

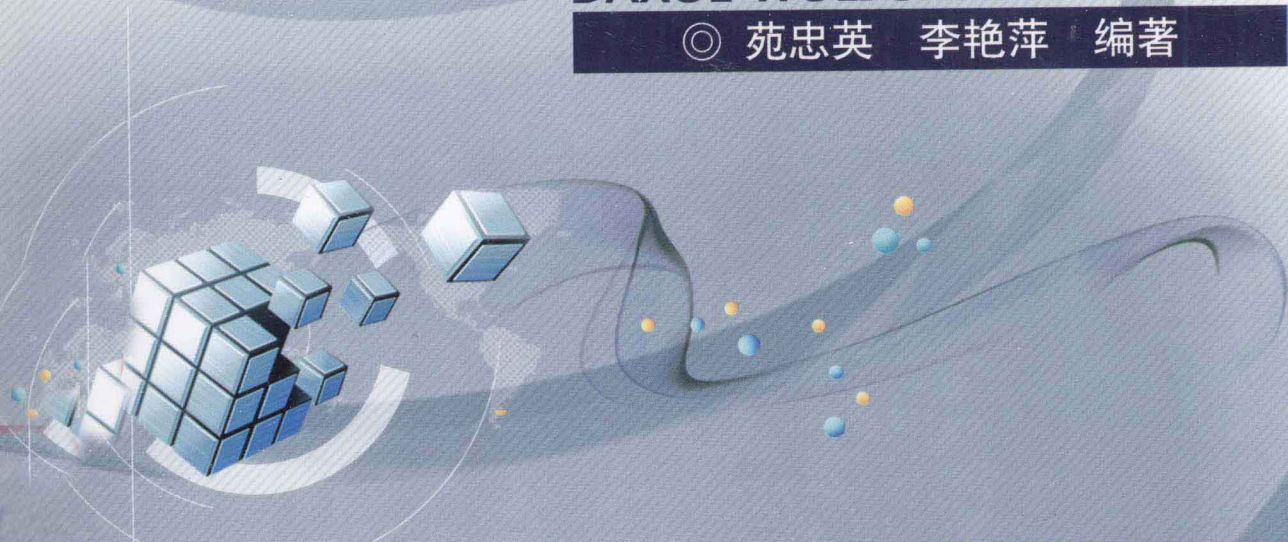


世纪普通高等教育基础课规划教材

大学物理 实验指导

DAXUE WULI SHIYAN ZHIDAO

◎ 苑忠英 李艳萍 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪普通高等教育基础课规划教材

大学物理实验指导

苑忠英 李艳萍 编著



机械工业出版社

本书是根据《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》及教育部本科教学评估要求编写的。

本书通过对实验仪器操作技巧的介绍及用同一仪器设计多种实验和用不同仪器或方法完成同一目的的实验的设计方案指导,能有效提高学生的动手能力、研究能力和创新能力。它是与已出版的《大学物理实验教程》配套的教学辅助书,可供理工科大学各专业物理实验教学参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验指导/苑忠英等编著. —北京:机械工业出版社, 2013. 8
21 世纪普通高等教育基础课规划教材
ISBN 978-7-111-42529-8

I. ①大… II. ①苑… III. ①物理学-实验-高等学校-教学参考资料
IV. ①O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 136430 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张金奎 责任编辑:张金奎 版式设计:霍永明

责任校对:张薇 封面设计:张静 责任印制:张楠

涿州市京南印刷厂印刷

2013 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·9.75 印张·236 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-42529-8

定价:18.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

随着现代高新科技的飞速发展，社会对人才的要求也越来越高，高素质创新人才是社会渴求的人才。为适应科学技术发展的需要，并满足现代社会对创新人才的需要，学校教学的重点应放在培养学生综合素质和创新能力上来。大学物理实验是高等工科院校课程体系中的一门重要的实践性基础课，是本科生进入大学以后接受系统实验原理、方法和实验技能训练的一个开端，对培养学生的动手能力、分析问题的能力以及严谨的科学态度起着不可替代的作用。为此，我们在编写《大学物理实验教程》的基础上，编写了这本配套的实验指导书。

本指导书是对教材的补充，对基础性实验着重介绍实验仪器及其操作技巧，对综合性、设计性实验主要通过用同一仪器设计多种实验和用不同仪器或方法完成同一目的的实验进行设计方向指导，贯彻“以学生为本，知识、能力、素质教育协调发展”的实验教学新理念，激发学生的学习热情，使学生的被动学习变为主动学习，在主动学习中提高他们的思维和创造能力。

全书共有 27 个实验，在书后附录中还列举了实验报告和论文的范例。

参加本书编写工作的有：苑忠英（实验 1~14），李艳萍（实验 15~27）。

在编写过程中我们参考了许多兄弟院校的实验教材，在此向他们深表谢意。

由于时间仓促，加之编者水平有限，书中错误和疏漏之处在所难免，欢迎广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

