

高等学校交流讲义

电 磁 学

冯 郁

江西师范学院物理系

PDG

高等学校交流讲义

电 磁 学

冯 郁

前 言

本书是由我系几次使用过的讲义修改而成的，内容符合部颁的教学大纲的精神，可供约90课时讲授使用。

本书在分析有关实验现象的基础上阐述基本概念，对于电场和磁场，注意分析它所遵循的环流定理、高斯定理等。特别重视了环流定理。例如，在静电场中根据场的观点讨论了环流定理的物理意义，以及运用它分析问题的方法，提出了稳定电场的环流定理、稳定电流场的环流定理、高斯定理，由此得到基尔霍夫第一、第二定律，从而使场与路有机地联系起来了。由于在各章中有了这种准备，就比较容易理解及运用麦克斯威方程组的积分形式了。

笔者认为，观察与分析实验现象的工作应该受到重视，所以希望同学有更多的时间进实验室。做习题也是需要的，但是，不要在这方面花费过多的时间。

由于半导体日益发展，因此还注意了半导体中有关的基本知识。

在教学过程中，喻一、刘学仁、丁贤盛、罗开基等同志对本书提出了宝贵的意见，在付印过程中，钟采池同志对本书也提出了不少宝贵的意见，并提供了大量的帮助；夏忠义同志绘制了全部插图，谨此表示感谢。

由于编者水平有限，书中缺点错误是难免的，希望同志

们提出宝贵意见，以利于今后改进。

编者 1983. 5.

目 录

第一章 静 电 场

§ 1 基本静电现象	(1)
一、摩擦起电	(1)
二、正负电荷及其相互作用	(2)
三、物体的电磁结构	(4)
四、库仑定律	(6)
§ 2 电 场	(10)
一、实验现象	(10)
二、电场强度	(12)
三、电力线, 电通量	(19)
§ 3 高斯定理	(21)
§ 4 环流定理	(30)
一、环流定理	(30)
二、电势差	(33)
三、电势	(34)
四、等势面	(38)
五、电势和场强的关系	(39)
六、在势场中另一电荷的势能	(42)

§ 5 静电场中的导体	(46)
一、孤立的带电导体	(46)
二、静电感应	(47)
三、静电屏蔽	(50)
四、尖端放电	(51)
五、避雷针	(52)
六、带电导体表面上所受到的张力	(53)
§ 6 电容器	(55)
一、孤立导体的电容	(55)
二、电容器	(56)
三、电容器的串联并联	(57)
四、电容器中的能量	(61)
§ 7 电介质中的电场	(62)
一、有极分子、无极分子	(63)
二、均匀电介质的极化面电荷密度	(64)
三、非均匀电介质中的极化电荷体密度	(65)
四、介质中的场强	(68)
§ 8 半导体的 P-N 结	(75)
习 题	(79)

第二章 稳定电场与电路

§ 1 电 流	(85)
------------------	--------

一、电流的形成	(85)
二、电流强度	(87)
三、电流密度	(88)
四、电流密度 $\vec{j}$ 的高斯定理	(90)
五、电流的效应	(91)
§ 2 均匀电路的欧姆定律	(92)
一、欧姆定律的微分形式	(92)
二、电阻的温度效应	(95)
三、等效电阻	(96)
四、线性电阻与非线性电阻	(100)
五、超导性	(105)
§ 3 焦耳定律	(106)
§ 4 电源的电动势	(112)
一、溶解过程中的电现象	(112)
二、电动势	(116)
三、干电池	(121)
四、蓄电池	(122)
五、其他电源	(125)
六、一段非均匀电路的欧姆定律	(129)
七、稳定电场及稳定电流场的环流定理	(131)
§ 5 I、R、U、ε 的测量	(132)
一、测量电流强度 I	(133)
二、测量电压 U	(134)
三、测量电阻 R	(136)

§ 6	惠斯登电桥——精确测量电阻的方法	(139)
	一、关于实验的安全性问题	(140)
	二、关于实验的准确性问题	(143)
§ 7	电位计	(143)
	一、精确测定 R_x 两端的电位差	(145)
	二、校准伏特计	(145)
	三、精确测定电阻 R_x	(145)
	四、校准安培计	(146)
§ 8	复杂电路的解法	(146)
	一、复杂电路的求解	(147)
	二、等效电源定理	(149)
§ 9	微弱电流的放大及开关自动化	(151)
	一、三极管的放大作用	(151)
	二、三极管的开关作用	(156)
§ 10	电解质和气体的导电机构	(159)
	一、电解质的导电机构	(159)
	二、法拉第电解定律	(161)
*	三、气体的导电机构	(164)
	习 题	(167)

