

电磁学教学参考

张之翔 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

Notes on Electromagnetics for Teaching and Studying

Zhang Zhixiang



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

电磁学教学参考/张之翔编著. —北京: 北京大学出版社, 2015. 12

ISBN 978-7-301-26527-7

I. ①电… II. ①张… III. ①电磁学—高等学校—教学参考资料 IV. ①O441

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 272780 号

- | | |
|-------|--|
| 书 名 | 电磁学教学参考 |
| | DIANCIXUE JIAOXUE CANKAO |
| 著作责任者 | 张之翔 编著 |
| 责任编辑 | 顾卫宇 |
| 标准书号 | ISBN 978-7-301-26527-7 |
| 出版发行 | 北京大学出版社 |
| 地 址 | 北京市海淀区成府路 205 号 100871 |
| 网 址 | http://www.pup.cn |
| 电子信箱 | zpup@pup.pku.edu.cn |
| 电 话 | 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62752021 |
| 印 刷 者 | 北京大学印刷厂 |
| 经 销 者 | 新华书店 |
| | 730 毫米×980 毫米 16 开本 28.5 印张 542 千字 |
| | 2015 年 12 月第 1 版 2015 年 12 月第 1 次印刷 |
| 定 价 | 62.00 元 |

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题, 请与出版部联系, 电话: 010-62756370

序

本书是一本电磁学的教学参考书,是由作者 1988 年出版的《电磁学教学札记》一书增订而成。

本书分为两卷,第一卷是电磁学内容方面的,第二卷是电磁学历史方面的。第一卷是将原来的《电磁学教学札记》的三十六节略加修订后,再增加一些内容,成为五十四节。所增加的内容大部分是近年来发表的有关文章,小部分是根据过去的教学经验,于这两年编写的。第二卷有两部分,第一部分“电磁学历史上的一些重要发现”,是将作者 1991 年出版的《人类是如何认识电的? (电磁学历史上的一些重要发现)》一书的十六节略加修改,再增加一节“相对论的诞生”而成。第二部分《电磁学史实撮要》,是将《电磁学教学札记》的最后一节 (§ 36)“电磁学的一些史实”略加修订而成。

本书的许多内容都是著者的一孔之见,错误和不妥之处,自知不免。诚挚地欢迎读者指教!

王稼军教授热情鼓励本书的编写并大力协助本书的出版,谨此表示深切的谢意。

清华大学物理系郭奕玲教授为本书提供了一些著名科学家的照片,谨此表示感谢。

张之翔
2013 年春
于北大畅春园

原 序 一^①

教学多年的人,常常会感到,教科书由于篇幅所限,只能写公认的基本内容。尽管有的教科书在某些方面多写一些,别的教科书在其他方面多写一些,但总不能把一门学科的所有方面和所有细节都写全。而且,作为教科书来说,也没有必要把什么都写进去。因此,这就需要教师发挥作用。要想把一门课教好,除了熟练地掌握该课程所用教科书的内容外,还要查阅各种有关的参考书和文献,以丰富教学内容和提高教学水平。特别是有些问题,教科书和参考书上都没有讲或很少提到,更需要教师自己去钻研,得出自己的结论来。还有些问题,各种书上是根据不同水平、从不同角度去讲解的,如能取各家之长,从各个角度去看它们,用各种方法去解它们,常常能给人以启发。这些,都是教学内容方面的研究工作,是教学工作中的一个重要环节。

我教过多遍电磁学。在教学研究工作中,开始时,花去不少时间去解决问题,解决完了就算了。这些问题后来再次甚至多次碰到,其中有些记得,有些就忘了。忘了的又得从头作起。深感浪费时间很可惜。于是以后就吸取教训,解决了某个问题,或研究某个问题有心得,就及时记录下来。再碰到它时,只须去翻阅记录,就节省了时间和精力。时间长了,越积越多,这就是教学札记的由来。有时想到,有些问题,别人也会碰到,而且可能解决得比我好。因此,如果把我的工作公诸同行,既可起到交流的作用,也可以得到指教。所以就抄寄给有关刊物,其中有些就发表了。

