

04-0-70C<sub>3</sub>

苏登记 编著  
02751

# 大学物理实验指南

电磁学分册

厦门大学出版社

## 内 容 简 介

本书是参照1955年至1978年部颁的综合性大学物理系普通物理实验大纲，选择理科其他各系普通物理实验中的精粹部分并根据作者三十多年来从事物理实验教学的经验编写而成的。

本书包括静电场、直流电、电解、交流电、整流及磁学等21个不同类型的实验项目共34个实验题目。

本书的最大特色是除了有一般物理实验教科书的内容外，每个实验都附有原始的实验数据及其处理分析，对实验仪器的解剖及实验操作和技能以及技巧的介绍尤为细致，书末还附有丰富的参考资料，适合于大专院校物理实验教师的教学参考和大专院校师生自学物理实验之用。对中专、中学物理教师以及科技工作者也具有参考价值。

## 大 学 物 理 实 验 指 南

(电磁学分册)

苏登记 编著

•  
厦门大学出版社出版

福建省新华书店发行

福建第二新华印刷厂印刷

•  
开本787×1092 1/16 23.25印张 560千字  
1989年10月 第1版 1989年10月 第1次印刷  
印数：1—1000册

ISBN 7—5615—0235—4/O·9

定价： 4.60 元

# 代 序

物理学在自然科学中占有重要地位。这不仅是因为自然科学的其他学科离不开物理学，而且是因为现代高技术的发明和突破，几乎都来源于物理学上的激动人心的重大发现。

物理学是一门实验科学，新的理论是建立在新的实验基础之上的，而理论本身的发展也必须经过实验的验证才能被公认。例如，现代通讯技术的发展是由于麦克斯韦建立了系统的电磁理论，而后由赫兹实验验证了电磁波的存在。可是，人们也许没有注意到，麦克斯韦的贡献，是完全建立在法拉第的实验基础之上而加以发展的。法拉第的实验发现和他所形成的有关电磁现象的物理思想，可以说已经囊括了麦克斯韦的电磁理论的主要思想和规律。这个例子以及物理学发展史中的无数例子说明，要发展物理学从而推动现代新技术的发展，必须重视物理实验和实验技术，这对培养出色的物理人才尤为重要。

普通物理实验是理、工、农、林、医院校的一门重要的实验基础课程，也是对学生进行科学实验教育的入门课程，它着重给学生以严格的实验基础训练。这些年来，国内已经自编或翻译出版了一些教材和教学参考书，但是能够供教师教学参考的实验教学指导书，为数甚少。

厦门大学物理系苏登记等同志编写的这本《大学物理实验指南》，反映了该同志三十多年在实验教学上的宝贵经验，很值得教师参考。我认为这本书有以下几个特点：

一、包括了解放以来各个阶段我国许多高等学校使用的各种实验仪器，并比较详尽的收集了各种实验中的测量方法，内容丰富；

二、对仪器的描述以及操作技能和技巧的介绍特别细致；

三、对每个实验的操作步骤、数据表格、参考数据、思考问题及分析讨论都作了介绍，在附篇中还给出了一些理论推导或知识的介绍，可以作为教学参考手册使用。

我祝愿本书的出版将对我国物理实验教学起到积极的作用。

虞福春

1988年9月27日

# 序

科学理论和科学实验犹如一条车轴两端的两个轮子，共同推动科学之车前进。这两个轮子又好象固定在轴上，一个轮子旋转必然要带动另一轮子的转动。1900年前后发现了电子并加以测量，发明了X-光并考究其本性，发现了放射性并看出原子的蜕变，测出可靠的热辐射能量分布规律而推翻了经典理论，发现光电效应和电子的波动性而确认了波粒二重性等，都是物理实验的辉煌成就，它奠定了本世纪科学大发展的基础。随之而来的量子说的确立，原子构造的阐明，相对论的提出和量子力学的建立，极大地丰富了科学特别是物理学的宝库。

以Einstein为例，他当过瑞士专利局的工程师多年，对于实验科学的内容十分熟悉，这使他懂得得出Michelson-Morley的实验结果作为相对论的奠基石，可以说他的特殊相对论就是为了解决Bradley光行差的测量问题及Fizeau的水流对光程影响的测量和Michelson-Morley的测量等几个实验结果的矛盾而凑出来的。事实上也只有根据较多的实验结果凑出的理论才有可能应用于更多或全部事实，才有可能靠近真理。凑即很多次修改理论到符合多数或全部事实为止。不去凑，只凭不可靠的假设或凭直觉(Intuition)作了一二次尝试，很难想像这种理论能够符合大部分事实。Planck等人更是先凑出一个符合于热辐射分布律的公式，然后追究这个公式和Rayleigh-Jeans理论的差别所在，才看出量子说的必要性。历史事实说明了实验的重要性，特别是物理实验。