实验 1 长度测量 1

实验 2 密度的测定 4

方法 1 流体静力称衡法测量不规则固体的
密度 4

方法 2 流体静力称衡法测量液体密度 4

方法 3 比重瓶法测量液体的密度 5

方法 4 比重瓶法测量固体小颗粒的密度 5

方法 5 用定容瓶测空气的密度 6

实验 3 转动惯量的测量 7

方法 1 动力法 7

方法 2 三线摆法 9

方法 3 扭摆法 10

方法 4 复摆法 12

实验 4 弹性模量的测定 14

方法 1 拉伸法 14

方法 2 动态悬挂法 16

方法 3 迈克尔逊干涉仪法 17

方法 4 弯梁法 18

方法 5 莫尔条纹法 21

方法 6 光纤位移法 22

实验 5 金属丝的线膨胀系数 25

方法 1 千分表法 25

方法 2 光杠杆法 26

方法 3 迈克尔逊干涉仪法 27

方法 4 光纤位移法 29

方法 5 莫尔条纹法 30

实验 6 带电粒子荷质比测量方法

研究 31

方法 1 运用电偏转法测量电子荷质比 31

方法 2 运用磁偏转法测量电子荷质比 32

方法 3 运用电磁偏转法测量正离子的
荷质比 32

方法 4 运用质谱仪法测量同位素的
荷质比 33

方法 5 用磁聚焦法测量电子的荷质比 34

方法 6 运用双电容法测量电子荷质比 34

方法 7 在反常塞曼效应中 F-P 标准具进行
干涉成像测量电子荷质比 35

方法 8 在反常塞曼效应中通过汞绿线在不同
外磁场条件下干涉环发生重叠情况
来求得电子荷质比 36

实验 7 分光计的调节和使用 38

实验 8 牛顿环 43

实验 9 电表的改装与校准 45

实验 10 多种方法在伏安法测量中的 应用 49

方法 1 伏安法 49

方法 2 惠斯通电桥法 49

方法 3 电桥伏安法 49

方法 4 补偿法测电压 50

方法 5 双补偿法测电阻 50

方法 6 替代法 51

实验 11 电阻的伏安特性研究 52

实验 12 用模拟法测绘静电场 54

方法 1 54

方法 2 55

实验 13 测液体黏度 59

方法 1 落球法 59

方法 2 转筒法 61

方法 3 毛细管法 62

实验 14 声速的测定 64

方法 1 利用超声波进行测量 64

方法 2 驻波法 64

方法 3 相位比较法 65

方法 4 超声光栅测光速 67

方法 5 用昆特管测量超声波的速度 69

方法 6 共鸣管法 70

实验 15 液体表面张力系数的测量 73

方法 1 毛细管法 73

方法 2 吊环法 75

方法 3 扭秤法 77

方法 4	焦利氏秤法	77	内容 1	霍尔元件测量磁场	120
实验 16	太阳能电池基本特性测定	80	内容 2	霍尔元件制作霍尔开关	121
实验 17	电位差计测电动势	84	内容 3	霍尔元件制作霍尔式传感器	122
方法 1	板式电位差计	84	内容 4	霍尔元件应用于电功率的测量	122
方法 2	箱式电位差计	86	内容 5	霍尔元件制作霍尔磁卡电度表	123
实验 18	热敏电阻温度特性的研究	89	实验 25	电桥的应用	124
实验 19	光敏电阻的光电特性研究	92	内容 1	电桥测量电阻	124
实验 20	重力加速度的测定	95	内容 2	交流电桥	126
方法 1	单摆法	95	内容 3	非平衡电桥	127
方法 2	自由落体法	96	实验 26	分光计的应用	129
方法 3	气垫导轨法	98	内容 1	光栅特性研究和光波波长的 测定	129
方法 4	复摆法	99	内容 2	利用超声光栅测量液体中的 声速	131
实验 21	自组望远镜与显微镜	101	内容 3	角度的测量	134
实验 22	折射率的测量	104	内容 4	测量玻璃棱镜的折射率	135
方法 1	最小偏向角法	104	实验 27	迈克耳逊干涉仪的应用	136
方法 2	掠入射法	105	内容 1	测氦-氛激光的波长	137
方法 3	牛顿环干涉法	107	内容 2	测量固体薄片(玻璃)折射率或者 厚度	139
方法 4	偏振片法	108	内容 3	定域等倾干涉圆条纹测量钠双线波 长差	141
方法 5	迈克耳逊干涉仪法	108	内容 4	测量汞灯某一条谱线相干长度	142
方法 6	利用全息光栅测量薄透镜的 折射率	110	附录		143
实验 23	冲击电流计的测量原理及 应用研究	111	附录 A	实验报告举例	143
内容 1	测量螺线管磁场	111	附录 B	论文举例	144
内容 2	测量电容	114	参考文献		148
内容 3	测量高阻	115			
实验 24	霍尔元件的应用	117			

实验1 长度测量

长度测量是最基本的物理实验。许多物理量的测量都可转化为长度量的测量，许多仪器也是按长度划分其标度的，如根据水银柱面上升的高度划分温标的水银温度计，根据指针在弧形仪表的标度上转过的长度予以示值的指针式电表等。

直接测量长度的技术已达到很高的水平。人们设计了一系列测量长度的精密仪器，在这些仪器中尽管多数要借助显微镜或其他光学装置，但其读数装置大都是利用游标或螺旋测微原理，如常用的气压计、焦利秤、读数显微镜等。因此，熟练掌握游标卡尺和螺旋测微计的基本原理和使用方法，具有重要的、普遍的意义。