1982年,高等教育出版社的编辑同志见到我的教学札记,经他们审阅,认为可以整理出版,作为教学参考书。在他们的鼓励下,我便着手整理。但由于教学工作过忙,能花在这上面的时间很少。断断续续地工作了三年,才整理出三十六篇来,编成这本书,取名为《电磁学教学札记》。这三十六篇中,有长有短,有深有浅,每篇作为一节,按内容分为十二个部分,每部分两节至五节不等。其中有九节(篇)曾在刊物上发表过。由于是教学研究工作,不少地方都是个人的见解,而我的学识有限,错误和不妥之处,自知难免,衷心欢迎读

① 《电磁学教学札记》(高等教育出版社,1988年)原书序。

者的指教。

陈秉乾副教授曾帮助看过本书大部分稿子,提出了不少宝贵意见;关洪副教授对电磁学的一些史实部分提过宝贵意见;高等教育出版社的编辑同志曾给予鼓励和帮助,使本书得以出版。谨在此一并向他们表示感谢。

张之翔

1985年9月

于北大畅春园

原 序 二^①

现代生活离不开电,电灯、电话、电视、电梯、电冰箱……,都要用电。现代工农业生产也离不开电,现代科学技术更离不开电。电的应用越来越广泛,电子计算机的应用正渗透到各个领域,便是一个很好的例子。就目前情况来看,电还有很多潜力待我们去开发和利用。另一方面,由物理学的研究得知,我们这个世界基本上是一个电磁结构的世界。这是因为,世上一切物体都是由原子和分子组成的,而原子、分子的结构,便是由原子核的正电荷和核外的负电荷(电子)之间的相互作用形成的。因此,关于物质的结构和性质的问题,包括化学问题和生命问题,究其本质,都是与原子核外电子的结构和运动有关的问题。

对我们人类来说,电是如此地重要和神奇,可它却又是无形的,除了被电击以外,我们既看不见它,也摸不着它。那么,人类是怎样认识电和知道使用电的呢?这确是一个很吸引人的问题。

这里我讲一个故事。我的父亲生于清末光绪年间,小时候上过两年私塾,读的是《百家姓》、《三字经》和《论语》等,以后便一直在家种田。1969年,他70多岁了,我回家看他。闲谈时,他说:“管他什么我都能解窍得通,只有电解窍不通。它能点灯、能唱戏,打开来看,是一包土巴粉。真是莫名其妙!”他说的是他曾打破干电池,想从中找到电能点灯、能唱戏的原因。我虽然在北大教过多年电磁学和电动力学,但我无法用简单的语言直观地向他老人家说明电为什么能点灯、能唱戏。当时我深深地感到,人类从对电完全无知到能制造干电池和晶体管收音机,这其间有多么大的距离啊!这件事给我一个启发,就是人类是怎样一步一步地了解电和应用电的?所以我后来也就注意研究起电磁学的历史了。

知道了一点电磁学的历史后,便懂得人类关于电的知识,是从发现摩擦过的琥珀(或玳瑁)吸引草屑和磁石吸引铁开始,经过两千多年的广泛探索和逐步积累,才达到今天的水平的。历史清楚地告诉我们,由于电是看不见、摸不着的,人类对它的认识,是靠实验一点一点地前进和逐渐深入的,在早期更是如此。对于认识电有贡献的人,在历史文献上可以查到姓名的,从古代到1821

^① 《人类是如何认识电的? (电磁学历史上的一些重要发现)》(科学技术文献出版社,1991年)原书序。

年,约有三千人^①;至于直接或间接有贡献的无名英雄,也许还有很多。因此,我们可以说,关于电的知识是人类集体智慧的结晶。

我们写这本小书的目的,是想向读者简单扼要地介绍电磁学历史上的一些重要发现,勾画一下人类逐步认识电的一个轮廓。我们这样做是因为我们觉得,这些重要发现是人类认识电的一个个里程碑,是我们今天关于电的知识的主要内容。关于这些重要发现的背景和过程,发现者是怎样想的、怎样解决问题、怎样得出新发现的,以及他们的认识和结论如何等等,都是人们很想知道的。而且,其中有些东西,除了历史知识外,还可能给我们一些启发。

我们不是全面地写电磁学的历史,所以关于各种假说和理论的历史,关于各种仪器的发明和改进的历史,关于电在各方面的应用的历史等等,除了与重要发现有关的略作介绍外,一般便都不提了。还有,我们只写到赫兹发现电磁波为止,并不是意味着人类对于电的认识就到此为止。而是我们觉得,经典电磁学一般都在此结束,所以我们也在此结束比较合适。

