

报考研究生复习丛书

YAN

顾梅玲 主编

JIU

SHENG

大学物理复习纲要

下 册

中国展望出版社

大学物理复习纲要

(下 册)



顾德玲 主编

中国展望出版社

一九八五年十二月·北京

编辑说明

《报考研究生复习丛书》是为了帮助广大青年复习有关课程，应考硕士研究生，约请有丰富教学经验的教师，根据部颁教学大纲和报考研究生的要求而编写的。力求使同学们通过学习，进一步掌握基本原理，明确基本概念，提高分析问题和解决问题的能力。本丛书可作为在校学生和社会青年的辅导读物，也可供有关教师和工程技术人员参考。

本丛书包括：《大学政治理论课纲要》、《大学英语复习指导》、《高等数学复习纲要》、《大学物理复习纲要》、《物理化学复习纲要》、《化工原理复习纲要》、《理论力学复习纲要》、《材料力学复习纲要》、《结构力学复习纲要》、《自动控制理论复习纲要》、《电工基础复习纲要》。

全套丛书由宋 权、席庆义主编。

大学物理复习纲要(上、下册)

顾梅玲 主编

中国地质出版社出版

(北京西城区太平桥大街4号)

合肥市杏花印刷厂印刷

北京新华书店发行

开本 787×1092毫米1/32 18.125印张

423千字 1986年1月 北京第1版

1986年1月第1次印刷 1—10,000册

统一书号:7271·091 定价:3.50元

目 录

第九章 恒稳电流的磁场..... (1)

一 目的要求..... (1)

二 基本概念和基本规律..... (1)

1.磁感应强度 (1), 2.磁场中的高斯定理 (2), 3.毕奥-萨伐尔-拉普拉斯定律 (2), 4.运动电荷的磁场 (5), 5.安培环路定律 (5), 6.安培定律 (6), 7.磁场对流载流线圈的作用 (6), 8.带电粒子在电磁场中运动 (8), 9.磁介质 (8)。

三 解题示例..... (12)

习 题..... (37)

第十章 电磁感应..... (43)

一 目的要求..... (43)

二 基本概念和基本规律..... (43)

1.电磁感应定律 (43), 2.动生电动势和感生电动势 (44), 3.互感和自感 (46), 4.暂态过程 (50), 5.磁路定律 (53)。

三 解题示例..... (53)

习 题..... (76)

第十一章 交流电 电磁波..... (84)

一 目的要求..... (84)

二 基本概念和基本规律..... (84)

	1.交流电概述(84), 2.矢量图解法(86),	
	3.复数解法(88), 4.交流电功率(90),	
	5.谐振电路与 Q 值(90), 6.麦克斯韦电磁	
	理论(92), 7.电磁振荡(94), 8.平面电	
	磁波。(95)	
三	解题示例.....	(96)
	习 题.....	(112)
第十二章	几何光学	(118)
一	目的要求.....	(118)
二	基本概念和基本规律.....	(118)
	1.光在平面界面上的反射和折射(118), 2.	
	几何光学的符号法则(118), 3.光在单球面	
	上的反射和折射物象公式(119), 4.薄透镜	
	的物象公式(120), 5.理想光具组的基点和	
	基面(121), 6.空气中的薄透镜组(123),	
	7.近轴光线的作图求象法(125), 8.薄透镜	
	的横向象放大率(127)。	
三	解题示例.....	(128)
	习 题.....	(133)
第十三章	波动光学	(136)
一	目的要求.....	(136)
二	基本概念和基本规律.....	(136)
	1.光的干涉现象及相干条件 双光束干涉的	
	特征(136), 2.薄膜干涉(等倾和等厚干	
	涉)(137), 3.惠更斯-菲涅耳原理 单缝	
	衍射(140), 4.平面衍射光栅(144), 5.伦	

琴射线的衍射(145), 6. 偏振光及其获得
(145), 7. 四分之一波片 圆偏振光 椭圆
偏振光(147)。

三	解题示例	(149)
	习 题	(163)

第十四章 电磁辐射量子理论及实物波 (166)

一	目的要求	(166)
二	基本概念和基本规律	(166)
	1. 光的粒子性(166), 2. 物质波(172), 3. 测不准原理(175)。	
三	解题示例	(176)
	习 题	(189)

第十五章 狭义相对论基础 (193)