1. 原理简述

长度是最基本的物理量之一，测量长度的常用仪器有米尺、游标卡尺、外径千分尺（又称螺旋测微计）等。这些仪器的主要指标有量程和分度值。量程是指仪器所能测量的范围。分度值表示仪器所能准确读出的最小的数值，也叫精度。通常要根据不同的测量长度和要求，选择不同规格的测量仪器。本实验主要学习游标卡尺和外径千分尺的正确使用方法。

(1) 游标卡尺

普通的测量长度的尺子其准确度有一定的局限性，主要是由于其分度值较大。例如，米尺的分度值为1 mm而不能更小，否则，刻度线太密将无法区分。为此，在主尺上装一个能够沿主尺滑动的带有刻度的副尺，称为游标，这样的装置称为游标卡尺。

(2) 外径千分尺

外径千分尺是比游标卡尺更精密的长度测量仪器。外径千分尺结构的主要部分是一个测微螺杆和套在螺杆上的固定套筒以及固定在螺杆上的微分筒，固定套筒上刻有毫米刻线和半毫米刻线，微分筒上刻有50个等分格。当微分筒相对于固定套筒旋转一周时，测微螺杆沿轴线方向前进或后退0.5 mm（一个螺距），所以外径千分尺的分度值为 $0.5\text{ mm}/50 = 0.01\text{ mm}$ ，当微分筒转过一格时，测微螺杆沿轴线方向前进或后退0.01 mm。

外径千分尺读数时先以微分筒的棱边为准线，从固定套管上读出整毫米数和半毫米数，再以固定套管的水平线为准线，从微分筒上读出半毫米以内的小数部分（估读一位），两者相加就是测量值。

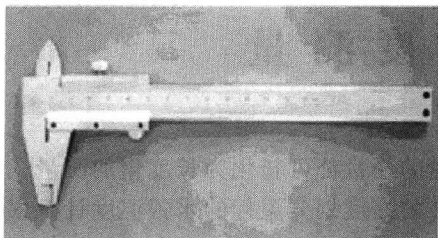
2. 仪器介绍(图 1-1)

3. 操作技巧

(1) 游标卡尺

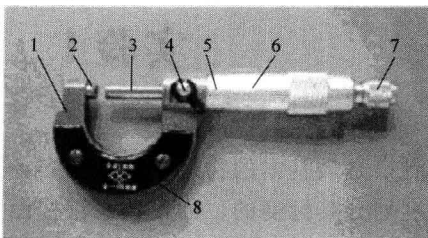
1) 检查游标卡尺的零点读数：在测量数据之前应先把游标卡尺的两个量爪合拢，检查游标零线与主尺的零线是否重合。如不重合，这时的读数叫零点读数 L_0 ，应记下零点读数 L_0 ，然后加以修正，最后的测量值应为测量读数减去零点读数的示值。当游标的零刻度线在主尺零刻度线右边时，零点读数大于0，如图1-2a所示的零点读数 $L_0 = n\delta x = 0.2\text{ mm}$ （ n ：游标的第 n 条线与主尺的某一条线重合； δx ：十分游标的分度值）；当游标的零刻度线在主尺零刻度线左边时，零点读数小于0，如图1-2b所示的零点读数 $L_0 = -n'\delta x = -0.2\text{ mm}$ （ n' ：

游标卡尺



a)

螺旋测微计



b)

图 1-1 长度测量的主要仪器

1—长架 2—测砧 3—测微螺杆 4—锁紧装置 5—固定套筒 6—微分筒 7—测力装置 8—隔热装置

是从游标上的最后一根刻度线向左数与主尺刻度线对齐的游标上的刻度线序数， δx 是十分游标的分度值)。

2) 用游标卡尺测量圆筒的外径、内径以及高度和深度时，游标卡尺的测量爪不能歪斜。如图 1-3 所示。

3) 读主尺的整毫米数时，要注意是游标的零刻度线而不是游标的端面对准主尺。使用分度值为 0.02 mm 和 0.05 mm 的游标卡尺测量数据时，可读到毫米以下两位，而且毫米以下两位应该是 0.02 mm 或 0.05 mm 的整数倍。

(2) 外径千分尺

1) 使用外径千分尺前，应按操作要求了解各部件的相互关系，特别是棘轮（测力装置）、微分筒、测微螺杆与锁紧装置相互联动和制约的关系，搞清楚固定套筒的刻度值、螺距和微分筒的分度值以及它们之间的关系。

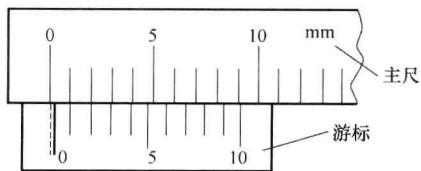
2) 外径千分尺在测量前必须读取零点读数。转动测力装置，使测微螺杆和测砧刚好接触，并听到“咯”、“咯”、“咯”三次响声，即停止转动测力装置，以固定套筒上的水平线为准线读取微分筒上的示值，即零点读数。当微分筒上的零刻度线在固定套筒上的下方时，零点读数取正值，反之取负值，如图 1-4a 所示的零点读数大于 0，为 +0.004 mm，图 1-4b 所示的零点读数小于 0，为 -0.014 mm。