由于现代的电磁学是在西方发展起来的,在我国很难甚至不可能找到西方的古代文献,因此,除了法拉第、麦克斯韦和赫兹三位的贡献是根据他们的原始著作写出的以外,其他的都是根据二手甚至第三手资料编写的。由于不是第一手资料,我们便不得不参考很多文献,从中摘取我们所需要的材料。正由于不是第一手资料,对其内容,便不敢完全相信,至少不敢相信它们全面地反映了事情的真面目。在这种情况下,为了尽可能接近历史的真实,我们便采取了尽量引用本人的原话的办法。尽管有些话是经过翻译的,有些甚至是转译的,但我们觉得,它们总比第二、第三手资料中的叙述要可靠些。例如,关于伽伐尼的青蛙实验,关于奥斯特发现电流磁效应,在各种资料里有各种说法,我们觉得,还是引用他们自己的说法较好。

对电磁学的发展有过重要贡献的人,他们的贡献与他们的出身、所受的教育和工作、生活的环境等都有密切的关系。所以,对于他们的生平,我们写了较全面的简介,以便读者对他们有所了解。我们觉得,他们也都是活生生的人,他们为人类做出了贡献,应当受到各国人民的尊敬。

周岳明同志对书中有的地方提出过宝贵意见,谨此致谢。

由于我们的知识和水平所限,谬误和不妥之处,自知不免。如蒙读者指教,我们将不胜感谢。

张之翔

1990年春于北大畅春园

^① 参看第二卷第一部分后面所列参考文献[6]的索引。

目 录

第一卷

第一章 静电场	(3)
§ 1.1 静电场中的电场线	(3)
1. 电场线	(3)
2. 静电场中的电场线	(3)
3. 电场线的中断问题	(4)
§ 1.2 两个等量点电荷的电场线方程	(5)
1. 两个等量异种电荷的电场线方程	(5)
2. 两个等量同种电荷的电场线方程	(8)
§ 1.3 偶极线的电场线和等势面	(10)
1. 偶极线的电场线	(10)
2. 偶极线的等势面	(12)
§ 1.4 特殊电场线与导体平面的交点	(14)
1. 用电场线方程求解	(14)
2. 用高斯定理求解	(15)
§ 1.5 两个球对称分布电荷之间的相互作用力	(16)
1. 方法一: 论证	(17)
2. 方法二: 计算	(18)
§ 1.6 面电荷所在处的电场强度	(20)
1. 均匀球面电荷所在处的电场强度	(20)
2. 无穷长均匀圆柱面电荷所在处的电场强度	(23)
3. 均匀平面电荷所在处的电场强度	(25)
4. 一般面电荷所在处的电场强度	(29)
§ 1.7 均匀带电圆环的电场强度	(31)
1. 用库仑定律求均匀带电圆环的电场强度	(31)
2. 三个积分	(33)
3. 电场强度的表达式	(34)
4. 变换到柱坐标系和球坐标系	(35)

§ 1.8 高斯定理的教学	(36)
1. 说明目的和困难	(36)
2. 利用直观形象推导公式	(37)
3. 讲清物理意义	(40)
4. 应用高斯定理时的问题	(41)
§ 1.9 关于电势的零点问题	(41)
1. 电势差和电势	(41)
2. 电势零点	(42)
3. 带电体为无限大时的电势零点问题	(42)
4. 有两个无限大带电体时的电势零点问题	(45)
5. 无限大均匀电场的电势零点问题	(46)
6. 地球的电势问题	(47)
§ 1.10 平面电四极子的电势	(48)
1. 直接计算	(49)
2. 利用电偶极子的电势计算	(50)
3. 按电四极子电势的公式计算	(52)
§ 1.11 一段直线电荷的电势的不同表达式	(53)
1. 电势的表达式	(54)
2. 电势的又一表达式	(55)
3. 证明两种表达式相等	(55)
4. 积分公式问题	(56)
§ 1.12 均匀带电圆环的电势	(57)
1. 直接积分, 结果用全椭圆积分表示	(58)
2. 直接积分, 结果用勒让德多项式表示	(59)
3. 解拉普拉斯方程	(61)
4. 讨论	(62)
§ 1.13 等势面族的条件及例子	(64)
1. 空间曲面族成为等势面族的条件	(64)
2. 两个例子	(65)
3. 椭球面族	(66)
4. 带电导体椭球的等势面族	(68)
§ 1.14 静电场中的导体	(68)
1. 导体的静电平衡条件	(68)
2. 导体的弛豫时间	(68)
3. 由导体的静电平衡条件得出的一些结论	(69)
4. 静电平衡时, 导体上的电荷分布是唯一的	(70)