在今天大学的物理课程里，因为要学的理论太多而挤掉了物理实验的学习份量，这已是很普遍的事情，不仅国内如此，在国外也是这样，这是一件很不幸的事。在国内因仪器设备关系，影响就更大。我国在世界的物理学界，不论实验方面或是理论方面，都尚未有立足之地。如果不熟悉和了解许多实验数据，是难于提出中肯的模型作为理论研究的出发点。这是多么惊人的现实，其根源首先要数大学物理实验的教学效果。这方面的书本除4、5种译本外，国人自编的到最近也只有1、2种。译文本，特别是苏译本常有词不达意之处，对学生学习困难很大。厦门大学苏登记老师编写的《大学物理实验指南》是一本内容比较丰富的书，收集的实验题目达一百多个。其文字的流畅，非译文所能比，且处处为初学者着想，特别重视基本技能，并附有实验数据。这本书不同于一般教科书，不但同学可以在实验前自行预习，对于教师的选题更为方便，等于是一本便览或手册。对于同一题目的实验，如在一实验室里同时排出几种不同做法，可以使同学收到举一反三之效。在目前的实验教学时间很有限的情况下，如何提高课内的教学效率是非常重要的。这部书对于这一点较为重视。本人尚希望它能够弥补上述的不幸于万一，是为序。

顾 戊 己

1987. 4.

# 前 言

《大学物理实验指南》是根据教育部颁布的综合性大学物理系各专业物理实验教学大纲和1977年全国理科教材会议制定的物理实验大纲，根据作者三十多年来的教学实践而编写的。还编入一部分数学、化学、生物等系和原中级物理实验的内容。曾在全国兄弟院校交流，是一部比较系统的、适应性较大的大学物理实验参考书。

本书力求以基本实验方法为中心，把实验原理、实验仪器和测量技术作为有内在联系的有机整体来阐述，着重于基本物理概念、基本物理实验仪器的操作使用和基本物理实验技能的训练。对实验仪器的描述及实验技能和技巧的叙述特别详细深刻。而且差不多每个实验都有实验数据处理举例，其中有原始数据、数据处理及对实验结果的讨论，作为每个实验的有机组成部分，这是一般物理实验教科书所没有的。有实验数据的分析处理的典范，将使学生易于掌握实验数据的正确处理分析这一实验基本要求，有了这部分内容，每个实验就是完整的，将使学生更易于掌握基本实验方法这一总的实验教学任务。全书收集的实验题目有一百多个，实验内容和实验个数都远远超过现行物理实验教材。这些实验题目不是无原则的堆集，而是根据不同的物理量来编排的。每个大题目的内容都是必须掌握和测量的物理量，小题目则代表测量同一个物理量的几个不同方法，实验内容有深有浅，实验方法有简单的有比较复杂的。题目的这样安排有利于扩大学生的眼界，为他们提供广阔的实验方法思路。少量古老的实验，似乎可以删去，但由于这些实验具有直观、简单明白的特点，对于弄清一些物理概念，掌握实验的基本方法，仍然具有其重要价值，所以还有保留的必要。

本书适用范围较广，可供理科物理系师生物理实验的参考，也可供理科其他各系和师范、工、农、林、医高等院校以及电大、夜大物理实验的教师和学生参考，对高中物理教师也有参考价值。

本书是作者三十多年来从事物理实验教学的成果，是集体智慧的结晶。我系黄献烈同志等为本书提供了部分电磁学实验数据；苏若竹同志不厌其烦为本书画了插图；我系刘士毅教授为本书审稿；原中国科学院院长卢嘉锡教授为本书题了词；国家教委高校理科物理学教材编审委员会主任、北京大学技术物理系虞福春教授和福州大学物理系颜戊己教授分别为本书写了代序和序，谨此一并致以衷心的感谢。