3) 用外径千分尺测钢球的直径，按如图 1-5 所示进行测量。

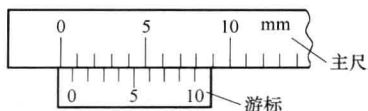
4) 读数时应注意固定套筒上的读数是否超过 0.5 mm，如图 1-6a 所示的固定套筒上读数为 4 mm，未超过 0.5 mm，微分筒读数为 0.323 mm，故读数为 4.323 mm；图 1-6b 所示的固定套筒上读数为 5 mm，已超过 0.5 mm，微分筒读数为 0.240 mm，故其读数应为 5.740 mm。

4. 注意事项

(1) 不允许用游标卡尺测量粗糙的物体，更不允许在卡尺内挪动被夹紧的物体，以防止卡口磨损。



a)



b)

图 1-2 游标卡尺的零点读数

a) 零点读数大于 0 b) 零点读数小于 0

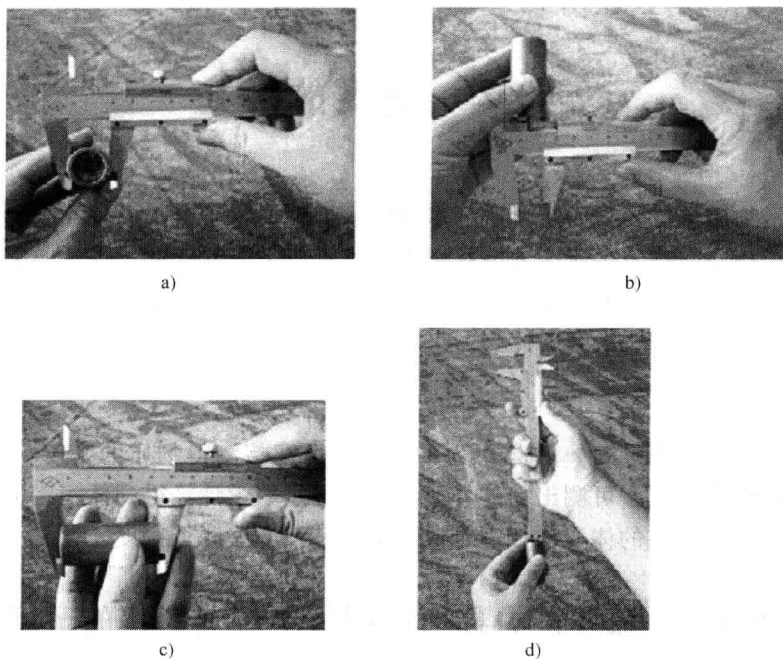


图 1-3 游标卡尺测内径、外径、高度和深度

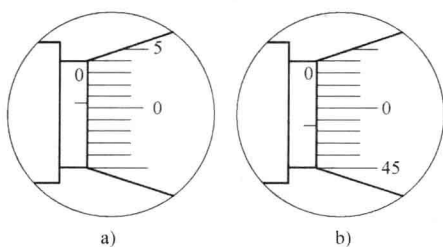


图 1-4 外径千分尺的零点读数

a) 零点读数大于0 b) 零点读数小于0

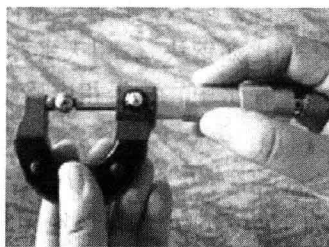


图 1-5 外径千分尺测直径

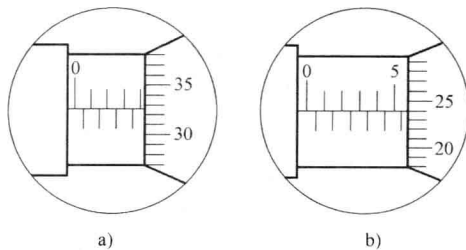


图 1-6 外径千分尺的读数

a) 未超过 0.5 mm b) 已超过 0.5 mm

(2) 使用外径千分尺时, 手尽量握在隔热装置部位, 被测工件也少用手接触, 以免因热膨胀而影响测量精度。外径千分尺用毕放回盒内时, 应将测微螺杆退回几转, 使测微螺杆和测砧之间留有空隙, 以免因热膨胀而使测微螺杆变形。

实验2 密度的测定

密度是表示物质单位体积内所含质量多少的物理量。物质由于成分或组织结构不同而具有不同的密度，相同的物质由于所处的状态不同也具有不同的密度。物质通常有固态、液态和气态三种形式。对于不同的状态，可选择不同的测量方法来测量密度。

若物体的质量为 m ，所占有的体积为 V ，则该物质的密度

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

可见，测出物质的质量为 m 和体积为 V 后，便可间接测得物质的密度。质量 m 可用天平称量。对于规则的固体，可测出它的外形尺寸，通过数学计算得到体积；但是对于外形不规则的固体，因为计算它的体积比较困难，需采用其他方法测量密度。