5. 决定导体上面电荷密度的因素	(73)
6. 导体带电最多时,其表面自由电子过剩或缺少的比例	(73)
7. 导体空腔	(74)
§ 1.15 带电导体椭球的电势和电荷分布	(75)
1. 问题和解法	(76)
2. 椭球坐标系	(76)
3. 求电势	(77)
4. 导体椭球上的面电荷密度	(79)
5. 一些特殊情况	(79)
§ 1.16 带电导体椭球的面电荷密度与主曲率半径的关系	(82)
1. 带电导体椭球的面电荷密度	(82)
2. 椭球面的主曲率半径	(82)
3. 面电荷密度与主曲率半径的关系	(84)
§ 1.17 两条平行导线间的电容	(85)
1. 半径不相等的两条平行长直导线间的电容	(85)
2. 两种特殊情况	(90)
§ 1.18 静电能量的三个公式	(91)
1. 第一个公式	(92)
2. 第二个公式	(93)
3. 第三个公式	(94)
第二章 恒磁场	(96)
§ 2.1 圆环电流的磁感强度	(96)
1. 用笛卡儿坐标系计算 B 的分量	(96)
2. 用柱坐标系和球坐标系表示 B 的分量	(99)
§ 2.2 两共轴载流圆环之间的相互作用力	(100)
§ 2.3 电流之间的相互作用力与牛顿第三定律	(103)
1. 两个电流元之间的相互作用力不遵守牛顿第三定律	(103)
2. 两个闭合回路电流之间的相互作用力遵守牛顿第三定律	(104)
§ 2.4 面电流所在处的磁感强度	(105)
1. 均匀圆柱面电流所在处的磁感强度	(105)
2. 无穷大均匀平面电流所在处的磁感强度	(110)
3. 一般面电流所在处的磁感强度	(113)
4. 小结	(113)
§ 2.5 稳恒电流的矢势	(114)
1. 线电流的矢势	(114)

2. 体电流的矢势	(115)
3. 无限长直线电流的矢势	(115)
4. 两条无限长反平行直线电流的矢势	(116)
5. 圆环电流的矢势	(116)
6. 无限长直载流螺线管的矢势	(119)
§ 2.6 安培环路定理的证明	(125)
§ 2.7 中子星磁场的极限值	(128)
第三章 变化的电场和磁场	(132)
§ 3.1 麦克斯韦的巨著《电磁论》中关于几个基本量的论述	(132)
1. 电位移	(132)
2. 电场强度	(133)
3. 电势	(134)
4. 磁化强度	(134)
5. 磁场强度和磁感强度	(134)
§ 3.2 边值关系的几何意义	(135)
§ 3.3 两个数学问题	(137)
§ 3.4 电磁学中几个简单问题里的椭圆积分	(139)
1. 均匀圆环电荷的电势	(139)
2. 椭圆环电流中心的磁感强度	(140)
3. 圆环电流的矢势	(142)
§ 3.5 电磁场的能流	(143)
1. 电阻消耗的焦耳热等于坡印亭矢量 $\mathbf{S}$ 输送来的能量	(144)
2. 电容器充放电的能量等于坡印亭矢量 $\mathbf{S}$ 输入或输出的能量	(145)
3. 螺线管通电时, 它所储存或放出的能量等于坡印亭矢量 $\mathbf{S}$ 输入或输出的能量	(146)
§ 3.6 同轴电缆的自感问题	(148)
1. 题目	(148)
2. 两种解法	(148)
3. 问题及解答	(149)
4. 内自感	(150)
§ 3.7 螺线管的自感公式	(152)
1. 螺线管自感公式的推导	(152)
2. 粗糙的近似公式	(155)
3. 稍好一些的近似公式	(156)
4. 关于螺线管自感的计算问题	(156)

