绪论　物理学是以实验为基础的科学

一位同学在地面上铺垫好厚约 20 cm 的海绵,然后拿起一个鸡蛋竖直向空中抛去，鸡蛋上升到最高点转向下落，越落越快，转瞬间已接近海绵.“哟”围观同学的惊呼转为欢笑,原来,鸡蛋并没有撞破，它陷入海绵后重又弹起……

这样有趣的实验还有不少.不过并非所有的实验都是一下子就能引人入胜的.许多实验中,同学们将反复地观察现象,记数据,作计算.在外行人眼里这似乎枯燥无味，但对于了解实验意义的人来说，其中却有一种巨大的乐趣：这是在探索自然界的奥秘！

实验是研究自然的一种科学方法.人们按预定目的，利用科学仪器,人为地模拟自然现象,就成了实验.实验方法对物理学的建立起了重大作用，电的发现、磁的发现……都与实验有关，对原子的实验研究使人类得以利用原子能，对物质导电性的实验研究使半导体乃至计算机工业得以发展，相对论、量子论也都起源于实验.有人指出，纵观物理学的发展史，物理学中带根本性的发现，不是在书桌上而是在实验室里开始的.所以说,物理学是以实验为基础的科学.

在工程技术中，实验又是一种常用的方法手段，常需通过实验来解决工程中遇到的问题.

对同学们来说，做物理实验不仅是为生动地感知物理现象、深入理解物理概念，更是培养基本的实验能力（如何正确使用仪器、正确读取与分析数据、写实验报告等),培养基本的实验素质(如爱护仪器的良好习惯),以及严谨细致、实事求是的科学精神,团结协

需要全本请访问 www.ertongbook.com

作的良好作风等

物理实验是同学们进校后首先遇到的实验之一，应十分重视.在学习中要求做到以下几点：

（1）每次实验前认真预习实验指导书，明确实验的目的要求，实验所依据的原理、使用的仪器和基本操作步骤等，以对实验全貌有所了解.

（2）在实验过程中，要遵照教师的指导，正确使用仪器，按合理步骤进行操作，并认真观察现象，正确记录观察所得.若有创新设想,应及时报告教师,以取得帮助.

（3）分析观察到的现象，做出实验结论，写出实验报告.

（4）遵守实验室规则.

（5）实验完毕要收拾整理好仪器，关断电源、水源等.经教师许可后，方可离开实验室.

精确做好实验不容易，但入门也并不难.只要自己严格要求，认真学习，能力就会逐步提高，兴趣也会日益增长.

实验一　用游标卡尺测量长度
（附 有效数字和误差）

物理实验可分两大类，一类是定性的观察，对事物的物理变化过程获取感性认识.另一类是定量测量，借助测量工具取得测量数据，并整理分析数据作出结论.随着物理学的日益成熟，定量测量更显得重要.

长度的测量是物理实验中的一项基本测量，在生产与生活中也都经常用到.测量不同的长度应使用不同的测量工具.本实验中我们学习使用游标卡尺来测量几毫米至几百毫米的长度.

一、游标卡尺的构造

游标卡尺是测量长度的精密工具之一，它由主尺和游标尺两部分构成.

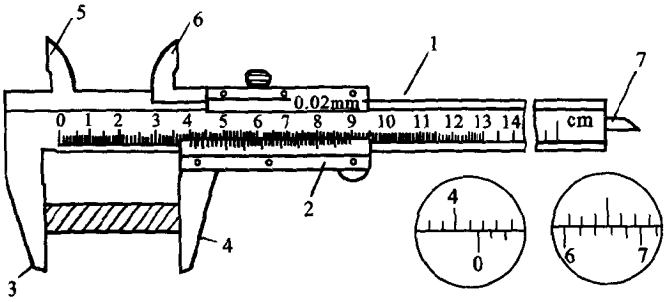
主尺是一把毫米刻度尺，其上附有内、外卡脚.毫米刻度尺的长度通常在 170 mm 左右.刻度尺的长度也就是游标卡尺的量程（最大测量范围）

游标尺简称游标，附在主尺上，可沿主尺滑动.因游标上刻度不同，各种游标尺有不同的测量精度（能测量的最小长度）.

图 1－1 所示是精度 0.02 mm 的游标卡尺，它的游标上共有 50 个刻度，总长 49 mm.每个刻度比主尺上的毫米刻度短 0.02 mm.