方法1 流体静力称衡法测量不规则固体的密度

原理简述

由阿基米德原理知，物体在流体中所受到的浮力等于物体排开同等体积的流体的重量。取待测固体（比如钢块），用天平称得其在空气中的质量为 m ，物体完全浸入（其上无附着气体）但悬浮在水中，称得相应质量为 m_1 。根据阿基米德原理得

$$mg - m_1g = \rho_0 Vg \quad (2-2)$$

式中， ρ_0 为水的密度； V 为物体的体积，即排开水的体积。将式（2-1）代入式（2-2）可得

$$\rho = \frac{m}{m - m_1} \rho_0 \quad (2-3)$$

若待测物体密度 $\rho' < \rho_0$ （比如石蜡），物体不能自行浸入水中，在单独测钢块得到式（2-1）的基础上，将该物体（石蜡）与前述物体（钢块）拴在一起，分

别按图 2-1a 和图 2-1b 进行两次称衡，得相应质量分别为 m_3 和 m_4 ，则

$$\rho = \frac{m_3 - m_1}{m_3 - m_4} \rho_0 \quad (2-4)$$

以上方法适用于对浸入液体后性质不发生变化的物体进行测量。

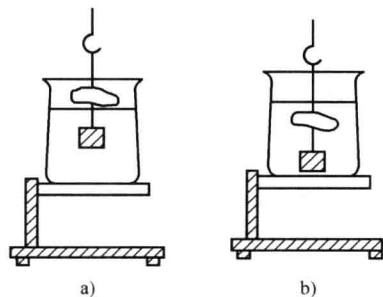


图 2-1 待测固体放入液体中

方法2 流体静力称衡法测量液体密度

原理简述

在上述测量的基础上，将固体放入待测密度为 ρ'' 的液体中称衡，得相应的质量为 m_2 ，

则有

$$mg - m_2g = \rho''Vg \quad (2-5)$$

式(2-4)与式(2-5)相除,得

$$\rho'' = \frac{m - m_2}{m - m_1} \rho_0 \quad (2-6)$$

式中, ρ_0 为水的密度。

方法3 比重瓶法测量液体的密度

原理简述

比重瓶的形状如图2-2所示。瓶塞的中间有一个毛细管,当比重瓶装满液体后,塞紧瓶塞,多余的液体从毛细管溢出,从而保证比重瓶内液体的体积固定不变。比重瓶的容积即为待测液体的体积。比重瓶的容积可以用已知密度的液体测出。测未知液体密度的方法为,先测出空比重瓶的质量 m_0 ;再测比重瓶装满待测液体后的质量 m_1 ;将待测液体倒出,清洗干净,烘干,再装满已知密度为 ρ_0 的液体,并测出其质量为 m_2 ,则待测液体的密度

$$\rho = \frac{m_1 - m_0}{m_2 - m_0} \rho_0 \quad (2-7)$$

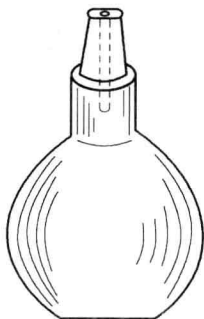


图2-2 比重瓶

方法4 比重瓶法测量固体小颗粒的密度

原理简述

用比重瓶测量不溶于液体的小块固体(大小要能放入瓶内)的密度 ρ 时,可依次称出待测固体在空气中的质量 m_1 、装满纯水的比重瓶的总质量 m_3 及装满纯水的比重瓶(内投入小块固体)的总质量 m_4 ,显然

$$m_1 + m_3 - m_4 = \rho_0 V \quad (2-8)$$

式中, V 为投入瓶内小块固体的总体积; ρ_0 是已知液体的密度。考虑到 $m_1 = \rho V$ (ρ 是待测固体的密度),于是

$$\frac{m_1}{m_1 + m_3 - m_4} = \frac{\rho}{\rho_0} \quad (2-9)$$

即密度

$$\rho = \frac{m_1}{m_1 + m_3 - m_4} \rho_0 \quad (2-10)$$

方法5 用定容瓶测空气的密度

原理简述

如图 2-3 所示为定容瓶，用抽气机将空气抽走后，称其质量为 m_1 （残留空气的压强在 13 Pa 以下），打开活塞充入室内空气，再测瓶的重量为 m_2 ，记下当时空气的温度 t 、大气压 p 和相对湿度 H ，则测量条件下，空气的密度

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (2-11)$$

式中， V 为定容瓶的容积，可由瓶中充满水的质量求出，其值可由教师预先测出。

其次，可用下式换算成标准状态下，干燥空气的密度（ ρ 的公认值为 $1.293 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ）：

$$\rho_0 = \rho \left(1 - 0.623 \frac{p_w}{p - p_w} \right) \frac{p_0}{p - p_w} (1 + 0.00366 t / ^\circ\text{C}) \quad (2-12)$$

式中， $p_0 = 101\,325 \text{ Pa}$ ，为标准状态下的大气压； p 为大气压（单位：Pa）； p_w 为测量空气中的水蒸气分压，可由 $p_w = eH$ 算出 [e 为测量温度下的饱和蒸汽压（单位：Pa）， H 为相对湿度]。