第三章 稳 定 磁 场

(一)	磁场的基本规律	(177)
-----	---------------	-------

§ 1	磁现象及磁场	(177)
一、	电流的磁现象	(177)
二、	探测线圈	(180)
三、	磁感应强度	(182)
§ 2	毕—沙—拉普拉斯定理	(183)
§ 3	磁场的高斯定理	(189)
一、	磁感应线及磁感应通量	(189)
二、	高斯定理	(191)
§ 4	磁场的环流定理	(194)
(二)	磁场对运动电荷的作用	(204)
§ 5	磁场对电流的作用力	(204)
一、	两平行通电导线的相互作用力	(205)
二、	平面矩形线圈在磁场 (B 与圈面法线垂直) 中所受到的磁场力	(206)
三、	磁场的方向问题	(207)
四、	导线中的自由电子相对磁场运动时所受到 的力	(208)
五、	霍尔效应	(209)
六、	磁电式仪表	(211)
七、	电动式仪表	(213)
§ 6	带电粒子在电场磁场中的运动	(214)
一、	在均匀电场中的运动	(215)
二、	在均匀磁场中的运动	(216)
三、	电子的荷质比	(218)

四、回旋加速器	(219)
五、电透镜	(221)
*六、磁透镜	(222)
*七、磁水及其应用	(225)
 (三) 磁介质	(227)
 § 7 磁介质	(227)
§ 8 铁磁介质	(239)
一、铁磁质的磁化过程	(240)
二、磁滞回线	(242)
三、居里温度	(243)
四、磁性材料	(244)
五、铁氧体	(245)
六、永久磁铁	(246)
 § 9 磁路定理	(248)
一、磁路	(248)
二、磁路的基尔霍夫定律	(249)
三、磁路的欧姆定律	(253)
 § 10 地球磁场	(255)
一、地磁三要素	(255)
二、地球磁场起因学说	(256)
三、地磁的变化	(256)
习 题	(257)

第四章 电磁感应

§ 1 磁场变化时的电效应	(262)
一、实验现象	(262)
二、感生电流的方向	(265)
§ 2 法拉第电磁感应定律	(266)
一、感生电场的涡旋性	(270)
二、在磁场中旋转的线圈中的动生电动势	(273)
三、电子感应加速器	(274)
四、导线切割磁感线时所产生的电动势	(276)
五、导线切割非均匀磁场时产生的现象	(279)
六、磁流体发电	(281)
§ 3 自感	(282)
一、自感现象	(282)
二、自感系数	(283)
三、 RL 电路接通时电流的增长规律	(285)
四、 RL 电路中电流的衰减	(289)
五、磁场的能量及磁能密度	(293)
§ 4 电磁铁	(295)
一、电磁铁吸力的基本公式	(296)
二、交流电磁铁吸力的计算	(297)
§ 5 互感	(299)

一、互感现象及互感系数	(299)
二、互感与自感之间的关系	(302)
三、有互感时的磁场能量	(307)
四、自感与互感现象的应用	(308)
§ 6 利用冲击电流计测量磁场	(312)
一、冲击电流计	(313)
二、测定磁场	(314)
§ 7 电场变化时的磁效应	(315)
一、位移电流	(316)
二、电磁运动的基本规律	(320)
§ 8 缓变场中的电容器	(320)
一、电容器的充电与放电	(320)
二、硅整流元件的过电压保护	(325)
习题	(327)

第五章 缓变电磁场与交流电路

§ 1 正弦缓变电动势、电流等量的基本特征	(331)
一、正弦波的三要素	(331)
二、交变电流的极大值、有效值、平均值	(337)
§ 2 两个以上正弦量组合的计算方法	(341)
一、三角函数法	(341)

二、旋转矢量表示法	(343)
三、复数表示法	(344)
§ 3 分别具有电阻、电容、电感的交流电路	(348)
一、电阻电路	(348)
二、电容电路	(351)
三、电感电路	(355)
§ 4 RLC串联电路	(359)
一、RL 串联电路	(359)
二、RC 串联电路	(362)
三、RLC 串联电路	(363)
四、功率关系	(365)
五、串联谐振	(367)
§ 5 交流电路的基尔霍夫定律、并联谐振	(372)
一、基尔霍夫定律	(372)
二、复阻抗与复导纳的计算	(374)
三、并联谐振	(378)
四、提高功率因数	(380)
§ 6 交流电桥	(382)
一、交流电桥的平衡条件	(382)
二、测电容电桥	(384)
三、测自感电桥	(386)
四、测频率电桥	(387)
§ 7 交流电功率的测量	(388)

§ 8 单相交流电的整流	(391)
一、半波电阻负载整流电路	(391)
二、全波电阻负载整流电路	(394)
三、桥式电阻负载整流电路	(395)
四、半波电阻负载可控整流	(397)
习 题	(401)