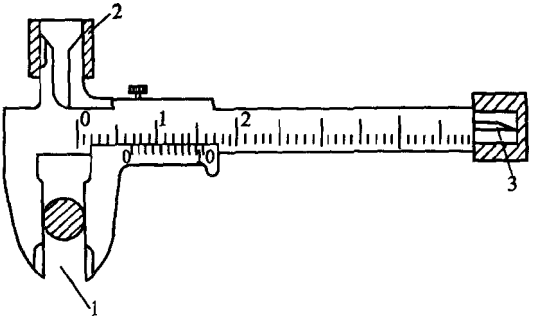
图 1－2 所示是精度 0.1 mm 的游标卡尺，它的游标上共有 10 个刻度，总长 9 mm，每个刻度比主尺刻度短 0.1 mm.（图上还画出了用外卡脚测量圆柱直径、用内卡脚测量圆筒内径和用探针测量孔深的方法.）

还有一种精度 0.05 mm 的游标卡尺，它的游标上共有 20 个



1—主尺　2—游标　3、4—外卡脚　5、6—内卡脚　7—探条

图 1－1　游标卡尺(精度 0.02 mm)



1—测量外径　2—测量内径　3—测量孔深

图 1－2　用游标卡尺（精度 0.1 mm)测量圆柱外径、圆筒内径和孔深

刻度，总长 19 mm，每个刻度比主尺刻度短 0.05 mm.

二、游标卡尺的读数方法

游标卡尺的读数方法是：先读主尺，再对游标.

—— 先读主尺：读出主尺上的“0”刻线与游标的“0”刻线间的毫米数.以毫米为单位时，它就是测量值的整数部分.

——再对游标：看游标上哪一根刻度线能与主尺上的某根刻度线对齐，就在游标上读出该刻度线的相应值．以毫米为单位时，它是测量值的小数部分．

测量值＝主尺读数＋游标读数

例如，图 1－1 中，两个圆框内分别示出游标左、中两部分位置．由左边圆框可见，主尺读数 41 mm 由右边圆框可见，游标读数 0.64 mm（“6”字右边第 2 根刻线与主尺上的刻线对齐）．故测量值为 41.64 mm．

又如图 1－2 中，主尺读数 6 mm，游标读数 0.80 mm（游标上第 8 刻度线与主尺刻线对齐），故测量值为 6.80 mm．

以毫米为单位时，游标卡尺的测量值应取小数点后 2 位．其中最后 1 位，是据估计哪根刻线对齐而读出的．

为什么这样读数呢？以精度 0.02 mm 的游标卡尺为例作说明．上文中已说过，在构造游标时，已经使游标上每 1 刻度比主尺上的毫米刻度短 0.02 mm．

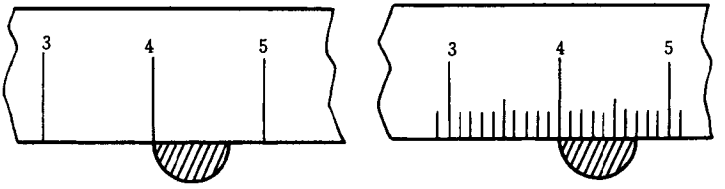
设游标的 0 刻度线恰与主尺上第 N 刻度线对齐，表示待测物恰长 N mm．若再向两卡脚间塞入一张 0.02 mm 厚的纸，则游标就向右移 0.02 mm，其第 1 刻度线将与主尺上的刻度线对齐；若纸厚 0.04 mm，则游标上第 2 刻度线将与主尺刻度线对齐．反之，若游标上的第 3 刻度线能与主尺刻度线对齐，表示纸厚 3×0.02 mm $=0.06$ mm．依此类推，若游标上第 k 刻度线能与主尺刻度线对齐，就表明待测物长度为 $L=(N+0.02k)$ mm 这就是“先读主尺、再对游标”的理由．

三、有效数字

图 1－2 中，游标尺的正确读数是 6.80 mm．能不能记录为 6.8 mm 呢？不行．若记录为 6.8 mm，别人将误以为是用毫米刻度尺作测量的．

图 1－3 中示出用不同工具测量同一圆柱体直径：

需要全本请访问 www.ertongbook.com



(a) 布卷尺　　(b) 毫米刻度尺

图 1－3　用不同工具测量长度

用布卷尺测量得　　0.7 cm

用毫米刻度尺测量得　　6.8 mm

用游标卡尺测量得　　6.80 mm(见图 1－2)

由于测量工具的精度有限，测量所得数据的最后一位数字是估读出的，称可疑数字，前几位数字称可靠数字.例如用布卷尺测量时‘7’是可疑数字;用刻度尺测量时‘8’是可疑数字;用游标卡尺作测量时,“0”是可疑数字.若把 6.80 mm 误记作 6.8 mm,无意中把‘8’变成了可疑数字.

