

# 大学物理学习指导

北京工业大学出版社

# 大学物理学习指导

下册

吕之森 李巨源 杨振威 编

北京工业大学出版社

## 内 容 提 要

本书是参照高等工业学校《物理课程教学指导委员会》制定的“大学物理课程教学基本要求”编写的。这是一本颇具特色的教学参考书。书中每一章都包括基本要求、重点和难点、基本内容、小结、自我检查作业五部分内容，其目的是为了使学生更好地掌握基本概念和基本规律，书中还配备了一些具有代表性的思考题和例题。该书在对学生的解题方法及培养学生独立分析问题和解决问题的能力上具有指导性的作用，因此它对广大工科大学生（包括职工大学和电视大学学员）及对从事大学物理课程教学的青年教师都具有一定的参考价值，同时也是自学读者的极好参考书。

本书共二十章，分上、下两册出版。上册包括十章，其章名为：牛顿运动定律、功和能、动量、刚体的转动、机械振动、气体分子运动论、热力学基础、真空中的静电场、导体和电介质中的静电场、稳恒电流。下册包括十章，其章名为：稳恒磁场、磁介质、电磁感应、电磁场及电磁波、机械波与波动光学、光的干涉、光的衍射、光的偏振、相对论基础和量子物理基础。书中每章均附有习题，书末附有习题答案。

## 大学物理学习指导(下册)

吕之森 主编

吕之森 李巨源 杨振威 编

\*

北京工业大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京通县燕山印刷厂印刷

\*

1990年1月第1版 第1次印刷

787×1092 毫米 32开本 11.125印张 246千字

印数：1~8000册

ISBN7-5639-0069-1/G·45

定价：2.10元

## 编 者 的 话

工科学校的“大学物理”课是一门重要的基础课，它对于学生知识结构的形成，智能训练和能力的培养等诸方面都起着重要的作用。为了帮助学习本课程的大读者更好地掌握“大学物理”的基本内容，特别是其中的重点和难点内容，我们参照高等工业学校《物理课程教学指导委员会》制定的“大学物理课程教学基本要求”，并结合我们多年的教学经验和体会，以及学生学习过程中普遍反映出来的疑难问题，编写了“大学物理学习指导”，以期对学习“大学物理”课程的读者提供一本较为合适的参考书。

本书正式出版前曾在我校两届部分学生中试用，学生反映该书针对性强，对于帮助他们系统地掌握“大学物理”的基本理论，指导他们全面地复习和准备考试都有较明显的效果。这次在多方面征求意见的基础上，我们又进行了认真、全面地修订和补充，力求使本书具有以下几个特点：

一、本书的编写与现行通用的大学工科物理教材的系统基本一致，在保证基本内容、基本要求的前提下，在某些问题的论述上有所扩展和提高，相应地也增加了少量有一定难度的例题和习题（见书中打有\*号部分）。因此本书不仅适用于工科学校的本科生，也适用于职大、电大、夜大的学员及其广大自学本课程的读者，对于目前正从事“大学物理”课程教学工作的青年教师也具有一定的参考价值。

二、本书对现行物理教学大纲和基本要求中所规定的重点内容都做了较为详尽的分析和讨论，对某些难点内容进行

了有针对性的辅导，尤其强调对基本概念、基本定理和基本规律的正确理解和运用。

三、书中列举了许多思考题和典型例题，但目的并不仅是给出题解而已，而更着眼于使读者加深对基本概念和基本规律的理解，加强对解题思路和解题方法的指导。读者从中可以逐步领悟和学会分析物理问题的方法，掌握解题的基本步骤，熟悉题目的基本类型，提高解答物理问题的能力。

四、本书各章均按基本要求、重点和难点、基本内容、典型例题、本章小结的顺序安排，并在每章的后面配有自我检查作业，书后附有答案，供读者检查自己对基本内容的理解和掌握的程度，以进一步训练其解题技能。

本书由吕之森主编，并编写了电磁学、机械波和波动光学部分（第八章—第十八章），杨振威编写了力学、分子物理学和热力学部分（第一章—第七章），李巨源编写了近代物理基础部分（第十九章—第二十章）。另外，罗贤民审阅了本书的部分书稿，并在编写和试用过程中提出过许多宝贵意见。廖增瑞，葛蕴文参加了其中的部分工作，在此对他们谨表谢意。