由于作者水平有限，一定存在不少缺点和错误，敬请读者批评指正。

作 者

1988. 11. 于厦门大学物理系

# 目 录

电磁学实验须知 .....	( 1 )
概述 .....	( 3 )
实验1 静电场的描绘 .....	( 5 )
实验2(1) 用安培表和伏特表测量中值电阻 .....	( 8 )
附录 关于伏安法测量电阻误差的修正和电路的选择 .....	( 14 )
实验2(2) 用安培表和毫伏表测量低值电阻 .....	( 16 )
实验2(3) 用滑线电阻式惠斯登 ( <i>Wheatstone</i> ) 电桥测量中值电阻 .....	( 20 )
实验2(4) 用盒式惠斯登 ( <i>Wheatstone</i> ) 电桥测量中值电阻 .....	( 25 )
附录 直流电桥简介 .....	( 30 )
实验2(5) 用凯尔文 ( <i>Kelvien</i> ) 双臂电桥测量低值电阻 .....	( 33 )
实验3 导体电阻温度系数的测量 .....	( 38 )
实验4 万用电表的装配 .....	( 42 )
附录 交流测量的电路 .....	( 56 )
实验5 法拉第 ( <i>Faraday</i> ) 电解定律和正切电流计 .....	( 62 )
附录 银电解器 .....	( 67 )
实验6 用便携式电位差计测量电池的电动势和内阻 .....	( 69 )
附录1 滑线式电位差计简介 .....	( 76 )
附录2 酸性蓄电池平稳电压输出的获得 .....	( 78 )
实验7 温差电现象的研究 .....	( 79 )
附录 直流电位差计简介 .....	( 87 )
实验8(1) 用直流电位差计校准直流电流表 .....	( 89 )
实验8(2) 用直流电位差计校准直流电压表 .....	( 93 )
实验8(3) 用直流电位差计校准直流电阻箱 .....	( 98 )
实验9(1) 磁电系直流检流计的研究 .....	( 100 )
附录1 (9)式的解的推导 .....	( 117 )
附录2 直流检流计的选用 .....	( 119 )
实验9(2) 冲击检流计 .....	( 124 )
附录1 (3)式的解的推导 .....	( 134 )
附录2 万能直流分流器 .....	( 134 )
实验10(1) 用冲击法测量高阻 .....	( 136 )
实验10(2) 用冲击法测量电容器的电容和漏电阻 .....	( 140 )
实验10(3) 短暂时间间隔的测量 .....	( 144 )

<b>实验11</b>	交流电表的使用和交流参数的测量以及交流欧姆定律的 验证——伏安法.....	(147)
<b>实验12</b>	瓦特表的校准及电功率的测量.....	(155)
<b>实验13</b>	用电度表测量日光灯的电功率和功率因数.....	(164)
附录	用瓦特表测量日光灯的电功率和功率因数.....	(174)
<b>实验14</b>	用交流电表测量铁芯线圈的电感——三表法.....	(175)
<b>实验15</b>	交流电路谐振现象的研究.....	(180)
<b>实验16</b>	阴极射线示波器的使用.....	(189)
附录	$y = \frac{IDU_a}{2dV_a}$ 的推导 .....	(201)
<b>实验17</b>	$RC$ 及 $RL$ 相移的测量 .....	(203)
<b>实验18</b>	$RLC$ 的暂态过程 .....	(209)
<b>实验19(1)</b>	用万能电桥测量电阻、电感和电容—— $QS14$ 型万能电桥.....	(229)
附录	蜂鸣振荡器 .....	(244)
<b>实验19(2)</b>	用变压器电桥准确测量电感或电容以及小电感或小电容—— $CCJ-IC$ 型精密电容测量仪.....	(246)
<b>实验20(1)</b>	用冲击检流计测量螺线管中的磁场强度.....	(253)
<b>实验20(2)</b>	用冲击检流计测量软磁材料的磁化曲线和磁滞回线.....	(261)
<b>实验20(3)</b>	用示波器测量软磁材料的交流磁化曲线和磁滞回线.....	(273)
<b>实验20(4)</b>	铁磁物质居礼温度的测量.....	(281)
<b>实验21</b>	晶体二极管的整流特性.....	(284)

## 附 篇

### 电学实验基本仪器知识

<b>一、常用电源</b> .....	(292)
(一) 直流电源 .....	(292)
(二) 交流电源 .....	(294)
附录1 低压测电笔的原理和用法 .....	(297)
附录2 保险丝的选择 .....	(298)
<b>二、常用电表</b> .....	(299)
(一) 磁电系仪表 .....	(304)
(二) 电磁系仪表 .....	(308)
(三) 电动系仪表 .....	(313)
附录 指示仪表的表面标记和电路符号 .....	(317)
<b>三、电阻器</b> .....	(320)
(一) 直流电阻器 .....	(320)
1. 电阻箱 .....	(320)
2. 直流变阻器 .....	(325)

(二) 交流电阻器 .....	( 326 )
1. 基本特性 .....	( 326 )
2. 交流电阻箱 .....	( 328 )
3. 交流变阻器 .....	( 329 )
4. ZX17型交直流两用的十进位电阻箱简介 .....	( 329 )
<b>四、标准量具</b> .....	( 331 )
(一) 国际单位制 (SI) .....	( 331 )
(二) 基准器 .....	( 331 )
(三) 标准量具和工作量具 .....	( 332 )
(四) 电学的标准量具 .....	( 332 )
1. 标准电池 .....	( 332 )
2. 标准电阻 .....	( 337 )
3. 标准电容器 .....	( 340 )
4. 标准电感器 .....	( 345 )
<b>五、其他常用仪器使用说明</b> .....	( 348 )
(一) 万用表 .....	( 348 )
(二) Univoit DT—830型数字万用表 .....	( 353 )
(三) 音频讯号发生器 .....	( 355 )
(四) 电子管电压表 .....	( 356 )