测量值的可靠数字和可疑数字统称有效数字.有效数字位数越多表示可靠数字越多，测量结果越精确.

在换用单位时，应注意保持有效数字的位数不变，例如：

$$4.28\ \text{m}=428\ \text{cm}=4.28\times10^{3}\ \text{mm}\neq4\ 280\ \text{mm}$$

$$3.10\times10^{-3}\ \text{t}=3.10\ \text{kg}=3.10\times10^{3}\ \text{g}\neq3\ 100\ \text{g}$$

有时需用间接方法测量某些物理量.例如测量某物体的速度，应先测出位移和运动时间，假设分别测得 $s=2.40$ cm,$t=0.18$ s,那么计算出来的速度值应取几位有效数字呢？因为 t 的值仅有 2 位有效数字，那么计算得出的速度值也只能取 2 位有效数字,即

$$v=s/t=2.40/0.18\ \text{cm/s}=13\ \text{cm/s}$$

间接测量中，因需计算，测量结果有效数字位数的确定比较复杂,这里不详述.在以后的计算里，计算结果一般取 3～4 位有效数字就可以了.现在同学们常用电子计算器，更要注意计算结果只应

保留合理位数的有效数字.

四、误差

用游标卡尺测量某钢管内径时，第一次测得 7.02 mm，将钢管稍转过一个角度重测一次，测得 6.98 mm，再测一次，得 6.96 mm.

这样的事例在工程技术测量中很常见.这种情况下,应取多次测量的平均值作为测量结果,即"标称值".平均值可以这样计算：

$$\bar{x}=\frac{7.02+6.98+6.96}{3}\ \text{mm}=6.99\ \text{mm}$$

一般地说，若总共测量了 i 次，每次测得的值分别记为 x_1，$x_2,x_3,\cdots,x_i$,那么平均值 $\bar{x}$ 为

$$\bar{x}=\frac{x_1+x_2+x_3+\cdots+x_i}{i}$$

既然有效数字中最后 1 位是可疑数字，故平均值的最后 1 位数字也是可疑数字，它的不准确范围多大呢？可以用误差来表示.

某次测得值 x_i 与平均值 $\bar{x}$ 的差的绝对值 $|x_i-\bar{x}|$,称为该次测量的绝对误差 各次绝对误差的平均值称作"平均绝对误差",用 Δx 表示.上例中 3 次测量钢管内径的平均值及每次测量的绝对误差见表 1－1.

表 1－1

序　次	1	2	3	平均值/mm
测量值/mm	7.02	6.98	6.96	6.99
绝对误差/mm	0.03	0.01	0.03	0.02

平均绝对误差 $\Delta x=(0.03+0.01+0.03)/3\ \text{mm}=0.02\ \text{mm}$，$\Delta x$ 通常只取 1 位有效数字.

写成公式的形式是

$$\Delta x=(|x_1-\bar{x}|+|x_2-\bar{x}|+\cdots+|x_i-\bar{x}|)/i$$

算出平均绝对误差后，常把测量结果写成以下形式：

$$x = \bar{x} \pm \Delta x$$

例如钢管内径的测量值应记录为

$$x = 6.99 \pm 0.02 \text{ mm}$$

这表示钢管内径为 6.99 mm 左右，极可能在 6.97～7.01 mm 范围内.

还可以用“平均相对误差”来表示测量的精密程度，它指的是平均绝对误差对平均值的百分比

$$\delta x = (\Delta x / \bar{x}) \times 100\%$$

测量钢管内径的平均相对误差为

$$\delta x = (0.02/6.99) \times 100\% = 0.3\%$$

平均相对误差小，表示测量的精密度高 .

为什么测量中会产生误差呢？大致可有三类原因 .

(1)系统误差 . 这是指因测量工具不完善、测量方法不完善，或测量者个人生理心理特点差异而产生的误差 . 例如说,若游标卡尺的卡脚有磨损就会引起测量误差 . 系统误差的特点是使测量值总是偏大或总是偏小 . 改进测量工具，改进测量方法，提高操作技能，是减少系统误差的办法 .