国家教委高等工业学校物理课程教学指导委员会委员，余守宪教授在百忙之中抽出宝贵时间审阅了全书，并为之做序。钟佐华教授对本书的编写和出版一直给予热情的支持和指导，对此我们表示诚挚的感谢。

北方交通大学周盛芳副教授主审全书，并提出一些颇有见地的修改建议。

鉴于我们水平有限，错误和不妥之处在所难免，恳请读者批评指教。

编者

1989年3月于北京工业大学应用物理系

# 目 录

## 编者的话

## 第十一章 稳恒磁场

基本要求	( 1 )
重点和难点	( 1 )
基本内容	( 2 )
§11-1 磁感应强度 磁场的高斯定理	( 2 )
§11-2 毕奥-沙伐尔定律	( 5 )
§11-3 安培环路定理	( 7 )
§11-4 毕奥-沙伐尔定律和安培环路定理的应用	( 8 )
§11-5 磁场对载流导体和载流线圈的作用	( 23 )
§11-6 磁场对运动电荷的作用——洛仑兹力	( 32 )
本章小结	( 36 )
自我检查作业	( 39 )

## 第十二章 磁介质

基本要求	( 44 )
重点和难点	( 44 )
基本内容	( 44 )
§12-1 磁介质 物质的磁化	( 44 )
§12-2 磁场强度 有介质时的安培环路定理	( 49 )
§12-3 铁磁质(略)	( 53 )
本章小结	( 54 )

自我检查作业	( 56 )
--------	--------

### 第十三章 电磁感应

基本要求	( 58 )
重点和难点	( 58 )
基本内容	( 58 )
§13-1 电磁感应的基本规律	( 58 )
§13-2 动生电动势	( 63 )
*§13-3 感生电动势 感生电场	( 72 )
§13-4 自感与互感	( 83 )
§13-5 磁场的能量	( 92 )
本章小结	( 95 )
自我检查作业	( 98 )

### 第十四章 电磁场 电磁波

基本要求	(105)
重点和难点	(105)
基本内容	(105)
§14-1 电磁场理论的基本概念和规律	( 105 )
§14-2 电磁场的物质性	( 110 )
§14-3 电磁场的传播——电磁波	( 111 )
本章小结	(118)
自我检查作业	(119)

## 第四篇 机械波与波动光学

### 第十五章 机械波

基本要求	(122)
重点和难点	(122)
基本内容	(123)

§15-1	机械波的产生与传播	(123)
§15-2	平面简谐波波动方程	(127)
§15-3	波的能量 能流和能流密度	(136)
§15-4	惠更斯原理 波的迭加原理 波的干涉 驻波	(138)
*§15-5	多普勒效应	(146)
	本章小结	(149)
	自我检查作业	(151)
<b>第十六章 光的干涉</b>		
	基本要求	(156)
	重点和难点	(156)
	基本内容	(157)
§16-1	光的简谐波方程 光波的迭加	(157)
• §16-2	实际光源的相干条件	(163)
§16-3	分波阵面法产生的干涉	(170)
§16-4	分振幅法产生的干涉——薄膜干涉	(176)
	本章小结	(195)
	自我检查作业	(196)
<b>第十七章 光的衍射</b>		
	基本要求	(201)
	重点和难点	(201)
	基本内容	(202)
§17-1	惠更斯-菲涅耳原理 夫琅和费单狭缝衍射	(202)
§17-2	衍射光栅	(210)
§17-3	光学仪器的分辨本领	(224)
§17-4	X射线衍射 布喇格公式	(227)
	本章小结	(227)
	自我检查作业	(229)



## 第十八章 光的偏振

基本要求	(233)
重点和难点	(233)
基本内容	(233)
§18-1 自然光与偏振光	(233)
§18-2 偏振片的起偏和检偏 马吕斯定律	(236)
§18-3 反射和折射时光的偏振 布儒斯特定律	(238)
§18-4 光的双折射	(239)
*§18-5 椭圆偏振光和圆偏振光 偏振光的干涉	(243)
本章小结	(251)
自我检查作业	(252)