# 电磁学实验须知

## 一、一般注意事项

1. 实验前要做好准备工作。

2. 实验过程中应注意事项:

(1) 参照电路图将仪器安排在实验桌上恰当位置。仪器的位置应便于调节和读数, 比如不要将变阻器放在离手太远; 不要把电表的刻度倒置。仪器的位置应使接成的电路最简单、最清楚、接线最少和最短。

(2) 接线按下列顺序进行:

a. 接线应从电源一端起, 到另一端止。(注意: 直流电源先接上一端, 另一端不得接上! 交流电源两端都不得接上!) 一般先接串联回路, 再接并联回路。

b. 导线接到各接线柱时, 旋钮要旋紧, 使导线和接线柱的接触面积最大。接线前要用小刀或砂纸将线端的铜锈或漆包去掉。

c. 接线完毕, 要全面检查。检查有否接错或漏接, 各接点是否接紧。

d. 将电路中的限流变阻器的阻值调得最大。检查各电表的指针是否指在标尺的零点, 如果不指在零点, 应向指导教师报告, 加以调整。

e. 电路经过指导教师复查后, 才允许接通电源。电源接入后如发现指针偏转过快或向相反方向偏转, 应立刻切断电源, 进行检查, 找出原因, 加以解决。

3. 观察和记录

接通电路后, 按实验要求进行必要的调节。调节第一次只作观测值, 第二次才读数记录(读数应包括估计那一位!)。读数时视线应和表面刻度线垂直。较精密的电表, 刻度尺下面有一镜面, 读数时应使指针和指针在镜中的像重合, 以免引入视差。

4. 测量完毕, 应将实验数据交给指导教师检查, 认可后才切断电源, 拆除电路, 将仪器安排好, 并经指导教师验收后才可以离开实验室。

## 二、仪器的安全使用

物理实验所用的仪器都是比较精密和贵重的, 使用时不注意就会烧毁或损坏, 造成国家财产的损失。我们应该爱护国家财产, 实验时要认真细心, 千万不要粗心大意!

1. 使用电表时, 应注意电表上注明的量程是否适合。如果量程太小, 切不可通电, 如果被测量的大小不知道, 应先以大量程试用, 再视情况选择合适的量程。

2. 使用检流计时, 必需并联一低阻变阻器以作分流, 或者串联一高阻变阻器以作限流, 以免通过电流过大, 把检流计烧毁。分流电阻应先放在最小阻值; 限流电阻应先放在最大阻值, 然后调节直到检流计的偏转适于观察为止。

3. 电学元件比如电阻、电容及电感等都有其额定的容许电流或电压, 使用时不得超过, 以免烧毁。比如通过变阻器的电流不得超过其额定值, 否则因电阻发热太大会烧毁; 电阻箱

由于散热更慢，所能承受的功率，每个电阻一般不能超过 $\frac{1}{4}$ 瓦，加于电容器（或箱）两端的电压不得超过容许值，否则电容器介质会被击穿。如此等等。

4. 任何种类的电池，所能供给的电流都是有限的，不得超过，更不得接成短路！使用时应串联一变阻器以限制和调节电流的大小。

5. 标准电池一般不准倒置（注），只许作平衡用，绝对不允许作电源用！使用时必须串联一限流电阻，使通过的电流不超过1微安。连续通电时间不宜超过1分钟。

6. 使用可调电源（直流分压电源，交流的自耦变压器）时，输出电压应先放在零值。

7. 移动任何仪器时，应先将其可动部分固定（比如检流计应将其动圈挂起或短路、微安表在搬运时也应将其两端短路），否则很容易使其动部受损。只在使用时才将其可动部分放下！

### 三、关于安全用电

为了防止触电事故，保证人身安全，顺利地进行实验，必须遵守以下几点：

1. 进入实验室，必须穿胶底鞋，严禁赤足！

2. 不要用手（或皮肤的任何部位）接触交流电路的外露部分。对于电压高达50伏的直流电源也是如此。使用自耦变压器时，由于自耦变压器的前后级同一个线圈（即后级直通220伏或380伏交流电源），前后级的公共端必须接到电源的中性线，否则即使后级输出电压为零伏，也有触电危险，不得麻痹！

3. 所用交流电器设备（比如电烙铁、电炉、示波器、音频振荡器等）外壳必须接地！

触电是危险的，但只要我们注意，完全可以避免。万一触电怎么办？应以爱护同志、爱护国家财产的高度责任感，立刻进行抢救。如果是人触电，先切断电源再抢救人。如果不能切断电源，应以绝缘物（人不得直接接触触电的人，以免再触电！）将触电者从触电中隔开，送至医院急救（触电者不醒时，不得泼水或打强心剂，要进行人工呼吸，持之以恒，必要时坚持6小时不停）。如果是电器设备触电着火，应先切除电源再灭火！未切除电源时，不得用水灭火，否则由于水会导电，又会造成人触电。如果无法切除电源，要用砂土或四氯化碳灭火机灭火。