一	目的要求	(193)
二	基本概念和基本规律	(193)
	1. 狭义相对论的基本假设(193), 2. 狭义相 对论的空时观(193), 3. 同时性的相对性 (195), 4. 运动物体长度的收缩(195), 5. 时间间 隔的膨胀(196), 6. 狭义相对论的速度换式 (197), 7. 狭义相对论中的质量、能量和动量 (197), 8. 相对论性多卜勒效应(199)。	
三	解题示例	(200)
	习 题	(214)

第十六章 原子物理 (218)

一	目的要求	(218)
---	------	-------

二	基本概念和基本规律.....	(218)
	1.氢原子光谱规律及其理论解释(218),2.光谱的精细结构和电子的自旋(220),3.史特恩—盖拉赫实验和电子的自旋(222),4.多电子原子的光谱和能级结构(223),5.两个价电子的原子态(224),6.磁场中的原子塞曼效应(229),7.泡利原理 原子的壳层结构(231),8.简单分子的能级和光谱(232)。	
三	解题示例.....	(234)
	习 题.....	(252)
第十七章	原子核.....	(255)
一	目的要求.....	(255)
二	基本概念和基本规律.....	(255)
	1.原子核的基本性质(255),2.原子核衰变(256),3.原子核反应(257)。	
三	解题示例.....	(259)
	习 题.....	(266)
附 录	习题答案.....	(267)

第九章 恒稳电流的磁场

一、目的与要求

1. 正确理解磁感应强度的物理意义。掌握反映磁场性质的磁场中的高斯定理、安培环路定理及其应用。

2. 学会应用毕奥-萨伐尔-拉普拉斯定律求任意载流导线所产生的磁场及运动电荷所产生的磁场。应用安培定律计算磁场对载流导线的作用力或载流线圈所受的磁力矩。

3. 掌握带电粒子在电磁场中的运动规律。

4. 了解磁介质的磁化，明确 $\vec{B}$ 、 $\vec{H}$ 、 $\vec{M}$ 三者之间的关系。

二、基本概念和基本规律

1. 磁感应强度

磁感应强度是描述磁场强弱和方向的物理量。磁场中各点磁感应强度一般说来是不相同的。可根据磁场对载流线圈的作用（亦可根据运动电荷或载流导线在磁场中所受到的磁力）来确定。

实验指出，载流线圈（称试验线圈）在磁场中因受到磁力矩的作用而使线圈转到平衡位置，这时线圈的正法线 $\vec{n}$ 的方向就规定为线圈所在处的磁场方向，如图9—1（a）所示。

实验指出，在磁场中给定点处，试验线圈所受到的最大磁力矩[如图9—1（b）] $M_{\text{最大}}$ 与试验线圈的磁矩 P_m 的比值 $\frac{M_{\text{最大}}}{P_m}$ 有确定的量值，且仅与线圈所在位置有关。在磁场中不

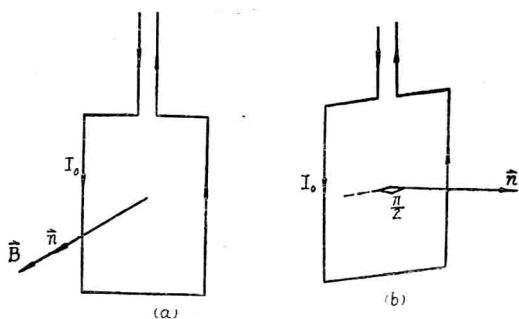


图 9—1

同点处，比值 $\frac{M_{\text{最大}}}{P_m}$ 有不同的量值。因而，我们可用单位磁矩的试验线圈在磁场中各点所受到的最大磁力矩作为描述磁场性质的物理量，称为磁感应强度，用 B 来表示，即

$$B = \frac{M_{\text{最大}}}{P_m} \quad (1)$$

在国际单位制中，磁感应强度的单位为特斯拉，有时也用高斯，且 $1 \text{ 特斯拉} = 10^4 \text{ 高斯}$ 。

2. 磁场中的高斯定理

在磁场中，通过任意封闭曲面的磁通量必等于零，即

$$\oint_s B \cos \theta \, dS = \oint_s \vec{B} \cdot \vec{dS} = 0 \quad (2)$$

它说明任何磁场中，每一条磁感应线都是环绕电流的无头无尾的闭合线。这与自然界中 N 、 S 磁极不能被分离的事实相联系的。由于磁感应线无头无尾，所以磁场是涡旋场。式 (2) 是表明磁场性质的重要定理。