## 第五篇 近代物理基础

### 第十九章 相对论基础

基本要求	(256)
重点和难点	(256)
基本内容	(257)
§19-1 力学相对性原理 伽利略坐标变换	(257)
§19-2 狭义相对论的基本原理 洛仑兹坐标变换式	(259)
§19-3 狭义相对论的时空观	(262)
§19-4 狭义相对论动力学基础	(282)
本章小结	(288)
自我检查作业	(290)

### 第二十章 量子物理基础

基本要求	(293)
重点和难点	(293)
基本内容	(294)

§20-1	光的波粒二象性 光子理论	( 294 )
§20-2	德布罗意波 波粒二象性	( 302 )
§20-3	玻尔的氢原子理论及其缺陷	( 305 )
§20-4	测不准关系式	( 313 )
§20-5	薛定谔方程	( 315 )
§20-6	电子的自旋 原子的壳层结构	( 319 )
	激光及固体简介	(323 )
	本章小结	(325 )
	自我检查作业	(327 )
<b>附录一</b>	<b>自我检查作业答案</b>	(330 )
<b>附录二</b>	<b>基本物理常数表</b>	(342 )
<b>附录三</b>	<b>常用单位换算表</b>	(344 )

# 第十一章 稳恒磁场

## 基 本 要 求

一、掌握磁感应强度 $B$ 的概念及毕奥-沙伐尔定律,并能计算一些典型问题中的磁感应强度。

二、理解反映磁场性质的两个定理——高斯定理和安培环路定理,掌握用安培环路定理计算磁感应强度的条件和办法。

三、理解安培定律和洛仑兹力公式,并能计算某些简单形状的载流导体和载流平面线圈在磁场中所受到的磁力和磁力矩。

## 重 点 和 难 点

本章的重点是要确切理解磁感应强度的概念,并能熟练、正确的运用毕奥-沙伐尔定律和安培环路定理,计算一些典型问题中的磁感应强度 $B$ 。难点是正确理解和运用安培定律,计算载流导体和载流平面线圈在磁场中所受到的安培力和力矩。即在稳恒磁场中,我们仍然是讨论两类问题:一类问题是已知稳恒电流(或运动电荷)的分布,求其空间场的分布;另一类问题是已知场的分布,求磁场对电流(或运动电荷)的作用。这两类问题均是重点,都要很好地掌握。

## 基 本 内 容

### §11-1 磁感应强度 磁场的高斯定理

#### 一、磁感应强度 $B$

在静电场中，我们是利用试验电荷在电场中所受到的电场力来定量描述电场的性质，从而引入电场强度矢量。与之类似，我们将通过运动电荷在磁场中所受到的作用力来定量描述磁场的性质，从而引入描述磁场本身特性的物理量——磁感应强度矢量  $B$ 。

实验表明，当一正电荷的运动方向与磁场方向垂直时，该电荷受到最大磁力  $F_{\max}$ ，若正电荷的电量为  $q$ ，运动速度大小为  $v$ ，则比值  $\frac{F_{\max}}{qv}$  对于磁场中的某一定点来说，有确定值，对磁场中的不同点该比值有不同确定值。因此，比值  $\frac{F_{\max}}{qv}$  与运动电荷无关，仅与磁场中该点的性质有关。我们把这个比值作为描述磁场本身性质的物理量，并定义为磁感应强度  $B$  矢量的大小，即

$$B = \frac{F_{\max}}{qv} \quad (11-1)$$

磁感应强度  $B$  的方向为  $F_{\max} \times v$  的方向（由  $F_{\max}$  的方向，沿小于  $\pi$  的角度转向正电荷运动速度  $v$  的方向）。

在国际单位制中， $B$  的单位为特斯拉，即

$$1 \text{ 特斯拉 (T)} = \frac{1 \text{ 牛顿}}{1 \text{ 安培} \cdot 1 \text{ 米}} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ A} \cdot \text{m}}$$

