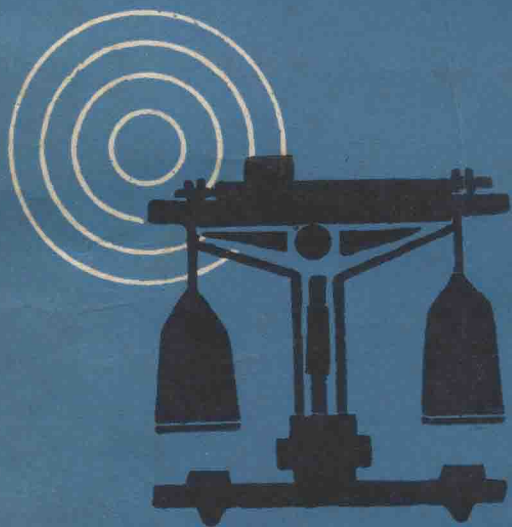


高中物理实验与思考

王溢然 编



科学技术文献出版社重庆分社

高中物理实验与思考



王溢然 编

科学技术文献出版社重庆分社

封面设计：郑象贤

责任编辑：张蓉

高中物理实验与思考

王溢然 编

科学技术文献出版社重庆分社

出版
发行

重庆市市中区胜利路132号

全国各地新华书店

经销

重庆盘龙印刷厂

印刷

开本：787×1092毫米 1/32 印张：5.4 字数：120千字

1988年5月第1版 1988年5月第1次印刷

印数：1—10,000册

ISBN7-5023-0203-1/G·109 定价：1.30元

前 言

本书是为适应高中物理实验教学而编写的一本课外读物。全书除概括了现行高中物理课本的全部学生实验外，为适应部分学有余力的学生的需要，还补充介绍了少量典型实验（以*表示）。书中的每个实验内容分三部分：即先对该实验作提示性概述；然后就该实验的仪器结构和选择、安装与调试、实验原理、测量方法与步骤以及误差分析等方面提出学生在实验中常会出现的若干问题；最后就这些问题在中学的数理知识范围作了较为详细的分析解答，希望通过对这些问题的研讨，能有助于进一步理解实验原理，巩固和深化对物理概念和规律的认识，有益于提高学生发现问题、分析问题的兴趣和能力。本书可供高中各年级学生在实验中使用，也可供高中物理教师指导学生实验时参考。

选编在本书实验中的约200个问题，有一部分已在《教学通讯》和《中学生学习报》上简要刊登过，曾得到读者的许多支持和鼓励，通过近几年来教学积累，又丰富和深化了原来的许多内容，并根据现行教材要求补充了若干实验。这次全面整理时，又参阅了有关资料作了部分修订，并得到《课堂内外》杂志社编辑部同志的热心帮助，承王益良同志代为绘制全部插图，在此一并表示衷心的感谢。

限于作者水平和整理时间较为仓促，难免会有错误和疏漏之处，恳望老师和同学们使用后予以指正。

王 溢 然

一九八七年春节

目 录

1. 游标卡尺的使用..... (1)
2. 螺旋测微器的使用..... (4)
3. 天平的使用..... (7)
4. 电磁打点计时器的使用..... (12)
5. 测量滑动摩擦系数..... (15)
6. 互成角度的两个共点力的合成..... (18)
7. 有固定转动轴物体的平衡条件..... (21)
8. 研究匀变速直线运动..... (24)
9. 验证牛顿第二定律..... (30)
10. 研究平抛物体的运动..... (34)
11. 验证向心力公式..... (38)
12. 验证机械能守恒定律..... (40)
13. 研究弹性碰撞..... (44)
14. 用冲击摆测弹丸的速度..... (48)
15. 用单摆测定重力加速度..... (51)
16. 用油膜法估测分子直径* (57)
17. 验证玻意耳—马略特定律..... (59)
18. 验证理想气体状态方程..... (63)
19. 测定冰的熔解热..... (67)
20. 测定空气的相对湿度..... (72)
21. 电场中等势线的描绘..... (74)