3. 毕奥-萨伐尔-拉普拉斯定律

设在载流导线上沿电流方向取线元 $\vec{dl}$ ，其中通过的电流强

度为 I ，我们称 $I d\vec{l}$ 为电流元，如图 9—2 (a) 所示，电流元的方向即线元的方向。

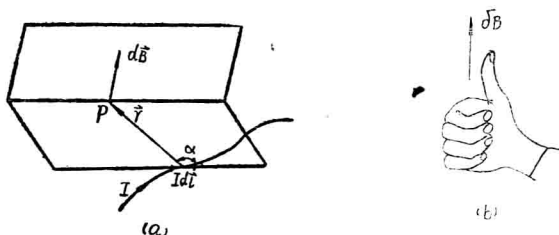


图 9—2

电流元 $I d\vec{l}$ 在真空中给定点 P 所产生的磁感应强度 $d\vec{B}$ 大小和电流强度 I 、线元的长度 dl 以及线元和由线元到 P 点的矢径 $\vec{r}$ 的夹角 α [如图 9—2 (a)] 的正弦都成正比，而和由线元到 P 点的距离 r 的平方成反比，即

$$dB = k \frac{I dl \sin \alpha}{r^2}$$

k 为比例常数，在国际单位制中 $k = \frac{\mu_0}{4\pi}$ ， μ_0 称为真空中的磁导率，数值为 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ 特斯拉米/安培 = $4\pi \times 10^{-7}$ 亨利/米。因此上式变为

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dl \sin \alpha}{r^2} \quad (3)$$

$d\vec{B}$ 的方向垂直于 $I d\vec{l}$ 与 $\vec{r}$ 组成的平面，指向为由 $I d\vec{l}$ 经 α ($\alpha < \pi$) 角转向 $\vec{r}$ 时的右手螺旋前进的方向，如图 [9—2 (b)] 所示。

$$\text{矢量式为} \quad \vec{dB} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} \quad (4)$$

实验证明，磁感应强度服从叠加原理。某一给定的电流分布在空间某点所产生的磁感应强度等于组成这电流分布的各电流元分别地在同一点上所产生的磁感应强度的矢量和，即

$$\vec{B} = \int \vec{dB} = \int \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} \quad (5)$$

由于 $\vec{dB}$ 是矢量，因此积分时必须注意方向。如果各电流元在给定点产生的 $\vec{dB}$ 方向都不相同时，可将 $\vec{dB}$ 取它在各坐标轴上的分量，然后分别求它的积分，即

$$B_x = \int dB_x \quad B_y = \int dB_y \quad B_z = \int dB_z$$

应用式 (5) 原则上可计算出各种形状的载流导线所产生的磁场。

载流直导线的磁场为

$$B = \frac{I\mu_0}{2\pi a} (\sin\beta_2 - \sin\beta_1) \quad (6)$$

式中 a 为 P 点到导线的垂直距离， β_1 表示从垂线转向电流的起点的角， β_2 表示从垂线转向电流终点的角。

“无限长”载流直导线的磁场为

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \quad (7)$$

式中 a 为 P 点到导线的垂直距离，

载流圆线圈轴线上的磁场为

$$B = \frac{\mu_0 I a^2}{2(a^2 + x^2)^{3/2}} \quad (8)$$

式中 a 为圆线圈的半径

载流圆线圈的圆心处的磁场为

$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{2a} \quad (9)$$

式中 a 为圆线圈的半径

4. 运动电荷的磁场

按古典电子理论，导体中的电流就是大量带电粒子的定向运动。由此可知，电流产生磁场的本质就是由于带电粒子的运动，因此可得每一个以速度 $\vec{v}$ 运动的电荷所产生的磁感应强度 $\vec{B}$ 的大小为。

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q v \sin(\angle \vec{v} \vec{r})}{r^2} \quad (10)$$

$\vec{B}$ 的方向垂直于 $\vec{v}$ 和 $\vec{r}$ 所组成的平面。如果运动电荷是正电荷， $\vec{B}$ 的指向可由右手螺旋法则确定〔如图 9—3(a)〕。如果运动电荷是负电荷， $\vec{B}$ 的指向与上述相反〔如图 9—3(b)〕。

用矢量式来表示，
运动电荷所产生的磁感应强度 $\vec{B}$ 为

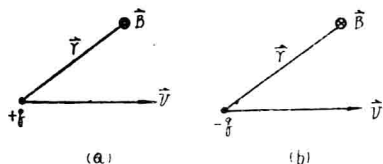


图 9—3

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q \vec{v} \times \vec{r}}{r^3} \quad (11)$$