§ 3.8 两线圈互感系数 $M_{12}=M_{21}$ 的几种证法	(157)
1. 证法一(用磁场能量相等的方法)	(157)
2. 证法二(用二阶偏导数相等的方法)	(158)
3. 证法三(矢势法)	(160)
§ 3.9 两线圈有互感时串并联公式的推导	(161)
1. 串联	(161)
2. 并联	(164)
3. 小结	(168)
§ 3.10 磁单极强度的单位与电磁对称性	(169)
1. 磁单极强度的两种单位	(170)
2. 磁库仑定律	(171)
3. 洛伦兹力公式	(171)
4. 狄拉克的量子化公式	(173)
5. 磁单极强度的单位与电磁对称性	(173)
§ 3.11 电磁场的矢势和标势	(175)
1. 势的存在	(175)
2. 矢势和标势	(176)
3. 规范变换	(176)
4. 用势表示场的能量	(178)
5. 用势表示相互作用能	(179)
6. 推迟势	(180)
7. 四维势矢量	(182)
8. 对矢势 A 的实验检验	(183)
§ 3.12 电磁波在全反射时的相位变化	(185)
1. 反射波的非涅耳公式	(185)
2. 全反射时的相位差	(186)
3. $\delta_{\perp}$ 和 $\delta_{\parallel}$ 的值	(186)
4. 线偏振波经全反射后的偏振状态	(187)
5. 根式的正负号问题	(188)
§ 3.13 平行于理想导体平面的振荡电偶极子的辐射场	(190)
§ 3.14 经典氢原子的寿命	(195)
1. 基态氢原子的能量	(196)
2. 辐射功率	(196)
3. 经典氢原子的寿命	(197)
§ 3.15 用电磁理论说明各向异性晶体的基本光学现象	(198)
1. 理论基础	(198)

2. 单色平面电磁波·····	(199)
3. 光线速度方程·····	(201)
4. 各向异性晶体中的波面·····	(202)
5. 双折射·····	(203)
6. 线偏振·····	(203)
第四章 电路 ·····	(205)
§ 4.1 电荷分布和电流分布的极值定理·····	(205)
1. 电荷分布的极值定理·····	(205)
2. 电流分布的极值定理·····	(208)
§ 4.2 电阻桥路及有关问题·····	(211)
1. 电阻的复联和歧联·····	(211)
2. 电阻桥路和桥路电流·····	(211)
3. 电容桥路和电感桥路·····	(213)
§ 4.3 无穷长梯形电路·····	(214)
1. 半无穷长梯形电路·····	(214)
2. 无穷长梯形电路·····	(216)
3. 半无穷长梯形电路的组合·····	(217)
4. 十字形无穷长梯形电路·····	(219)
5. 半无穷长双梯形电路·····	(219)
§ 4.4 RLC 串联电路方程中各项的正负号·····	(220)
§ 4.5 演示交流电串联共振的实验·····	(222)
§ 4.6 交流电流计的两种接法·····	(223)
第五章 综合类问题 ·····	(226)
§ 5.1 电荷·····	(226)
1. 电荷与质量·····	(226)
2. 电荷与电磁场·····	(226)
3. 电荷本身·····	(227)
§ 5.2 密立根实验·····	(229)
1. 历史背景·····	(229)
2. 密立根油滴实验·····	(230)
§ 5.3 分数电荷问题·····	(231)
§ 5.4 关于库仑定律·····	(232)
1. 库仑的发现·····	(232)
2. 反平方的准确度·····	(233)

3. r 的最小范围	(233)
4. 库仑定律与其他物质无关	(233)
5. 静止电荷之间的作用力遵守牛顿第三定律	(234)
6. 运动电荷之间的相互作用力	(235)
7. 库仑定律与高斯定理	(236)
§ 5.5 带同种电荷的物体也可能互相吸引	(236)
§ 5.6 卢瑟福实验	(238)
1. 历史背景	(238)
2. 实验装置	(239)
3. 原子核的发现	(239)
§ 5.7 库仑定律与热核反应	(243)
1. 轻核聚变的困难所在	(243)
2. 热核反应	(244)
§ 5.8 哈里德等的《物理学》习题中的一个错误	(245)