注：Bc9型便携式饱和标准电池不受此限制，详见附篇四(四)1。

# 概 述

电磁学实验是物理实验中的一个重要组成部分。它的基本任务就是实现对各种电磁学物理量的测量，它也广泛应用于非电量转换为电量时的测量。

测量任何一个物理量的意思是拿它和同一种类的、习惯的和被定作单位的量作比较。测量结果是用被测的量和测量单位的比较值表示。

测量单位的标准量具，在电磁学有标准电池（提供标准电动势）、标准电阻、标准电容和标准电感等。

用来比较被测的量和测量单位的设备称为测量仪器，例如电表、电桥和电位差计等。

有些测量仪器的读数就是用测量单位来分度的，所以可以直接读出被测的量的值，这些仪器叫做直读式仪器，例如安培表、伏特表和瓦特表等。

有些测量仪器必须将被测量和定作单位的标准量进行比较，才能确定被测量的值，这些仪器叫做较量仪器，例如电桥和电位差计等。

所以所有可能的电磁测量方法，可以分为两大类：

第一大类：直接测量法：根据一个或几个测量仪器的读数来判定被测量的值，而这些仪器是事先按被测量的单位或藉以决定被测的量的其他数量的单位而分度的。这种方法又可以分为两种：第一种是直接计值法。例如用安培表测量电流，用伏特表测量电压等；第二种是间接计值法。例如利用部分电路的欧姆定律  $R = \frac{U}{I}$  计算电阻。很显然，以上这种测量所用的仪器是直读式的，称为直读式仪器。直接测量法简单，但准确度比比较法低。

第二大类：比较测量法：被测的量的值与这量的标准量作比较而决定被测量的值时，称为比较测量法。它的特点是在测量过程中要有标准量参加工作。比较测量法又分为三种：第一种为零值测量法。就是被测的量的作用被同一种类的已知量的作用相抵消到零的方法。由于比较时电路处于平衡状态，所以这法又称为平衡法。例如用电位差计测量电池的电动势时就是用一已知的标准电压降和被测电动势相抵消，从已知标准电压降的电压数值来得知被测的电动势。零值法的误差取决于标准量的误差及测量的误差。第二种为差值测量法。就是被测的量的值与标准量（或已知数量）作比较，不过被测的量的值未完全被平衡，其值由这些量所产生的效应的差值来判断。差值法的测量误差取决于标准量的误差及测量差值的误差。差值越小，则测量差值的误差对测量误差的影响越小。如果差值为千分之一，测量差值的误差为百分之一时，则测量差值的误差便为十万分之一。差值法特别适用于标准电池的互相比对。第三种为替代测量法。将被测量与标准量先后代替接入同一测量装置中，在保持测量装置工作状态不变的情况下，用标准量值来确定被测量的方法，称为替代法。当标准量为可调时，用可调标准量的方法保持测量装置工作状态不变，则称为完全替代法。事实上标准量多是不可调的，测量装置这时允许有微小的调整，这种方法称为不完全替代法。在替代法测量中由于测量装置的工作状态不变，或者只有微小变动，装置的内部特性及各种外界因素对测量产生的

影响是完全或绝大部分相同的，在替代时可以互相抵消，因而测量误差极小，所以准确度就取决于标准量的误差。替代法常用于同名义值标准量具如标准电阻的测量。

以上两大类测量方法中，电磁学测量最常用的是直接测量法和比较测量法中的零值法。

本书通过一系列实验，对电磁学各种物理量比如电流、电压、电阻、电容、电感、电功率和磁感应强度等等的测量，从而掌握电学量的基本测量方法和测量所必须的基本仪器的原理、性能和用法。

# 实验 1 静电场的描绘

## 一、目的

描绘静电场的等位线和电力线。

## 二、原理

电场是在电荷周围空间中存在的一种特殊物质。电荷在电场中要受到力的作用。当电荷从某一位置移到另一位置时，电力一定要对它做功。电荷在电场中受力和电力做功的特性，我们用电场强度和电位差来描述。

电场中某一点的电场强度等于单位正电荷在该点所受的力。某两点的电位差等于单位正电荷从这一点移到另一点时电力对于该电荷所作的功。为了形象地表示电场的分布情况，我们用电力线和等位面来表征这两个量值（如果仅限于一平面上，则等位面变为等位线）。

电力线是这样的一些曲线，在这些线中各点的切线方向就是各点的电场强度的方向，即正电荷受力的方向。等位线是电场中电位相同各点所连成的曲线。在等位线上，电荷从任一点移动到另一点电场力所作的功等于零。因此电场强度在等位线上的切向分量为零，而在与等位线垂直方向的分量最大，这方向就是正电荷受力的方向，也就是说，在电场中任一点，电力线的方向与通过该点的等位线垂直。