常用的单位还有高斯 (Gs)，在数值上

$$1 \text{ 特斯拉} = 10^4 \text{ 高斯}$$

几点说明：

1. 在磁场的给定点处，运动电荷沿不同方向运动时，受到磁力的方向不同。
2. 磁力的方向总是与运动电荷的速度 $v$ 的方向垂直。
3. 磁力的大小与电荷的运动方向和磁场方向间的夹角有关。当电荷平行于磁场方向运动时，受到的磁力为零。
4. 磁感应强度是矢量，也是空间的点函数。
5. 磁感应强度 $B$ 也遵从迭加原理，即

$$B = B_1 + B_2 + \dots + B_n$$

## 二、磁通量

### (一) 磁感应线—— $B$ 线

我们曾用电力线形象地描述了静电场的空间分布，同样也可以用磁感应线描述磁场的空间分布。我们规定：

1. 磁感应线上任一点的切线方向和该点的磁场方向一致。
2. 通过磁场中某点处垂直于 $B$ 矢量的单位面积的磁感应线数等于该点 $B$ 矢量的数值。

在作了这样的规定之后，磁场强处 $B$ 线密，磁场弱处 $B$ 线稀疏。

磁感应线的性质：

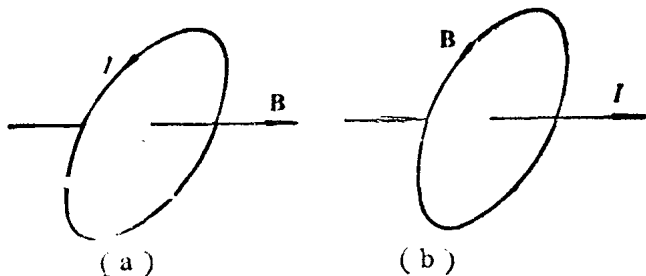


图 11-1

(1) 磁感应线是无头无尾的闭合曲线。

(2) 闭合的磁力线与闭合的电流线总是互相套连的, 它们之间的方向关系由右手螺旋法则确定, 如图11-1所示。

## (二) 磁通量 磁场中的高斯定理

与电通量类似, 我们也可以引入磁通量的概念。通过一给定曲面的总磁感应线的数目, 称为通过该曲面的磁通量, 以 $\Phi_m$ 表示。

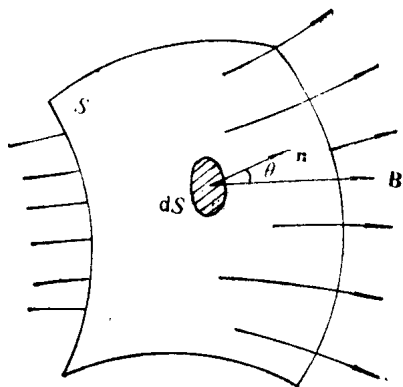


图 11-2 磁通量

在如图11-2所示的曲面上某处, 取一很小的面元 $dS$ ,  $dS$ 的法线 $n$ 与 $B$ 的夹角为 $\theta$ , 则通过该面元 $dS$ 的元通量为

$$d\Phi_m = B \cos\theta dS = \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad (11-2)$$

所以, 通过有限曲面 $S$ 的磁通量应为

$$\Phi_m = \iint_S d\Phi_m = \iint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = \iint_S B \cos\theta dS \quad (11-3)$$

磁通量为标量, 可正可负, 它取决于曲面法线正方向的规定。但对于闭合曲面, 仍规定: 曲面的外法线方向为正。这样从闭合曲面穿出的磁通量为正值, 穿入的磁通量为负值。由于磁感应线是闭合线, 因此穿入闭合曲面的磁感应线数必

然等于穿出闭合曲面的磁感应线数，所以通过任一闭合曲面的总磁通量必然为零，亦即

$$\oiint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = \oiint_S B \cos\theta dS = 0 \quad (11-4)$$

上式就是磁场中的高斯定理。该定理表明，磁场是无源场，磁力线是闭合的，没有起点和终点。而静电场的高斯定理则表明静电场是有源场，电力线是有头有尾的。磁场的高斯定理是描述磁场性质的两个基本定理之一。

## §11-2 毕奥-沙伐尔定律

在研究静电场时，我们由点电荷的场强公式出发，根据迭加原理求得了点电荷系和带电体的场强。对于稳恒电流所激发的磁场，我们也可以把电流看成是许多电流元的集合。若能得到电流元在空间所激发的磁感应强度的表达式，那么根据磁场的迭加原理，原则上我们就可以求得任意电流所激发的磁感应强度在空间的分布。