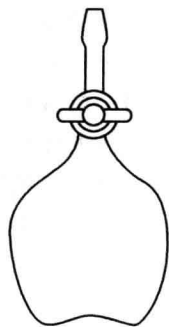


图 2-3 定容瓶

实验3 转动惯量的测量

刚体的机械运动可以分解为平动和转动。转动惯量是刚体转动时惯性大小的量度，是决定刚体转动特性的重要物理量，在许多研究领域和工业设计中都需要知道其大小。刚体的转动惯量与自身的质量分布有关系。对于质量分布均匀、几何形状规则的刚体，可以由数学公式直接计算其转动惯量；对于质量分布不均匀、形状复杂不规则的刚体，转动惯量的计算则很复杂，需要用实验的方法来测定。

转动惯量的测量，一般是使刚体以一定形式运动，通过表征这种运动特性的物理量与转动惯量的关系，而进行转换测量的。常用的测量方法有动力法和振动法两种。

动力法是使物体在重力的作用下进行转动，再利用转动定律，通过对刚体转动时所受力矩和角加速度的测量来求得转动惯量的；振动法常用的有三线摆法和扭摆法，它们都是利用刚体绕定轴摆动的规律来测量转动惯量的。

方法1 动力法

原理简述

转动惯量仪如图 3-1 所示，各种待测试件可以放置在可绕竖直轴转动的支架上，支架的下面有一个用来绕线的倒置塔轮，细线通过定滑轮和砝码相连。设转动惯量仪空载（不加载任何试件）时的转动惯量为 J_0 。我们称它为该系统的本底转动惯量。根据刚体力学的理论，如果不给该系统加外力矩（即不连接砝码），使该系统在某一个初角速度的启动下转动，此时系统只受摩擦力矩的作用，根据转动定律则有

$$-M = J_0 \beta_1 \quad (3-1)$$

式中， J_0 为本底转动惯量； M 为摩擦力矩，负号是因 M 的方向与外力矩的方向相反； β_1 为角加速度，计算出 β_1 值应为负值。

若给该系统加一个外力矩（即连接砝码），则该系统满足以下关系：

$$mg - F_T = ma \quad (3-2)$$

$$F_T - M = J_0 \beta_2 \quad (3-3)$$

$$a = r\beta_2 \quad (3-4)$$

式中， β_2 是在外力矩与摩擦力矩共同作用下系统的角加速度； r 是塔轮的半径； m 是砝码的质量。式 (3-1) ~ 式 (3-4) 联立，可得本底转动惯量

$$J_0 = \frac{mr(g - r\beta_2)}{\beta_2 - \beta_1} \quad (3-5)$$

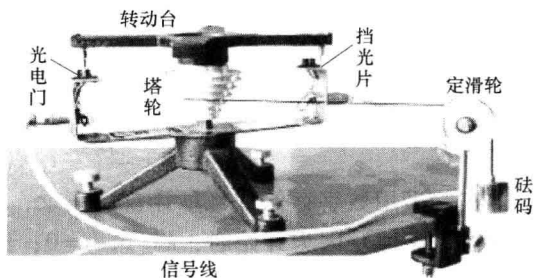


图 3-1 转动惯量仪工作示意图

式中, β_1 为转动惯量仪空载时不连接砝码作匀减速转动的角加速度; β_2 为转动惯量仪空载时连接砝码作匀加速转动的角加速度。

同理, 转动惯量仪加载试件后 (试件的质心在转动惯量仪的转轴上), 设此时系统总的转动惯量为 J_1 , 则

$$J_1 = \frac{mr(g - r\beta_4)}{\beta_4 - \beta_3} \quad (3-6)$$

式中, β_3 为转动惯量仪加载试件后不连接砝码作匀减速转动的角加速度; β_4 为转动惯量仪加载试件后连接砝码作匀加速转动的角加速度。

根据转动惯量叠加原理, 试件的转动惯量

$$J_{\text{试件}} = J_1 - J_0 \quad (3-7)$$

在上述式 (3-5)、式 (3-6) 中, m 、 g 、 r 是已知量或是可直接测量的物理量, 只要测量出 β 就可确定试件的转动惯量。本实验中, β 值可以由数字存储式毫秒计自动完成运算, 直接提取即可。运算原理如下。

由刚体运动学, 角位移 θ 和时间 t 的关系为

$$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}\beta t^2 \quad (3-8)$$

在一次转动过程中, 取两个不同的角位移 θ_1 和 θ_2 , 则有

$$\theta_1 = \omega_0 t_1 + \frac{1}{2}\beta t_1^2 \quad (3-9)$$

$$\theta_2 = \omega_0 t_2 + \frac{1}{2}\beta t_2^2 \quad (3-10)$$

联立式 (3-9)、式 (3-10) 解得

$$\beta = \frac{2(\theta_2 t_1 - \theta_1 t_2)}{t_1 t_2 (t_2 - t_1)} \quad (3-11)$$

本实验采用数字存储式毫秒计自动记录, 每转过 π 弧度记录一次时间 t 和相对应计时器遮挡的次数 k 值。因为开始时, $k=1$, $t=0$; 经过 $\theta=\pi$ 时, $k=2$, 于是 $\theta=(k-1)\pi$ 。代入式 (3-11), 可得

$$\beta = \frac{2\pi[(k_2-1)t_1 - (k_1-1)t_2]}{t_1 t_2 (t_2 - t_1)} \quad (3-12)$$