等位面和电力线是描述静电场分布的物理量。在某些电工装置、电真空器件以及大型电气设备的接地装置的正确设计中，经常须要知道其电场的分布，但由于电场分布的理论计算复杂、困难，因此多用实验方法确定。

用实验方法模拟静电场主要有三种方法：（1）电解槽法：即用电解槽内的电流场模拟静电场；（2）导电纸法：即用导电纸上的恒稳电场模拟静电场；（3）电阻网法：即用电阻网模拟静电场。三法各有优缺点，以电解槽法最基础，本实验用电解槽法。其他两法参看其他有关实验的书籍。

本实验要测绘两种静电场的等位线和电力线：（1）两点电荷间的电场；（2）两平行金属板间的电场。

实验时我们选取所需要形状的电极。两电极放在电的不良导体（比如自来水）的水溶液中。在两极间接上直流电源（如果是交流电源，则在同一时刻两极总也是一正一负），这时水溶液中各点就都有分布着电的力场就是我们所称的电场。这个电场的分布与静电电荷所产生的电场完全一样。

如图1-1所示，在平底水槽中，放上一对电极A和B，两极间接上电源，C和D为探测

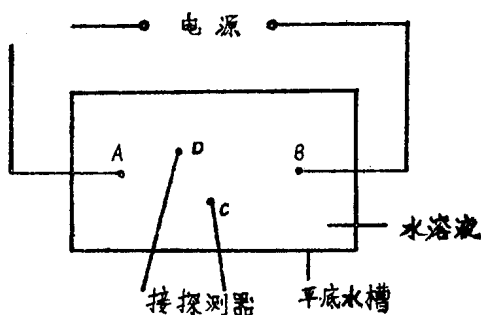


图 1-1

等位点的一对探针。两探针接到探测器（如果用直流电源产生电场，则用直流检流计；交流电源可以用听筒或其他交流指示器）来探测 $C$ 和 $D$ 两点间是否有电流通过。如果没有电流通过表示这两点为等电位点。固定探针的一点（比如 $C$ 点）移动另一点（比如 $D$ 点）就可以找到许多等电位的点，将这些点联结起来就是一条等位线。以同样方法（改变 $C$ 点的位置）可以测出多条等位线。根据等位线和电力线互相垂直的关系，就可以画出电场中的电力线，从而可以解释电场的分布情况。

### 三、仪器

(1) 长方形平底玻璃槽（可以用厚度约3厘米的木框胶合在平板玻璃上做成。底面大小约 $30 \times 40 \text{ cm}^2$ ，槽底外表面贴有纸面向上的坐标方格纸）；(2) 各种形状的电极数对（点电荷用针状电极产生）、探针一对；(3) 电源及探测器。有三种配套： $a$ 。直流电源（6~9伏，4~6节的甲电池可以用）及直流检流计（灵敏度 $10^{-9} \text{ A/mm}$ 的桌式检流计可以用）； $b$ 。蜂鸣振荡器及听筒； $c$ 。音频振荡器及听筒（或其他交流检流计，比如真空管毫伏表或示波器）。以上三种可以根据实验室设备选用。本实验电源用音频振荡器，探测器用听筒。