第二卷

第一部分 电磁学历史上的一些重要发现	(249)
§ 1 我国古代在电磁学方面的成就	(249)
§ 2 电磁学在西方的萌芽	(252)
1. 古希腊人的发现	(252)
2. 西方文字中“电”和“磁”两词的来源	(253)
3. 一千多年的停滞	(254)
4. 磁学上的一些发现被埋没了近三百年	(255)
5. 文艺复兴时期的一些新发现	(257)
§ 3 磁学的诞生	(258)
§ 4 卡比奥的贡献	(262)
§ 5 摩擦起电机的诞生和改进	(264)
1. 古里克发明摩擦起电机	(265)
2. 牛顿和豪克斯比的改进和实验	(266)
3. 以后的改进	(267)
4. 摩擦起电机的影响	(268)
§ 6 格雷发现电的传导	(268)
§ 7 迪费发现电有两种	(271)
§ 8 莱顿瓶的出现及其影响	(273)
1. 穆欣布罗克的发现	(273)

2. 关于克莱斯特和肯挠斯	(275)
3. 沃森的贡献	(275)
4. 莱顿瓶对电学发展的影响	(276)
§ 9 富兰克林的贡献	(276)
1. 富兰克林生平简介	(276)
2. 富兰克林开始研究电学时的情况	(277)
3. 关于电荷守恒的实验	(278)
4. 著名的风筝实验	(279)
5. 发明避雷针	(281)
§ 10 库仑用实验确立平方反比定律	(282)
1. 库仑生平简介	(282)
2. 库仑的七篇电磁学论文	(283)
3. 扭秤的发明	(284)
4. 平方反比定律的确立	(285)
5. 库仑定律的前后	(286)
§ 11 从伽伐尼的发现到伏打电池	(287)
1. 伽伐尼的发现	(287)
2. 伽伐尼电	(288)
3. 伏打的早期电学研究成果	(289)
4. 伏打发明电池	(291)
5. 电池的出现开辟了电磁学历史的新时代	(294)
6. 电池的改进	(295)
§ 12 电流磁效应的发现及其影响	(296)
1. 奥斯特生平简介	(296)
2. 电流磁效应的发现	(297)
3. 安培对电磁学的贡献	(299)
4. 安培生平简介	(301)
5. 毕奥-萨伐尔定律	(302)
§ 13 欧姆定律的发现	(304)
1. 欧姆生平简介	(304)
2. 欧姆定律的建立	(306)
3. 基尔霍夫定律	(309)
§ 14 法拉第对电磁学的伟大贡献	(309)
1. 法拉第生平简介	(309)
2. 发现电磁感应定律	(311)
3. 提出场的概念	(315)

4. 法拉第对电磁学的其他重要贡献	(317)
§ 15 麦克斯韦集电磁学之大成	(322)
1. 麦克斯韦生平简介	(322)
2. 历史背景	(323)
3. 用数学语言表示法拉第的物理思想	(324)
4. 提出位移电流和光是电磁波	(325)
5. 建立电磁场理论	(328)
6. 巨著《电磁论》	(333)
§ 16 电磁波的发现	(334)
1. 赫兹生平简介	(334)
2. 电磁波的发现	(335)
§ 17 相对论的诞生	(344)
1. 爱因斯坦生平简介	(344)
2. 创立狭义相对论的论文	(345)
3. 引言部分	(346)
4. 关于光速不变原理	(347)
5. 运动学部分	(348)
6. 电动力学部分	(354)
7. 质能关系式 $E=mc^2$ 的发现	(362)
第二部分 电磁学史实撮要	(366)
1. 我国古代关于电和磁的知识	(366)
2. 古希腊关于电和磁的知识	(367)
3. 1269 发现磁石有两极	(368)
4. 1600 吉伯对电学和磁学的贡献	(368)
5. 1646 英文里 electricity 一词的出现	(369)
6. 1663 摩擦起电机的出现	(369)
7. 1709 人工产生电火花	(369)
8. 1729 发现电的传导	(369)
9. 1733 迪费发现电有两种	(370)
10. 1736 导体一词的出现	(370)
11. 1744 气体中放电	(370)
12. 1745 莱顿瓶的出现	(370)
13. 1745—1749 诺勒的出流和入流说	(371)
14. 1746 电以太假说	(371)
15. 1747—1748 电传导的速度	(371)