22. 利用电容器放电测电容	(77)
23. 测定金属的电阻率	(80)
24. 用安培表和伏特表测定电池的电动势和内 电阻	(85)
25. 研究电源的输出功率*	(91)
26. 把电流表改装为伏特表	(97)
27. 用惠斯通电桥测量电阻	(104)
28. 练习使用万用电表	(108)
29. 测定铜的电化当量	(113)
30. 练习使用示波器	(119)
31. 研究电磁感应现象	(126)
32. 研究变压器的作用	(130)
33. 研究整流、滤波电路	(135)
34. 用万用电表判别晶体三级管的管脚, 并估测 β 值*	(138)
35. 研究三级管放大电路*	(142)
36. 安装简单的收音机	(145)
37. 测定玻璃的折射率	(149)
38. 测定凸透镜的焦距	(153)
39. 组装显微镜模型	(158)
40. 利用双缝干涉测定光波的波长	(161)
41. 观察光的衍射现象	(165)

1. 游标卡尺的使用

【实验概述】

游标卡尺是测量长度较精密的仪器，它的主要部分是一根主尺和一根游标尺(或称副尺)构成，如图1—1所示。



图 1—1

主尺的最小分度是1毫米，副尺上有10个等分刻度，它们的总长度等于9毫米，因此副尺上每一分度比主尺的最小分度小0.1毫米。当副尺的零刻度线与主尺的零刻度线对齐时，副尺上的第一条刻线、第二条刻线……依次与主尺的1毫米刻线、2毫米刻线分别相差0.1毫米、0.2毫米，……，副尺上第十条刻线正好对齐主尺上9毫米刻度线(图1—2)。这种游标卡尺可以准确到



图 1—2

0.1毫米。其他不同准确度的游标卡尺的原理也是一样的。

测量时，由副尺上零刻度线跟主尺零刻度线的相对位置读出整的毫米数，由副尺上第几根刻线对齐主尺上某一根刻度线读出十分之几毫米数。如图1—3所测长度分别为0.6毫米和23.7毫米。



图 1—3

【问题思考】

1. 一把用旧了的游标卡尺，尺身上的准确度标记已模糊不清，不借助其他工具，如何判断出它的准确度？

2. 为了准确地测量出大气压的数值，通常在气压计的读数处附有一个游标尺。试根据图1—4的读数示意图，读出当时的大气压值为多少，当外界大气压变为761.4毫米汞柱时，试画出读数示意图。



图1—4

3. 图1—5是用一把准确度为0.05毫米的游标卡尺测量一金属管内、外直径的读数示意图，则该金属管壁厚多少？画出用这把游标卡尺读出被测物体长度为4.650毫米的示意图。



图 1—5

4. 什么叫游标卡尺的零误差？如何确定游标卡尺的零误差？

【分析解答】

1. 游标卡尺的准确度通常都直接标在尺身上，如0.02 mm，0.05 mm等。它们分别表示能准确到0.02毫米和0.05毫米。

当游标卡尺用旧，准确度标志模糊不清时，可使左右两测脚并拢在一起，然后通过比较游标和主尺上刻度线的分布情况来确定其准确度。

常用的游标卡尺，各厂都在游标上刻了10的整数倍的格数，如10格、20格、50格等。如果游标上20格的长度相当于

主尺上19毫米，那么这根游标卡尺的准确度就是 $\frac{1}{20}$ 毫米，即0.05毫米；如果游标上50格的长度相当于主尺上49毫米，这根游标卡尺的准确度便为 $\frac{1}{50}$ 毫米，即0.02毫米，等等。

由此可见，游标上分度的格数不同，其准确度也不同。但它们的原理都是一样的，用公式可以表示为
准确度 = 主尺最小分度 / 游标上分度格数。

2. 水银在玻璃管内呈凸弯月面，读数时应以顶面为准，故当时大气压为75.86厘米汞柱，即758.6毫米汞柱。



图1—6

外界气压为761.4毫米汞柱时的读数示意图如图1—6所示。

3. 金属管的外直径 $d_1 = 28.250$ 毫米，内直径 $d_2 = 22.450$ 毫米，金属管壁厚 $d = \frac{d_1 - d_2}{2} = 2.900$ 毫米。