(2) 随机误差 . 努力排除了系统误差后，仍然会有原因不明的误差，使测得的值有时偏大有时偏小，这称为随机误差，也称偶然误差 . 增加测量次数，并用恰当的方法处理数据（例如取平均值）可以减小随机误差 .

测量者因操作错误或观察错误会引起过失误差，也称错误 . 例如读数时误将游标的边缘当作 0 刻度线 . 过失误差是可以避免的，只要我们在实验操作中认真、细心，就可避免过失误差 .

[操作]

使用游标卡尺测量物体长度之前，先应作好准备工作“用前三看”:

看所用游标卡尺的量程多大，能否纳下待测物体？

看游标卡尺的精度多大，是否符合预期需要？

看游标卡尺是否完好，有无“零误差”应将两卡脚合拢，这时游标上的 0 刻度线应与主尺的 0 刻度线对齐，这一步骤俗称“对零”.若不能对齐，表示卡脚已有磨损，有“零误差”，需作修理.

测量时左手持待测物体，右手持尺，将待测物夹于两卡脚的刀口间(不要错放在凹处)，轻轻夹处，旋紧游标的紧固螺丝，取下待测物体，再读数，如图 1－4 所示.

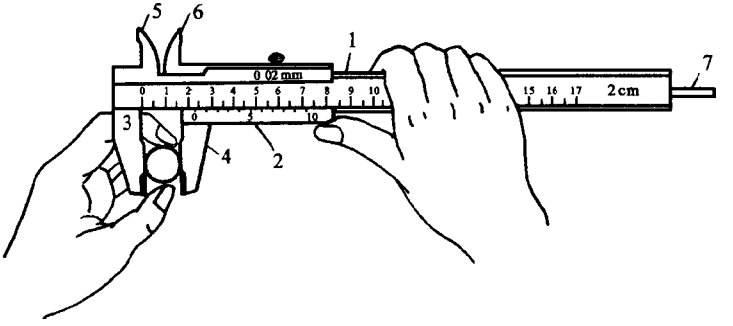


图 1－4　使用游标卡尺（精度 0.02 mm

本实验要求，先用一种精度的游标卡尺测量长方体长度 3 次，再换用另一种精度的游标卡尺测量钢管的内径 3 次，把测得数据记录在实验报告中，将测量结果写成 $L=\bar{L}\pm\Delta L$ 的形式，并计算出相对误差.

实验报告一

实验名称：用游标卡尺测量长度.

目的要求：1. 使用游标卡尺；2. 理解有效数字和误差.

仪器用具：游标卡尺(两种)、铁块、钢管等.

数据记录：

表 1-2　用游标卡尺测量长方体边长

游标卡尺的量程　　,精度

序次 / 项目	1	2	3	平均值
边长 L /mm				
绝对误差/mm				

结论　　$L=\overline{L}\pm\Delta L=$

$$\delta L=\frac{\Delta L}{\overline{L}}\times 100\%=$$

表 1-3　用游标卡尺测量钢管内径

游标卡尺的量程 _____ ,精度 _____

序次 / 项目	1	2	3	平均值
内径/mm				
绝对误差/mm				

结论 2：　　$d=\overline{d}\pm\Delta d=$

$$\delta d=\Delta d\ /\overline{d}\times 100\%=$$

思　考　题

甲同学测量一根铜线长，测得平均值为 327 mm ,平均绝对误差为 3 mm；乙同学测量一根竹竿长，测得平均值为 4 274 mm ,平均绝对误差为 9 mm 他们俩的测量结果谁的更精确？