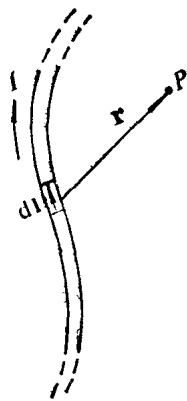


图 11-3

### 一、毕奥-沙伐尔定律

毕奥-沙伐尔定律是关于电流元在空间激发磁场的磁感应强度  $d\mathbf{B}$  的定律。今在载流导线上沿电流方向取一线元  $d\mathbf{l}$ ，我们定义矢量  $I d\mathbf{l}$  为电流元，如图 11-3 所示，电流元到载流导线外任一点  $P$  的矢径为  $\mathbf{r}$ ，则电流元所产生的磁感应强度  $d\mathbf{B}$  的数学表达式为

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\mathbf{l} \times \mathbf{r}_0}{r^2} \quad (11-5)$$

(11-5)式称为毕奥-沙伐尔定律。 $d\mathbf{B}$ 的大小为

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin\alpha}{r^2} \quad (11-5a)$$

式中 $\mu_0$ 称为真空磁导率,  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{T} \cdot \text{m/A}$ ,  $\alpha$ 为 $I dl$ 与 $r$ 两个矢量之间的夹角。 $d\mathbf{B}$ 的方向垂直于 $I dl$ 与 $r$ 组成的平面。

根据磁场的迭加原理, 对于任意形状的电流在空间所激发的磁感应强度为

$$\mathbf{B} = \int_L d\mathbf{B} = \int_L \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\mathbf{l} \times \mathbf{r}_0}{r^2} \quad (11-6)$$

几点说明:

1. 该定律仅适用于稳恒电流元, 对一个电流系统不能直接使用这个规律, 必须将系统中的每一稳恒电流都看成是大量电流元的集合, 整个电流系统的磁感应强度是各电流元单独产生的磁感应强度的矢量和。

2. 稳恒电流总是闭合的, 由于客观上不存在稳恒的电流元, 所以毕奥-沙伐尔定律不是直接从实验中总结出来的规律, 而是根据闭合电流情况下的实验数据间接概括出来的。

3. 毕奥-沙伐尔定律和磁场的迭加原理, 原则上是我们计算任意分布电流的磁场的基础。由于该式是一个矢量积分式, 在具体计算时一般要用它的分量式。

4. 电流元不能在它自身方向上激发磁场。

## 二、运动电荷的磁场

由毕奥-沙伐尔定律可以导出运动电荷所激发的磁感应强度的表达式为

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\mathbf{v} \times \mathbf{r}_0}{r^2} \quad (11-7)$$



式中 $\mathbf{v}$ 为运动电荷的速度。若 $q > 0$ ， $\mathbf{B}$ 的方向与 $\mathbf{v} \times \mathbf{r}_0$ 的方向相同，若 $q < 0$ ， $\mathbf{B}$ 的方向则与 $\mathbf{v} \times \mathbf{r}_0$ 的方向相反，如图 11-4 所示。

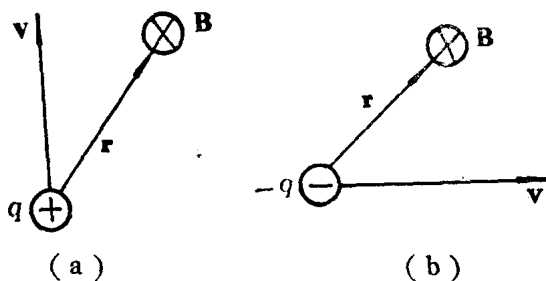


图 11-4 运动电荷的磁场

### §11-3 安培环路定理

静电场的一个重要特征是场强的环流为零，即

$$\oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$$

该式表明静电场是保守力场。而磁力线是闭合曲线，在磁场中，如果我们沿任一条磁力线对 $\mathbf{B}$ 求环流，由于 $\mathbf{B}$ 与 $d\mathbf{l}$ 的夹角 $\theta = 0$ ，所以在磁力线上每一点都有 $\mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = B \cos\theta dl > 0$ ，则 $\mathbf{B}$ 的环流 $\oint_L \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} \neq 0$ 。可以证明，在磁场中沿任一闭合曲线 $\mathbf{B}$ 的环流一般不等于零（具体证明可参看有关教材）。因此磁场是涡旋场，而不是保守力场，一般不能引入磁势。

安培环路定理说明了磁感应强度 $\mathbf{B}$ 的环流与环路内所包围的电流之间的关系，其数学表达式为

$$\oint_L \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \sum_i I_i \quad (11-8)$$