用准确度0.05毫米量得长度4.650毫米时的读数示意图如图1—7所示。

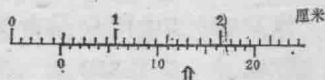


图 1—7

4. 当游标卡尺的左、右两测脚并拢时，游标的零刻线与主尺的零刻线不相重合，这种系统误差称为零误差。

若游标的零刻线位于主尺零刻线的左侧，零误差为正。其数值等于游标上跟主尺对齐的那条刻度线到游标尺最大刻度线之间的格数乘以游标卡尺的准确

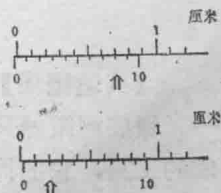


图 1—8

度。例如，游标卡尺的两测脚并拢时刻度线的分布情况如图1—8（上）所示，游标的零刻度线位于主尺零刻度线左侧，故零误差为正。又游标上跟主尺上刻线对齐的是第8根刻度线，它到最大刻度线（即第10根刻度线）之间的格数是2，而该游标卡尺的准确度是0.1毫米，于是零误差的大小为

$$D_0 = +2 \times 0.1 = +0.2 \text{毫米}.$$

所以，用这根游标卡尺测量长度时，都应在尺面读出的数值上加0.2毫米。

当游标卡尺的左右两测脚并拢后，游标的零刻度线位于主尺零刻度线的右侧，则零误差为负，其数值等于游标跟主尺对齐的那条刻线到游标零刻度线之间的格数乘以游标卡尺的准确度。例如，游标卡尺两测脚并拢后刻度线的分布情况如图1—8（下）所示，则零误差为

$$D_0 = -2 \times 0.1 = -0.2 \text{毫米}.$$

用这把游标卡尺测量长度时，都应该在尺面读出的数值上减去0.2毫米。

2. 螺旋测微器的使用

【实验概述】

螺旋测微器又叫千分尺，是比游标卡尺更精密的测量长度的工具，它的构造如图2—1所示。

常用螺旋测微器精密螺纹的螺距是0.5毫米，可动刻度分成50等分，每转一周，即可动刻度每转过50格，测微螺杆

P 前进或后退0.5毫米。可动刻度每转过1格，测微螺杆前进或后退0.01毫米，故用它测量长度时可准确到0.01毫米。

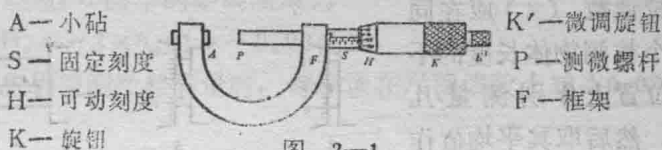
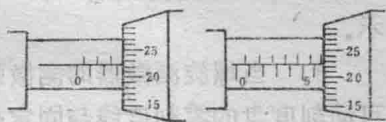


图 2—1

测量时，由可动刻度盘H的边缘离固定刻度尺S的零刻度的距离读出整的毫米数，由固定刻度尺轴向线所对准的可动刻度盘的位置读出毫米数的小数部分，同时还应该估计一位读数。如图2—2 (A)、

(B)所示的读数分别为3.224毫米和6.726毫米(这里的尾数4和6都是估计数)。



(A) (B)

图 2—2

【问题思考】

1. 用螺旋测微器测量长度时，应注意哪些问题？
2. 画出用螺旋测微器测得钢珠直径分别为0.050毫米、0.490毫米、4.514毫米、4.996毫米、5.053毫米、6.502毫米的读数示意图。
3. 什么叫螺旋测微器的零误差？如何确定螺旋测微器的零误差？

【分析解答】

1. 应该注意的事项是：(1) 测量前需先检查该螺旋测微器是否存在零误差(若有零误差需记下它的大小，以便测量后修正)；(2) 测量时当测微螺杆P快靠近被测物体时，应停止使用旋钮K，改用微调旋钮K'。不应在P和被测

物体间产生过大的压力，以免造成读数误差，磨损螺纹；
 (3) 读数时要注意表示半毫米刻线的位置，并且还应估计一位读数；(4) 应在同一个被测物体长度的不同位置上分别测量几次，然后取其平均值作为最终结果。

2. 这几个数的读数示意图如图2—3中A、B、C、D、E、F所示。

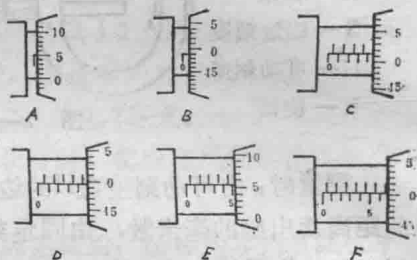


图 2—3

3. 当螺旋测微器的测微螺杆P和固定小砧A并拢时，可动刻度盘的零刻度线与固定刻度尺的轴向线不在固定刻度尺零刻度线处重合这种系统误差称为零误差。

若此时可动刻度尺零刻度线在固定刻度尺轴向线上方，零误差为正。若可动刻度尺零刻度线在固定刻度尺轴向线下方，零误差为负。由于实际螺旋测微器的零误差都是较小的，因此正、负零误差的绝对值都等于可动刻度尺跟固定刻度尺轴向线对齐的那条刻度线到可动刻度零刻度线间小于25的那个格数乘以螺旋测微器的准确度。