需要全本请访问 www.ertongbook.com

实验二　形状规则固体密度的测定

本实验中我们测量一个塑料圆柱体的密度．据定义，物体的密度 ρ 可如下计算：

$$\rho = m / V$$

式中，m 为物体质量，可用天平秤出；V 为物体体积，可用游标卡尺测出其直径与高后计算出．现在先介绍物理天平．

一、物理天平的构造

物理天平是测量物体质量的一种精密仪器，它是利用杠杆平衡原理制成的，与初中所学的托盘天平相同，但精度级别比托盘天平稍高．

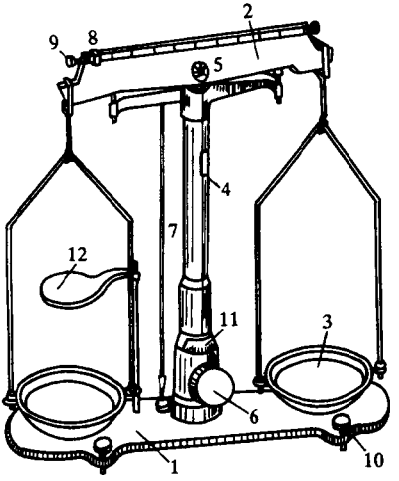
物理天平的外形如图 2－1 所示，它由支架、横梁、托盘、砝码(未画出)等构成

1．支架．支架通常为竖立的圆柱形，安放在底座上．底座上有调节螺丝．当调动底座螺丝，使重垂线下端恰好落到尖顶上时，即表明底座已水平，支架已在竖直位置．

支架上端装有玛瑙制的刀口，以安放横梁．由于刀口极细窄，横梁两臂受力略有差别就不能保持平衡，所以它的称量精度较托盘天平高．此外，支架上还有横梁抬降旋钮、标度盘等．

2．横梁．横梁就是杠杆的两臂，它以刀口作支点．横梁上附有指针可指示横梁的偏转角度，横梁上还有游码以及平衡螺丝，当托盘中无重物：游码放在 0 位置时，横梁应在水平位置，指针对着标度盘的 0 刻度(或在 0 刻度两边等距离摆动)，称为横梁平衡．若指针不是对着 0 刻度，则应调节平衡螺丝，使得托盘空载时横梁平衡．

3．托盘．物理天平的托盘借助金属刀口悬挂在横梁上，这也



1—底座　2—横梁　3—托盘　4—指针　5—刀口
6—横梁抬降旋钮　7—重垂线　8—游码
9—平衡螺丝　10—底座螺丝　11—支架　12—水杯架

图 2－1　物理天平

是提高称量精度的原因之一.两个托盘及托盘架上都标有记号，例如标有‘1’的托盘及托盘架、托盘架钩,应悬挂在横梁刻有‘1’的一端,不得错放,否则横梁难于平衡.

不可将高温物体、有腐蚀性的物体或液体直接放入托盘中.

4. 砝码.每架天平均附有一组砝码，最大的砝码质量几百克，最小的 1 克（有的砝码组中也附有几百毫克的砝码）.更小质量的砝码，可用横梁上的游码代替，游码自横梁左端的 0 刻度移至右端时，相当于右托盘中增加了 1 克砝码因为游码是右移起作用，故称量物体时，应将砝码放在右托盘中，待测物体放在左托盘中.砝码不能沾水，也不宜用手拿，要用镊子夹取，以免锈蚀.

二、物理天平的使用

先做好准备工作：两看两调平.

看天平的称量（最大测量值）是多少，能否称载待测物体？物理天平的称量常有 500 g,200 g 等几种.

看天平的最小分度值（亦称感量，是使天平指针偏转 1 格所需的砝码质量）是否满足预期要求？常有 20 mg,50 mg等几种.

调底座水平.

调横梁平衡为判定横梁是否平衡，先将游码拨至 0位置,旋动旋钮用刀口将横梁顶起.若指针指 0刻度,或是在0刻度左右作等距离摆动，即可认为横梁平衡.否则应调节横梁上的平衡螺丝，至横梁平衡（消除零误差）.要注意保护刀口，只在需要判定横梁平衡时才可顶起横梁.抬降横梁时动作要慢，不可猛撞.天平不使用时,也应降下横梁.

准备工作完毕，即可开始称衡.将待测物体放入左边托盘内，尽量靠近盘心.再向右盘内放入砝码，先放质量较大的，再适当添加小质量砝码.抬升横梁,若横梁不平衡,可适当增减砝码,或移动游码，直至判定横梁平衡为止.注意，在托盘中放、取物体或砝码、调节平衡螺丝等，均应在降下横梁后进行.

判定横梁平衡后，降下横梁，即可读数：

待测物体质量 = 右盘中砝码的总质量 + 游码读数

称衡完毕，取下物体，用镊子将砝码放回盒中.

[操作]

用天平测量圆柱体质量 3 次.每次称量前都应重新调底座水平及横梁平衡.

用游标卡尺测圆柱体的直径和高各 3 次，并每次都计算出圆柱体体积 V.每次测量前都应重新对零.

将测量值记录在实验报告中.每次计算出圆柱体的密度 ρ,再计算出平均密度 $\bar{\rho}$,将测量结果写成 $\rho = \bar{\rho} \pm \Delta\rho$ 的形式,并计算出相对误差 $\delta\rho.\bar{\rho}$ 只需取 3 位有效数字.

