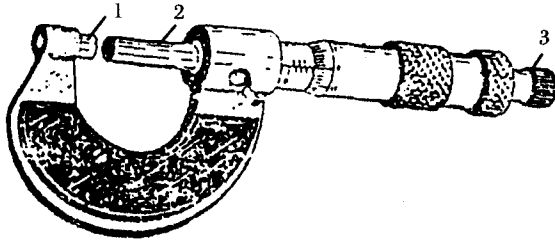


图 1-3

使用时用 1 和 2 将测物夹住, 旋进 2 时应用小柄 3, 以免旋力过大损坏螺旋; 存放时要使 1 与 2 间留有间隙, 防止由于热胀而损坏螺旋。

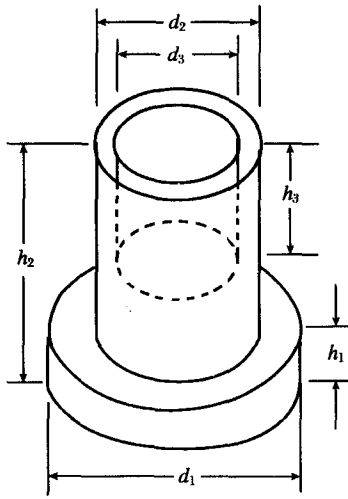


图 1-4

#### 四、实验步骤

1. 用游标卡尺测图 1-4 所示工件的各尺寸。
2. 用螺旋测微器测金属丝和钢球的直径。
3. 每个测量量测量 3 次。

#### 五、数据处理

1. 将所测量的数值填入下表。

cm

工件尺寸	1	2	3	平均值	误差
$d_1$					
$d_2$					
$d_3$					
$h_1$					
$h_2$					
$h_3$					

mm

金属丝直径	1	2	3	平均值	误差
$d_1$					

mm

小球直径	1	2	3	平均值	误差
$d_b$					

2. 写出工件体积、金属丝截面积、小球体积的表达式,并计算。
3. 写出工件体积、金属丝截面积、小球体积的误差表达式,并计算。
4. 最后结果:

$$V = \bar{V} \pm \delta V = \quad , \quad S = \bar{S} \pm \delta S = \quad , \quad V_b = \bar{V}_b \pm \delta V_b =$$

### 六、思考题

1. 游标卡尺和螺旋测微器的仪器误差分别是多少?
2. 若工件中  $d_1$  的测量误差  $\delta d_1 = 0.0005 \text{ cm}$ , 则在计算  $\delta V$  时  $\delta d_1$  应如何处理?
3. 本实验中哪个物理量的有效数字最多? 哪个最少?
4. 实验要求每个量测量 3 次, 可否多测几次从中选择 3 次较好的数据以减小测量误差? 试说明理由。



## 实验二 用单摆测重力加速度

重力加速度是一个很重要的物理常量,它反映了地球表面物体所受的地球引力,并且能反映出地表附近的地矿信息。

### 一、实验目的

学习 2 种测量重力加速度的方法。

### 二、实验仪器

单摆装置(图 2-1)、米尺、游标卡尺、秒表。

### 三、实验原理

在摆幅不大时单摆的周期

$$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

此式又可写成

$$g=4\pi^2\frac{l}{T^2} \quad (2.1)$$

式中: $g$  为重力加速度; $l$  为摆长; $T$  为周期。故若利用摆角很小的单摆,测量出它的周期  $T$  与摆长  $l$ ,便可间接地测出重力加速度  $g$ 。其中摆长  $l$  为悬点到金属球中心的距离,悬点到金属球顶部的距离为  $L$ ,金属球的直径为  $d$ ,故

$$l=L+\frac{d}{2} \quad (2.2)$$

### 四、实验步骤

#### (一)测量方法 1

1. 用游标卡尺测量金属球的直径  $d$ 。
2. 调整悬线的长度使摆长  $l$  为 80 cm 左右。
3. 用米尺测量线的长度  $L$ 。
4. 拉起摆球(注意摆球离开平衡位置不得超过 4 cm),放手后任其摆动。先让

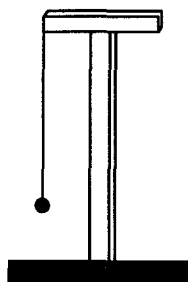


图 2-1