例如：测微螺杆与小砧并拢时的读数分布情况如图2—4中A、B所示，则A图中零误差为正，B图零误差为负。

在A图中，第48条刻度线对齐固定刻度中尺的轴向线，而它跟零刻度线间小于25的格数是2，因此零误差值为

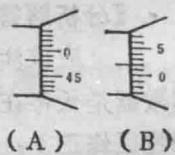


图 2—4

$$D_0 = +2 \times 0.01 = +0.02 \text{ 毫米,}$$

用这把螺旋测微器测量时，都应该在尺面读数上加0.02毫米。

同理，B图中的零误差值为

$$D_0 = -2 \times 0.01 = -0.02 \text{ 毫米}$$

用这把螺旋测微器测量时，都应该在尺面读数上减去0.02毫米。

3. 天平的使用

【实验概述】

天平是测量质量较为精确的仪器。它是根据力矩平衡的原理制成的，如图3—1，当天平两边盘中分别放上质量为 m_0 和 m 的砝码和被测物体后，静止时由它们对盘的压力形成对转轴的力矩分别为

$$M_1 = m_0 g_1 L_1,$$

$$M_2 = m g_2 L_2.$$

(式中 L_1 、 L_2 和 g_1 、 g_2 分别为两臂长度和两边盘子所在处的重力加速度)

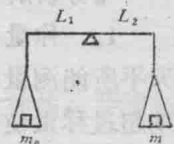


图 3—1

$$\text{平衡时} \quad m_0 g_1 L_1 = m g_2 L_2$$

若天平两臂等长，又两边盘子所在处的重力加速度相等，于是得

$$m = m_0$$

也就是说，可以用砝码的质量来量度被测物体的质量。

【问题思考】

1. 什么叫天平的称量和感量？

2. 给定一个空玻璃瓶(图3—2), 如何利用天平和水(已知密度为 ρ)来测定这个玻璃瓶刻度线以下的容积? 说明实验时的合理步骤, 并列式计算式。



图3—2

3. 如果天平的两臂长度不等, 怎样才能准确地测出物体的质量? 说明实验步骤并列出结果的表示式。

4. 在图3—3的天平原理示意图中, 横梁AB(包括指针)的质量为 m 、长 $2L$, 当它水平时, 重心 C 在中央刀口 O 的正下方, $CO = h$, 此时指针 OD 竖直向下。若在一个盘中加一质量为 Δm 的微小砝码, 最后横梁在某一倾斜位置上达到平衡, 则此时指针与竖直方向间夹角 φ 为多少(用 L 、 h 、 M 、 Δm 表示)?

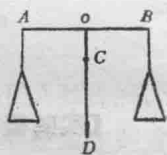


图 3—3

5. 天平上的游码起什么作用? 游码标尺的分度为什么是均匀的?

【分析解答】

1. 称量和感量是天平的两个重要指标。称量就是一架天平所能测量的最大限值, 它受天平的机械结构所限制。长期超过称量使用天平, 会使它的横梁弯曲, 刀口磨损, 影响测量的准确度。

如果在一架已调整平衡的天平的一边引起一个小的质量变化 Δm , 使天平指针偏转 α 分格, 则 $\frac{\alpha}{\Delta m}$ 的比值(常用 C 表示, $C = \frac{\alpha}{\Delta m}$)称为天平的灵敏度。它的倒数称为天平的感量。若用 R 表示天平的感量, 则