实验报告二

实验名称

目的要求：

设计原理：

仪器用具：

数据记录：

表 2－1　测量塑料圆柱体的密度

物理天平的称量_____,分度值 _____

游标卡尺的量程_____,精度 _____

项目 / 序次	质量 m /g	高度 h /cm	直径 d /cm	体积 V /cm^3	密度 ρ /(g/cm^3)	$\lvert\rho-\bar{\rho}\rvert$ /(g/cm^3)
1						
2						
3						
平均值						

结论：　$\rho=\bar{\rho}\pm\Delta\rho=$　　g /cm^3

$\delta\rho=$

思　考　题

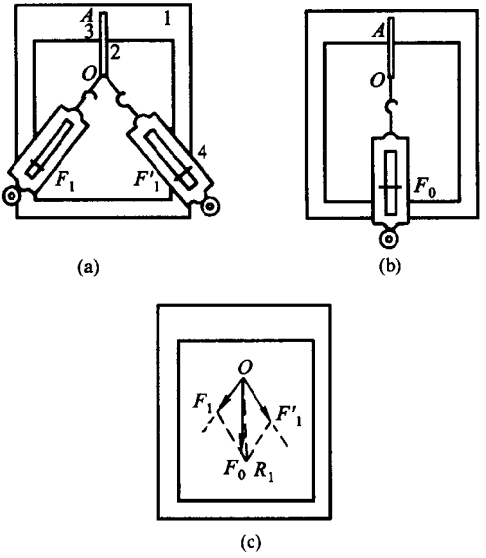
某同学用天平称量物体质量时记录数据如下，指出他的不正确之处.

序　次	1	2	3	平均值
测量值 m/g	21.42	21.4	21.42	21.413

实验三　互成角度的两个共点力的合成

（1　学时）

互成角度的两个共点力的合力，可以由平行四边形定则求出，本实验对此作验证实验的设计原理是：实测出两个共点力的合力，作出相应的力矢量图，看是否符合平行四边形定则．



1—木板　2—白纸　3—橡皮筋　4—弹簧秤

图 3－1　验证力的平行四边形定则

实验装置如图 3－1 所示，桌上平放一块木板，用图钉把橡皮筋的一端固定在板上的 A 点．

[操作]

用两个弹簧秤通过细线互成角度地拉橡皮筋，使它伸长到 O 点. 弹簧秤的示数表示拉力的大小，由细线可看出拉力的方向. 把两个拉力分别称作 F_1 和 F'_1，在白纸上记录下它们的大小和方向(图 3－1(a)).

只用一个弹簧秤，也可以把橡皮筋拉伸到 O 点，(图 3－1(b)) 把这个拉力也记录下来，称作 F_0，既然 F_0 的作用效果与 F_1 和 F'_1 共同作用的效果相同，则 F_0 就是 F_1 和 F'_1 的合力.

合力和分力间有怎样的关系呢？

用细铅笔把 F_1 和 F'_1 的力矢量图按比例尽可能准确地画在白纸上，以这两个力矢量图为邻边画出平行四边形，从 O 点出发连接四边形的对角线 OR_1，再把 F_0 的力矢量图也按同样比例画出来，你将看到，在允许的误差范围内，F_0 和 OR_1 相符合(图 3－1(c)).

为了相信这种符合具有普遍性，可以再做一次. 将两个弹簧秤的施力方向改变一下，再次将橡皮筋拉伸到 O 点，重又画出这时两个拉力的矢量图 F_2 和 F'_2，看以它们为邻边的平行四边形的对角线 OR_2 是否也与 F_0 的力矢量图十分接近. 若 OR_2 的长度与 F_0 的相对误差不超过 5%，即可认为平行四边形定则正确.

本实验中，误差的主要来源是测量工具不够精密，以及细线绑在橡皮筋上会使橡皮筋下端不成直线，故均属系统误差. 为减少误差，拉橡皮筋的力 F_1、F'_1 要有适当大小，使弹簧的伸长量达到最大伸长量的 $2/3$ 以上；两力方向的夹角大约在 $90°$ 左右. 细线要稍长，以便在细线上相隔 $3\sim5$ cm 处记下两个点，借助两点连线画出力矢量的方向.

还要注意，通过弹簧秤拉细线时，应使弹簧秤的轴线与细线方向一致，不可偏左偏右或偏上偏下，否则会使弹簧与外壳相摩擦，产生过失误差.

需要全本请访问 www.ertongbook.com