### 四、步骤

1. 实验装置如图1—2所示。使玻璃槽平放，内放自来水（或其他稀薄水溶液），水

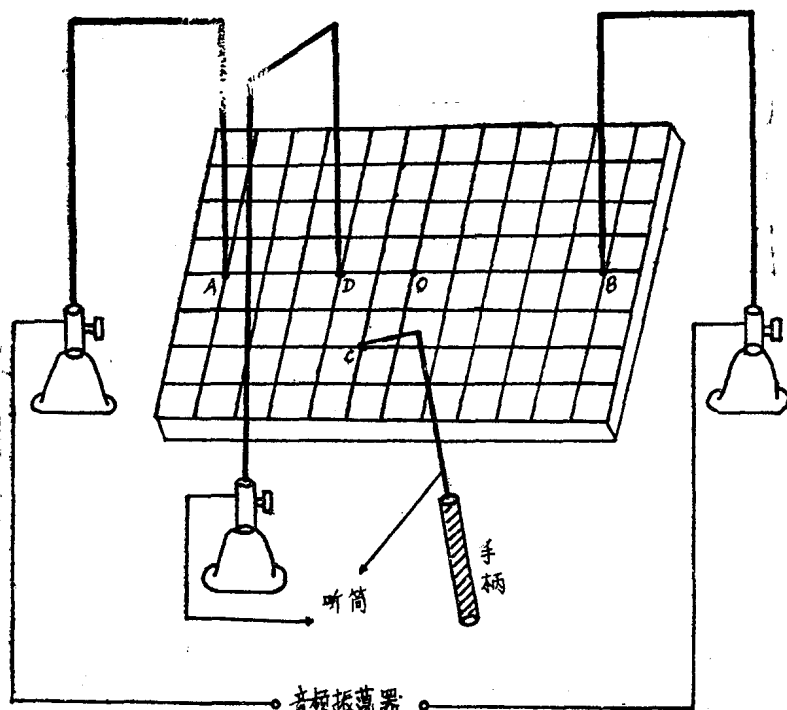


图1—2

深约0.5厘米。然后将针状电极置于槽内 $A(-5, 0)$ 和 $B(+5, 0)$ (单位： $\text{cm}$ ，估计到 $0.01 \sim 0.02 \text{ cm}$ ，下同)两点，调节升降螺丝使电极针尖碰到液面，并将 $A$ 和 $B$ 两电极接到音频振荡器的输出端，同时在槽内放上探测电极 $C$ 和 $D$ ，先使探测电极 $C$ 位于 $O(0, 0)$ 。两极间连接听

筒。听筒挂在耳朵上。

2. 右手拿着探针 $D$ 的木柄,使探针针尖 $D$ 在溶液内移动,探针 $D$ 要垂直液面,这时听筒内可以听到嗡嗡声,这是因为 $C$ 和 $D$ 两点的电位不同,听筒内就有交流电流通过。如果移动 $D$ 到某一位置时,听到的声音最弱或消失,则 $C$ 和 $D$ 两点的电位相等,即 $C$ 和 $D$ 在同一等位线上(注意:探针 $D$ 移动时,如果发现声音由弱逐渐增强,则应返回声音最弱的区域,直到找到声音最弱或消失的点为止)。将找到等位点的位置从槽底的坐标纸上读出,并记录在和槽底方格纸相应的另一方格纸上。继续移动探针 $D$ ,使在 $C$ 的上下各找到4~5点的等位点位置,连接这些点,就可以得到一条等位线。在这里这一条等位线是一条直线形等位线。

3. 将探针 $C$ 依次放在(1, 0)、(2, 0)、(3, 0)、(4, 0)各点上,重复上述实验步骤2,再找出四条等位线。

4. 移去针状电极 $A$ 和 $B$ ,代以两平行板电极。两极相距为6厘米并平行于 $y$ 轴,并对原点(0, 0)对称。将探针 $C$ 依次放在(0, 0.5)、(0, 1.0)、(0, 1.5)、(0, 2.0)各点上,重复上述实验步骤2可以找出四条等位线。注意在板状电极的端点附近要多找几个等位点。

### 五、数据处理

将实验所得数据,绘出等位线,并根据电力线和等位线正交的关系,绘出十来条的电力线来。

在上述实验中由于两个电极的形状完全一样,其电场的分布是对称的,因此实验只需测出其中的一半,另一半可以根据对称关系绘出。

### 六、思考题

1. 用直流电源产生静电场,电解液中会产生极化现象,使电场畸变,影响测量结果。在准确测量时为避免极化,多采用交流电源。试讨论极化对电场畸变的影响。

2. 为什么探针必须垂直浸入溶液中?否则会引起什么结果?

3. 为什么槽内溶液深度必须处处相等?否则会引起什么结果?

4. 测绘出等位线后,如何绘出电力线。

## 实验2(1) 用安培表和伏特表测量中值电阻

### 一、目的

1. 用安培表和伏特表测量中值电阻。
2. 从实验证实电阻是温度的函数。

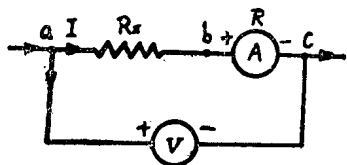
### 二、原理

(一) 电阻是电学的重要物理量。在实际工作中所遇到的电阻的阻值大小是很不一致的,通常在1微姆( $1 \times 10^{-6}$ 欧)到1兆欧( $10^6$ 欧)的范围内。由于电阻数值的差别很大,测量电阻的方法也是不同的。根据测量的方法可以将电阻数值分为三段: 1. 低值电阻(1欧以下到 $10^{-6}$ 欧); 2. 中值电阻(1欧到0.1兆欧); 3. 高值电阻(0.1兆欧以上)。本实验是讨论中值电阻的测量方法之一。

(二) 用安培表和伏特表测量中值电阻的原理,是根据部分电路欧姆定律。这定律说:在一定温度下,导体的电阻等于导体两端的电压除以通过导体的电流,即

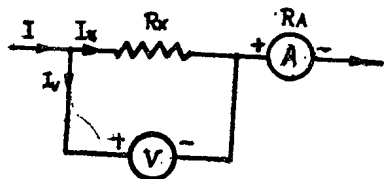
$$R_x = \frac{U}{I} \quad (1)$$

上式中 $U$ 、 $I$ 和 $R_x$ 的单位分别为伏特、安培和欧姆, $U$ 可以用伏特表并联在导体两端来测量, $I$ 可以用安培表和导体串联来测量,则导体电阻就可以从(1)式计算出来。