5. 安培环路定律

在磁场中，沿任何闭合曲线的 $\vec{B}$ 矢量的线积分（也称 $\vec{B}$ 矢量的环流）等于真空中磁导率 μ_0 乘以包围在这闭合曲线内各电流的代数和，即

$$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum_{i=1}^n I_i \quad (12)$$

电流的正负与积分时在闭合路径上所取的回转方向有关，由右手螺旋法则定。若螺旋的旋转方向与积分的回转方向相一致，则和螺旋前进方向相同的电流为正，相反的负。

6. 安培定律

位于磁场中某点的电流元 $I d\vec{l}$ 要受到磁场的作用力（称为安培力） $d\vec{F}$ ， $d\vec{F}$ 的大小和电流元所在处的磁感应强度 $\vec{B}$ 的大小，电流元的电流强度 I ，线元的长度 dl 以及线元 $d\vec{l}$ 的方向和磁感应强度 $\vec{B}$ 的方向之间的夹角 $(\vec{dl}, \vec{B})$ 的正弦均成正比，在国际单位制中可表示为

$$dF = B I dl \sin(\vec{dl}, \vec{B}) \quad (13)$$

$d\vec{F}$ 的方向垂直于 $I d\vec{l}$ 和 $\vec{B}$ 所组成的平面，指向可由右手螺旋法则确定。矢量表示式为

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B} \quad (14)$$

一载流导线所受的安培力等于作用在各个电流元上的安培力的矢量和，即

$$\vec{F} = \int d\vec{F} = \int I d\vec{l} \times \vec{B} \quad (15)$$

如果载流导线上各个电流元所受的安培力 $d\vec{F}$ 的大小和方向都不相同时，可把 $d\vec{F}$ 分解为 dF_x 、 dF_y 、 dF_z 三个分量，然后再分别求积分。

7. 磁场对载流线圈的作用

设在磁感应强度为 $\vec{B}$ 的匀强磁场中，有一刚性的长方形平

面线圈，边长分别为 L_1 和 L_2 ，电流为 I （如图9—4）。设线圈平面的正法线 $\vec{n}$ 的方向和磁场方向的夹角为 φ ，如果线圈有 N 匝，则线圈所受的力矩为

$$M = NBIL_1L_2\sin\varphi = P_m B\sin\varphi \quad (16)$$

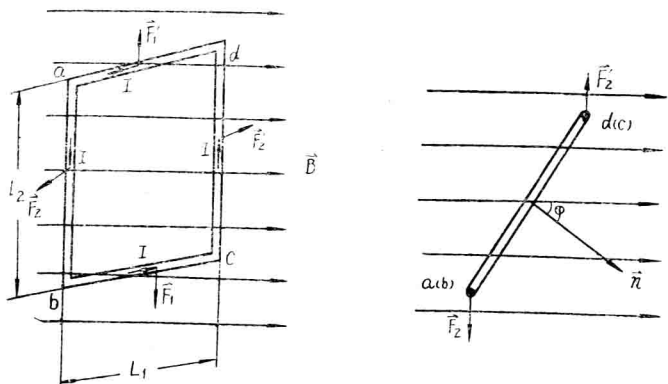


图 9—4

$P_m = NIL_1L_2 = NIS$ 是线圈的磁矩，是矢量，磁矩的方向就是载流线圈平面法线 $\vec{n}$ 的正方向。所以式（16）也可写成矢量式

$$\vec{M} = \vec{P}_m \times \vec{B} \quad (17)$$

式（16）和式（17）不仅对长方形线圈成立；对于在匀强磁场中任意形状的平面线圈也同样成立。

平面载流线圈在匀强磁场中任意位置上所受的合力均为零，仅受力矩的作用。因此在匀强磁场中的平面载流线圈只发生转动，不发生整个线圈的平动。

如果平面载流线圈处在非均匀磁场中，由于线圈上各个电流元所在处的 $d\vec{B}$ ，在量值上和方向上都不相同，各个电流元所受的作用力的大小和方向，一般也都不可能相同，因此合力

和合力矩一般也不等于零，所以线圈除转动外还要发生平动。

8. 带电粒子在电磁场中运动

设质量为 m 、电量为 q 的带电粒子以速度 $\vec{v}$ 运动着，若只有电场 $\vec{E}$ 存在时，它受到的电场力为

$$\vec{f}_e = q \vec{E}$$

若只有磁场 $\vec{B}$ 存在时，它受到的洛伦兹力为

$$\vec{f}_m = q \vec{v} \times \vec{B}$$

若电场和磁场同时都存在时，则带电粒子受到的电磁力为

$$\vec{f} = \vec{f}_e + \vec{f}_m = q (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (18)$$