$$R = \frac{1}{C} = \frac{\Delta m}{\alpha}$$

显然，天平的感量越小，说明它的灵敏度越高，稍有不平衡就会使天平的指针偏转明显的角度。

2. 合理的实验顺序为：

(1) 调节天平底板下面的螺旋，使天平的底板成为水平（其标志是悬挂小锥体与底板上固定小锥体尖顶相对，或气泡居中）；

(2) 把游码置于零刻度线上，调节天平横梁两端的螺旋，使天平平衡（其标志是指针居中指零刻度线）；

(3) 用天平称量出空瓶的质量，设为 m_1 ；

(4) 在瓶内装水至刻度线处，用天平称量出瓶和水的总质量，设为 m_2 ；

(5) 算出瓶内水的质量 $m = m_2 - m_1$ ；

(6) 由密度公式算出这部分水的体积，它就是所求瓶子刻度线下的容积，其值为

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{m_2 - m_1}{\rho}$$

3. 当天平两臂长度不等时，可采用复称法，步骤如下：

(1) 调节底板下的螺旋使天平底板水平；

(2) 把游码置于零刻度线，调节横梁两端螺旋，使天平的指针对准零点；

(3) 把物体放在左盘上称量，设为 m_1 （即右盘中所加砝码质量）；

(4) 把物体放在右盘上称量，设为 m_2 （即左盘中所加砝码质量）；

(5) 设天平的左、右两臂分别为 L_1 、 L_2 ，被测物体的真实质量为 m 。根据平衡条件由(3)、(4)两步骤可知(图3—4)

$$mgL_1 = m_1gL_2$$

$$mgL_2 = m_2gL_1$$

于是得

$$m = \sqrt{m_1m_2}$$

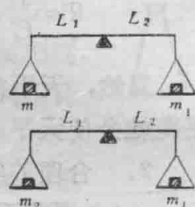


图 3—4

4. 指针倾斜后的平衡位置如图3—5中实线所示。

设天平两边挂盘(包括质量为 Δm 的微小砝码)对横梁两端的作用力分别为 F_1 和 F_2 ，则由绕固定转动轴物体的平衡条件可得：

$$F_1L\cos\varphi = F_2L\cos\varphi + mgh\sin\varphi$$

$$\text{即 } (F_1 - F_2)L\cos\varphi = mgh\sin\varphi$$

$$\therefore F_1 - F_2 = \Delta mg$$

$$\therefore \Delta mg \cdot L\cos\varphi = mgh\sin\varphi$$

$$\text{得 } \operatorname{tg}\varphi = \frac{\Delta mh}{mh} \quad \text{或} \quad \varphi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\Delta mL}{mh}$$

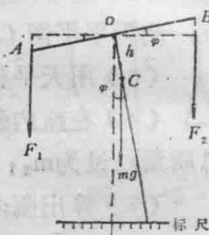


图 3—5

根据上题中灵敏度的意义可知，天平臂(L)越长，质量(m)越小，它的重心与中央刀口的距离(h)越小，则天平的灵敏度越大。

5. 游码可以起到小砝码的作用。游码在标尺上每移动1格，就相当于在天平盘中增加或减少一定质量的一个砝码。设游码质量为 m ，标尺长 l ，等分成 n 格，横梁(连同指针)的质量为 M ，每臂长 L 。

未称量时，游码置于标尺的零刻度处。调节横梁两边螺丝使天平平衡时，说明整个横梁(不包括游码)的重心不在

通过支点的竖直线上，而应在支点右边距支点有一极小水平距离 L_1 的某点的竖直线上（图3—6），则

$$mg \cdot \frac{l}{2} = MgL_1 \quad (1)$$

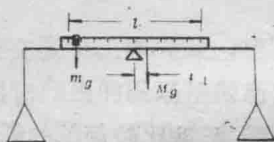


图 3—6

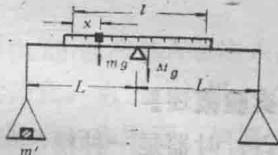


图 3—7

如游码向右移动 x 格，相当于在右盘中加一砝码 m' ，天平将失去平衡。为恢复平衡，需使左盘中的质量也增加 m' （图3—7），则

$$m_g \left(\frac{l}{2} - \frac{l}{n}x \right) + m'gL = MgL_1$$

即

$$mg \frac{l}{2} - mg \frac{l}{n}x + m'gL = MgL_1 \quad (2)$$

②式减去①式，得

$$m'gL = mg \frac{l}{n}x$$

所以

$$m' = \frac{m}{nL}x$$

因为 m 、 l 、 n 、 L 均为常量。令 $\frac{m}{nL} = K$ ，于是

$$m' = Kx$$

这就是说，使游码在标尺上移动 x 格时，相当于在右盘中增加的砝码质量 m' 与格数 x 成正比，所以标尺的分格需是均匀的。