毫秒计在计算 β 值时, 第 1 个角加速度为第 2 个脉冲所对应的时间值与隔一个时间值 (不是相邻的值) 相计算所得, 即第 2 个时间数和第 4 个时间数代入式 (3-12) 计算而得, 依此类推。

本实验可测定各种物体的转动惯量, 只需将待测物体安装在实验仪的顶部并固定好, 按上述过程, 测出其匀加速转动和匀减速转动的 β 值, 由式 (3-6)、式 (3-7) 即可求出该物体绕固定转动轴的转动惯量。

理论分析证明, 若质量为 m 的物体绕通过质心轴的转动惯量为 J_C , 当转轴平行移动距离 x 时, 则该物体对新转轴的转动惯量变为 $J_C + mx^2$, 这称为转动惯量的平行轴定理。

方法2 三线摆法

原理简述

图 3-2 是三线摆实验仪结构简图。

图 3-3 为三线摆实验装置的示意图。它是将一个均匀圆盘，用等长的 3 条线对称地悬挂在一个水平固定的小圆盘下面。上、下两圆盘均处于水平，且悬挂在横梁上。3 个对称分布的等长悬线将圆盘相连。上圆盘固定，下圆盘可绕中心轴 OO' 扭转作扭摆运动。扭摆运动的过程也就是圆盘势能与动能的转化过程。扭摆运动的周期 T 与下圆盘的质量分布有关，当改变下圆盘的转动惯量（即改变质量分布）时，扭摆运动周期也相应地发生变化。三线摆就是通过测定它的扭摆运动周期来测定待测物的转动惯量的。

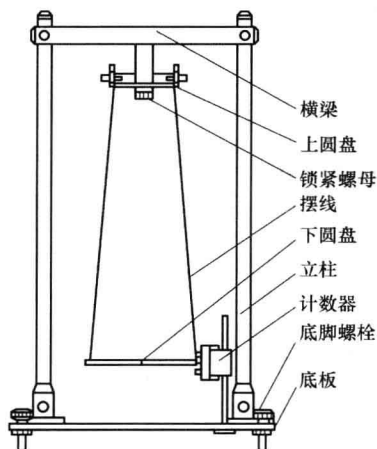


图 3-2 三线摆实验仪结构简图

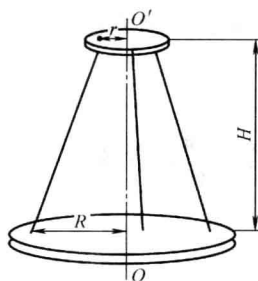


图 3-3 三线摆实验装置示意图

当下圆盘转动角度很小，且略去空气阻力时，三线摆的运动可近似看做简谐振动。根据能量守恒定律和刚体转动定律均可以导出物体绕中心轴 OO' 的转动惯量。如图 3-4 所示，下圆盘可绕 OO' 轴扭转，设下圆盘质量为 m ，当它绕 OO' 作小角度扭转 θ 时，下圆盘位置升高了 h ，则下圆盘的势能

$$E_p = mgh \quad (3-13)$$

动能

$$E_k = \frac{1}{2} J_0 \omega^2 = \frac{1}{2} J_0 \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \quad (3-14)$$

在式 (3-14) 中， J_0 为下圆盘沿 OO' 轴的转动惯量，若不计摩擦阻力，则下圆盘的势能与动能之和应保持不变，即

$$mgh + \frac{1}{2} J_0 \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 = \text{常量} \quad (3-15)$$

设悬线长为 L ，上、下圆盘半径分别为 r 和 R ，当上下圆盘扭转一角度 θ 时，从上圆盘 B 点作下圆盘垂线，与升高 h 前、后的下圆盘分别交于 C 和 C_1 ，如图 3-4 所示，则有

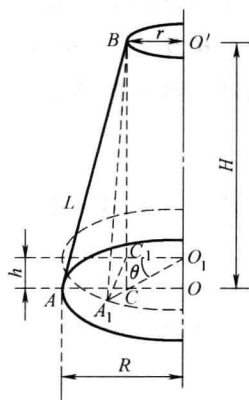


图 3-4 三线摆转动示意图

$$h = BC - BC_1 = \frac{BC^2 - BC_1^2}{BC + BC_1} \quad (3-16)$$

而

$$\begin{aligned} BC^2 &= AB^2 - AC^2 = L^2 - (R - r)^2 \\ BC_1^2 &= A_1 B^2 - A_1 C_1^2 = L^2 - (R^2 + r^2 - 2Rr \cos \theta) \end{aligned}$$

所以

$$h = \frac{2Rr(1 - \cos \theta)}{BC + BC_1} = \frac{4Rr \sin^2 \left(\frac{\theta}{2} \right)}{BC + BC_1} \quad (3-17)$$