第六章 电磁场的波动性与粒子性

§ 1 电磁场的波动性——电磁波	(405)
一、真空中的电磁场方程组	(405)
二、平面电磁波的传播	(406)
三、能流	(407)
四、电磁波的压力、电磁场的动量和质量	(409)
§ 2 电磁场的粒子性——光子，光子与正、负电 子的相互转化	(412)
一、光子	(412)
二、光子与正、负电子的相互转化	(413)

第一章 静 电 场

§ 1 基本静电现象

一、摩擦起电

公元前七世纪，希腊工人就发现过摩擦带电的现象，我国劳动人民也早已发现过摩擦带电的事实。到东汉时，王充在他的著作《论衡》中，就有“顿牟拾芥”的记载，它是指琥珀被摩擦后能吸引轻小物体的现象。这就是摩擦起电的现象。

当气候干燥时，用塑料梳子梳头发，或者用手擦塑料薄膜都能观察到摩擦起电的现象。把质量为 M 的塑料梳子放在很小的纸屑附近，如果某纸屑的质量为 m ，那么它们之间必定存在万有引力：

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

由于此引力比该纸屑的重量小得多，因此根本看不到相互吸引的动作。

当我们用干燥手指摩擦塑料梳子之后，虽然梳子及纸屑的质量并无变化，但是却发现梳子能轻易地吸起大量的纸屑。上述事实表明，必定存在着一种新的相互作用。它比万有引力的相互作用强得多。我们称这种相互作用力为电作用力，一般地称它为电作用。

由于摩擦的过程只是作了机械功，并没有引起塑料梳发

生化学变化，由此可见，塑料梳包含有容易显现电作用的内在因素，摩擦只是使电作用显现出来的一种手段而已。我们知道，质量是物体的一种属性，它们之间能产生万有引力的作用。在这个结果的启示下，我们认为物体中一定存在着一种能引起电作用的属性，并称物体的这种属性为电荷。从这个意义上说，电荷和质量是对应的。

二、正、负电荷及其相互作用

一个物体能够显示电作用称为带了电，而使该物体带电的动作过程称为起电。

为了进一步研究电作用力，我们把被毛皮摩擦过而带了电的胶木棒分别和二用丝线悬着的通草球 A 、 A' 相接触，它们立即改变了不显示相互作用的状态，出现了不是吸引而是互相排斥的现象(如图1—1—1 a)。这也表明通草球带了电，或者说有了电荷。此外，由于万有引力只有吸引作用，而电作用则除了出现吸引现象外，还可以出现排斥现象。由此可见，电力比万有引力包含有更丰富的内容。

当我们用丝绢摩擦玻璃棒时，也可以使玻

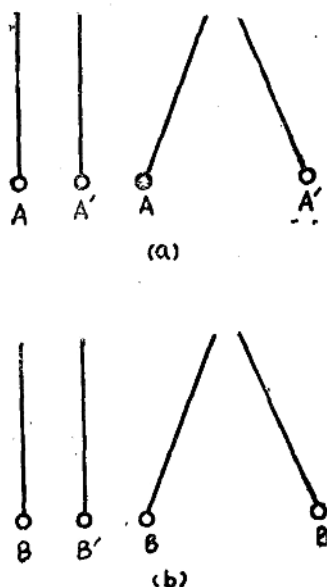


图 1—1—1

璃棒带电。如果把玻璃棒上的电荷传到另外两个通草球 B 、 B' 上,也会出现互相排斥的现象。(如图1—1—1b)。

但是当通草球 A 和 B 靠近时,它们不是互相排斥,而是互相吸引。

(如图1—1—1c) 这表明通草球 A 、 B 上的电

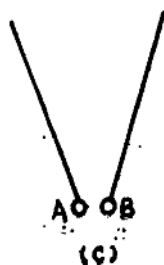


图 1—1—1

荷,或者说被摩擦过的胶木棒及玻璃棒上所显示出来的电荷是两种不相同的电荷。大量的实验证明了,电荷只有两种,即正电荷、负电荷。并把被丝绸摩擦过的玻璃棒上所带的电荷称为正电荷;被毛皮摩擦过的胶木棒上所带的电荷称为负电荷。

由于电荷是眼睛看不到的,为了精确地观察物体上是否带电,必须用仪器进行检验,通常使用的是验电器。它的构造如图1—1—2。 A 为玻璃瓶, B 为涂了蜡的塞子, C 为带球端的金属杆, D_1 、 D_2 为和杆相连的两片金箔。当带电的棒和金属球 C 接触时,电荷能沿金属棒传至箔片 D_1 、 D_2 。由于同号电荷的排斥作用,使得箔片张开。所以,只要看到箔片张开了,就证明棒上带了电。这时,如果用手指在小球 C 上触一下, D_1 、 D_2 马上就会

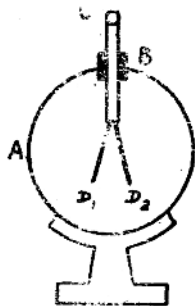


图 1—1—2