(a)

但是安培表和伏特表本身都有电阻,当它接入电路之后,使电路中的电流、电压有一些改变,测量时必须注意电流、电压的改变对测量结果的影响是否在容许误差的范围内。实际测量电路有两种,如图2(1)-1(a)(b)所示。



(b)

第一种电路〔图2(1)-1(a)〕安培表接在伏特表之内,称安培表内接法。这种电路由安培表读出的电流值是正确的,由伏特表读得的电压值则偏大, $U = U_{ab} + U_{bc} = IR_x + IR_A$ 。它大了安培表所产生的电压降 $IR_A$ 。根据欧姆定律

$$R_x = \frac{U - IR_A}{I} = \frac{U}{I} \left( 1 - \frac{R_A}{R_x + R_A} \right) \quad (2)$$

上式中 $U$ 、 $I$ 、 $R_A$ 和 $R_x$ 分别为伏特表、安培表的读数及安培表的内电阻和待测电阻。

如果 $R_x \gg R_A$ , 则 $\frac{R_A}{R_x + R_A} \cong 0$ , 所以 $R_x \cong \frac{U}{I}$

图2(1)-1



04-0-70C3

$$\text{这时误差 } \delta_1 = \frac{R_A}{R_x + R_A} + 100\% \approx \frac{R_A}{R_x} \times 100\% \quad (3)$$

所以当测量的电阻  $R_x$  比安培表的电阻  $R_A$  大很多时, 应采用第一种电路, 其引入的误差很小, 可以忽略不计。

第二种电路〔图2(1)—1(b)〕安培表接在伏特表的外面, 称为安培表外接法。这时伏特表的读数是正确的, 而安培表的读数偏大,  $I = I_x + I_v$ 。它大了  $I_v$ 。根据欧姆定律

$$R_x = \frac{U}{I_x} = \frac{U}{I - I_v} = \frac{U}{I - \frac{R_x}{R_x + R_v} I} = \frac{U}{I \left(1 - \frac{R_x}{R_x + R_v}\right)}$$

$$\approx \frac{U}{I} \left(1 + \frac{R_x}{R_x + R_v}\right) \quad (\text{注1}) \quad (4)$$

上式中  $R_v$  为伏特表电阻, 其他同(2)式。

$$\text{如果 } R_v \gg R_x, \text{ 则 } \frac{R_x}{R_x + R_v} \approx 0, \text{ 所以 } R_x \approx \frac{U}{I}$$

$$\text{这时误差为 } \delta_2 = \frac{R_x}{R_x + R_v} \times 100\% \approx \frac{R_x}{R_v} \times 100\% \quad (5)$$

所以当测量的电阻  $R_x$  比伏特表的电阻  $R_v$  小很多时, 应采用第二种电路, 这时引入的误差很小可以忽略不计。

一般安培表的内阻很小,  $R_A$  约0.1欧, 而一般伏特表的电阻  $R_v$  很大, 10伏量程约10,000欧, 所以测量一般电阻, 对误差的要求如果不太高, 两种电路都可以采用。

用上述方法(简称伏安法)测量电阻时, 由于电流通过被测电阻, 电阻器受热, 从而使电阻的数值发生变化, 这点可以由实验加以证实, 这是本法的缺点。

### 三、仪器

(1) 蓄电池(6伏); (2) 直流伏特表(0~7.5V)或直流数字电压表(四位显示, 2V、20V档)(注2); (3) 直流安培表(0~1.5A)及直流毫安表(0~500mA); (4) 滑线变阻器(0~55Ω, 1.5A); (5) 单刀单掷开关及单刀双掷开关; (6) 小灯泡(6.3V, 0.3A); (7) 待测电阻(约5Ω)。

### 仪器简介

#### 1. 直流电表

直流电表是用来测量直流电流、电压等的仪表。主要有磁电系电表。它是利用电流的磁效应, 即利用通电流的线圈在磁场中受到力的作用而产生偏转的原理而设计制造的。它的结构和工作原理, 详见“附篇二(一)磁电系电表”部分。

(1) 直流安培表: 它是由指针式的磁电系电流表并联一低电阻(称为分流电阻)而成。如图2(1)—2(a)所示, 不过标度尺按安培分度, 自左至右, 零点刻度在标度尺左端。常用的安培表多是多量程的, 如图2(1)—2(b)(c)所示, 它是两量程C19-A型磁电系毫安表的原理和外形图。图中标有“-”标记的为公共接头, 接“-”和“150”是150mA量程, 接“-”和“300”是300mA量程。图2(1)—2(d)是安培表的接法。

注1: 式中分母括号内用二项式定理展开, 并略去二次方以上的项, 即得右边括号内的值。

注2: 详见“附篇五(二)数字万用表”部分。