此式称为洛伦兹公式。按牛顿第二定律，带电粒子的运动方程为

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = q (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

在直角坐标系中，上述矢量式的分量式为

$$\left. \begin{aligned} m \frac{dv_x}{dt} &= qE_x + q(v_y B_z - v_z B_y) \\ m \frac{dv_y}{dt} &= qE_y + q(v_z B_x - v_x B_z) \\ m \frac{dv_z}{dt} &= qE_z + q(v_x B_y - v_y B_x) \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

9. 磁介质

(1) 分子磁矩

根据物质电结构学说，任何物质（实物）都是由分子、原子组成的。而分子或原子中任何一个电子都同时环绕原子核运

动和电子本身的自旋，这两种运动都能产生磁效应。把分子或原子看作一个整体，分子或原子中各个电子对外界所产生的磁效应的总和，可用一个等效的圆电流表示，称为分子电流。这种分子电流具有一定的磁矩，称为分子磁矩，用 $\vec{P}_m$ 表示。

在外磁场 $\vec{B}_0$ 中，分子或原子中的每一个电子都受到洛伦兹力的作用，这时每个电子除了保持环绕原子核运动和电子本身自旋外，还要以外磁场方向为轴线的进动。电子的进动也相当于一个圆电流，因电子带负电，这种等效圆电流的磁矩的方向永远与 $\vec{B}_0$ 的方向相反。这是导致磁介质产生抗磁性的内因，也是一切磁介质所共有的性质。分子中各个电子因进动而产生的磁效应的总和，也可以用一个等效的分子电流的磁矩来表示，称为附加磁矩，用 $\Delta \vec{P}_m$ 表示。

(2) 顺磁质的磁化

在顺磁质中，每个分子的分子磁矩有一定的量值，在外磁场 $\vec{B}_0$ 的作用下，分子磁矩 $\vec{P}_m$ 的大小不变，电子的进动虽然存在，由于 $P_m \gg \Delta P_m$ ，所以 ΔP_m 可以略去。此时外磁场 $\vec{B}_0$ 使 $\vec{P}_m$ 绕外磁场方向作进动，由于分子之间的相互作用和分子的热运动，分子磁矩的取向是不可能完全一致的，但分子磁矩的排列较没有外磁场时为整齐。磁场愈强，温度愈低，排列也愈整齐，磁介质被磁化的程度也愈高。如果在磁体内取一体积元 ΔV ，这体积元内各分子磁矩的矢量和 $\Sigma \vec{P}_m$ 将有一定的量值。单位体积内的分子磁矩称为磁化强度，用 $\vec{M}$ 表示

$$\vec{M} = \frac{\Sigma \vec{P}_m}{\Delta V} \quad (20)$$

$\vec{M}$ 的方向与外磁场 $\vec{B}_0$ 的方向一致，磁化后顺磁质内产生的

附加磁场 $\vec{B}'$ 的方向与 $\vec{B}_0$ 方向相同,这是顺磁性的重要表现。

(3) 抗磁质的磁化

在抗磁质中,每个分子中所有电子的磁效应相互抵消,分子磁矩为零。抗磁质在外磁场中的磁化作用,完全决定于抗磁质中分子在有外磁场 $\vec{B}_0$ 时所产生的附加磁矩 $\Delta\vec{P}_m, \Delta\vec{P}_m$ 的方向与 $\vec{B}_0$ 的方向相反,大小与 $\vec{B}_0$ 成正比。磁化强度为

$$\vec{M} = -\frac{\sum \Delta\vec{P}_m}{\Delta V}. \quad (21)$$

$\vec{M}$ 的方向与外磁场 $\vec{B}_0$ 方向相反,经磁化后的抗磁质所产生的在抗磁质内的附加磁场 $\vec{B}'$ 的方向也与 $\vec{B}_0$ 的方向相反。这是抗磁性的重要表现。

(4) 磁介质中的磁场

在磁场中放进了某种磁介质后,由于磁场和磁介质间的相互影响的结果,使磁介质在磁场中因磁化而产生附加磁场 $\vec{B}'$,这时磁介质内任一点的总磁感应强度等于 $\vec{B}_0$ 和 $\vec{B}'$ 的矢量和,即

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}' \quad (22)$$

对于均匀磁介质充满整个磁场时

$$\frac{B}{B_0} = \mu_r$$

(5) 有磁介质时的安培环路定律

在磁场中沿任何的闭合曲线的 $\vec{H}$ 矢量的线积分等于通过这闭合线内各电流强度的代数和,即