在偏转角很小时, $\sin \frac{\theta}{2} \approx \frac{\theta}{2}$, 而 $BC + BC_1 \approx 2H$, 则

$$h = \frac{Rr\theta^2}{2H} \quad (3-18)$$

将式 (3-18) 代入式 (3-15), 并对 t 微分可得

$$J_0 = \frac{d\theta}{dt} \frac{d^2\theta}{dt^2} + mg \frac{Rr}{H} \theta \frac{d\theta}{dt} = 0 \quad (3-19)$$

即

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{mgRr}{J_0 H} \theta \quad (3-20)$$

上式为一简谐振动方程, 故该振动的角频率 ω 的平方

$$\omega^2 = \frac{mgRr}{J_0 H} \quad (3-21)$$

而振动周期 $T_0 = \frac{2\pi}{\omega}$, 所以

$$T_0^2 = \frac{4\pi^2 J_0 H}{mgRr} \quad (3-22)$$

由此得出

$$J_0 = \frac{mgRr}{4\pi^2 H} T_0^2 \quad (3-23)$$

上式是测量下圆盘绕线中心轴转动惯量的计算公式。若在实验过程中, 分别测出 m 、 R 、 r 、 H 及 T , 就可以由式 (3-23) 求出圆盘的转动惯量 J_0 。如果在下圆盘上放上另一个质量为 M 、转动惯量为 J (对 OO' 轴) 的物体时, 则有

$$J + J_0 = \frac{(m + M)gRr}{4\pi^2 H} T^2 \quad (3-24)$$

将式 (3-23) 代入式 (3-24) 得

$$J = \frac{gRr}{4\pi^2 H} [(m + M) T^2 - m T_0^2] \quad (3-25)$$

根据式 (3-25), 通过长度、质量和扭摆周期的测量, 便可求出刚体绕中心轴的转动惯量。由式 (3-25) 可知, 各物体对同一转轴的转动惯量满足线性相加减的关系。

方法3 扭摆法

原理简述

扭摆的构造如图 3-5 所示, 在垂直轴 1 上装有一根薄片状的螺旋弹簧 2, 用以产生恢复

力矩。在轴的上方可以装上各种待测物体。垂直轴与支座间装有轴承,以降低摩擦力矩。3 为水平仪,用来调节整个系统平衡。

将物体在水平面内转过一角度 θ 后,在弹簧的恢复力矩作用下,物体开始绕垂直轴作往返扭转运动。根据胡克定律,弹簧受扭转而产生的恢复力矩 M 与所转过的角度 θ 成正比,即

$$M = -K\theta \quad (3-26)$$

式中, K 为弹簧扭转常数。根据转动定律

$$\beta = \frac{M}{J} \quad (3-27)$$

式中, β 为角加速度; J 为物体绕转轴的转动惯量。若

令 $\omega^2 = \frac{K}{J}$, 忽略轴承的摩擦阻力矩,则由式 (3-26)、式 (3-27) 得

$$\beta = \frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{K\theta}{J} = -\omega^2\theta \quad (3-28)$$

式 (3-28) 表示扭摆运动具有角简谐振动的特性,角加速度与角相移成正比,且方向相反。此方程的解为 $\theta = A\cos(\omega t + \phi)$, 其中 A 为谐振动的角振幅; ϕ 为初相位角; ω 为角速度。此谐振动的周期为

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{J}{K}} \quad (3-29)$$

由式 (3-29) 可知,只要实验测得物体扭摆的摆动周期,并在 J 和 K 中任何一个量已知的情况下即可算出另一个量。

本实验使用一个几何形状规则的物体,它的转动惯量可以根据它的质量和几何尺寸用理论公式直接计算得到。若两个刚体绕同一转轴的转动惯量分别为 J_1 和 J_2 , 当它们被同轴固定在一起时,则总的转动惯量变为

$$J_{\text{总}} = J_1 + J_2 \quad (3-30)$$

式 (3-30) 称为转动惯量的叠加原理。在本实验中,知道了转动物体的转动惯量,就可算出本仪器弹簧的 K 值。反之,若知道了弹簧的 K 值,要测定其他形状物体的转动惯量,只需将待测物体安放在本仪器顶部的各种夹具上,测定其摆动周期,由式 (3-29) 即可算出该物体绕转动轴的转动惯量。

理论分析证明,若质量为 m 的物体绕通过质心轴的转动惯量为 J_0 , 当转轴平行移动距离为 X 时,则此物体对新轴线的转动惯量变为

$$J = J_0 + mX^2 \quad (3-31)$$

式 (3-31) 称为转动惯量的平行轴定理。

(1) 测量载物盘的摆动周期 T_0 , 它的转动惯量为

$$J_0 = \frac{T_0^2 K}{4\pi^2} \quad (3-32)$$

(2) 塑料圆柱体放在载物盘上,测出其摆动周期为 T_1 , 总转动惯量为

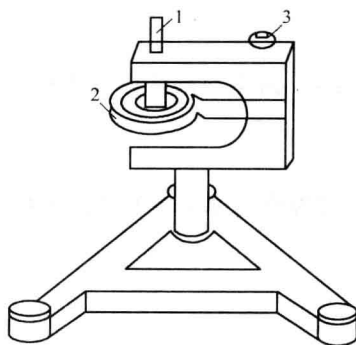


图 3-5 扭摆的构造图

1—垂直轴 2—螺旋弹簧 3—水平仪