

physics

21世纪物理学规划课改教材

下册

大学物理学

陈飞明 金向阳 主编
廖耀发 主审



科学出版社

www.sciencep.com

• 21 世纪物理学规划课改教材 •

大学物理学

(下 册)

陈飞明 金向阳 主编

廖耀发 主审

科学出版社

北 京

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

内 容 简 介

本书是根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委员会关于《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2008年版)的精神编写而成的。全书分上、下两册。上册涵盖大学物理课程中运动学、力学、狭义相对论、气体动理论、热力学和电学等内容;下册包括磁学、机械振动和机械波、光学以及量子力学基础等内容。在编写过程中,吸取了近年来许多优秀物理教材的优点,结合作者多年来物理教学改革实践的经验,力求做到内容现代化,加强应用性,扩大知识面,提高学生的科学素质。

本书可作为高等学校理工科各专业大学物理课程的教材,也可作为中学物理教师和其他相关专业读者的自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学. 下册/陈飞明, 金向阳主编. —北京: 科学出版社, 2009

21 世纪物理学规划课改教材

ISBN 978-7-03-024834-3

I. 大… II. ①陈…②金… III. 物理学—高等学校—教材
IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 102884 号

责任编辑: 吉正霞/ 责任校对: 董艳辉

责任印制: 彭 超/ 封面设计: 苏 波

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

京山德兴印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 6 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2009 年 6 月第一次印刷 印张: 18 3/4

印数: 1—4 000 字数: 360 000

定价: 31.80 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

《大学物理学》是编者根据 2008 年教育部颁发的《理工科类大学物理课程教学基本要求》，在总结多年教材改革和教学实践经验的基础上，汲取了目前国内、外优秀教学改革成果编写而成的。本书也是编者在承担教育科学“十五”国家级重点课题(AIA050007-9)、湖北省教育科学“十一五”规划课题(2008B165)和 2007 年湖北省省级教学研究项目(20070282)的研究成果之一。

在编写本书过程中，本着“确保基础、提高起点、加强近代、涉及前沿、易教好学、讲究实用”的选材原则，适当提高教材起点，减少与中学物理的重复，在确保基础物理内容的同时，适当增加了近代物理的内容，并把近代物理的理论基础——狭义相对论，归入力学部分，使学生较早地接触近代物理的新思想、新观念，开阔了学生的视野，更好地激发学生的学习兴趣，提高学生学习的积极性和主动性，同时对于经典物理的现代化起到了很大的支持和推动作用。

在本书中，我们还结合教学内容增加了一些科学史料，介绍了牛顿、爱因斯坦等一些科学巨星，在发现物理新规律、新理论时的一些思想火花和他们敢于创新、锲而不舍的艰苦奋斗精神，这有助于学生创造性思维能力的发展，有利于学生树立辩证唯物主义世界观和方法论，有利于学生独立思考、勇于创新能力的培养。

为了便于学生理解掌握本书内容，我们对书中的习题、例题进行了精选，尽量做到“题数适量、难易适中、层次多样、比例得当”。

本书共 20 章，分上、下两册，包括绪论、力学(第 1~5 章)、热学(第 6~7 章)、电学(第 8~10 章)、磁学(第 11~13 章)、振动和波(第 14、15 章)、光学(第 16~18 章)、量子力学基础(第 19 章)及新技术的物理基础(第 20 章)。为了贯彻因材施教的原则，根据不同专业的需要，除基本内容外，还编入了一些较高要求的基础理论，将书中部分内容标上 * 号，以供不同层次、不同专业选讲或自学用。

全书统一采用国际单位制(SI)单位,并按照全国自然科学名词审定委员会公布物理学名词(1996),统一规范了全书的物理学名词。

本书可作为各类高等理工科院校非物理专业 120~140 学时大学物理课的教材,亦可作为自考生的主要参考书,并可供报考硕士学位的考生及大、中学物理老师、工程技术人员等参考。本书对高等数学有一定要求,建议此课程安排在一年级第二学期开设。

本书上册由金向阳、陈飞明主编,参加上册编写工作的有管薇(第 1、2、3 章)、赵光欣(第 4 章)、陈飞明(第 5 章)、兰晓霞(第 6、7 章)、金向阳(绪论、第 8、9、10 章);下册由陈飞明、金向阳主编,参加下册编写工作的有黄熙(第 11 章)、陈飞明(第 12、13、14、15 章)、郭健勇(第 16、17、18 章)、谭艳蓉(第 19 章)、吴瑜(第 20 章)。由陈飞明负责统稿。本书由廖耀发教授主审,廖教授不仅认真地审阅了全部书稿,而且还提出了许多具体的修改意见,对本书质量的提高起了很大的作用。

本书得到了武汉科技学院教材建设出版基金的资助。同时,在编写过程中,还得到了我校领导、教务处及理学院领导的深切关心和大力支持。此外,曹剑文老师亦对本书的编写作了大量细致的工作,在此一并致以衷心的感谢。

由于编写时间紧迫,我们的经验与水平有限,疏漏之处在所难免,真诚恳请使用本书的同志予以批评指正。

编 者

2008 年 11 月

目 录

第 11 章 稳恒磁场	001
11.1 磁感应强度	002
11.2 磁通量 磁场的高斯定理	003
11.2.1 磁感线	003
11.2.2 磁通量 磁场的高斯定理	004
11.3 毕奥-萨伐尔定律及其应用	005
11.3.1 毕奥-萨伐尔定律	005
11.3.2 毕奥-萨伐尔定律应用举例	007
11.3.3 磁偶极矩	010
11.4 磁场的安培环路定理	011
11.4.1 安培环路定理	011
11.4.2 利用安培环路定理求磁场的分布	013
11.5 带电粒子在电磁场中的运动	016
11.5.1 洛伦兹力	016
11.5.2 带电粒子在均匀磁场中的运动	017
11.5.3 霍尔效应	018
11.5.4 量子霍尔效应	020
11.6 载流导线在磁场中所受的力	020
11.6.1 安培定律	020
11.6.2 安培定律的应用	022
11.7 磁场对载流线圈的作用	024
阅读材料 等离子体及磁约束	026
习题 11	028
第 12 章 磁场中的磁介质	032

12.1 磁介质磁化及其分类	032
12.1.1 磁介质的分类	032
12.1.2 顺磁质和抗磁质的磁化机制	033
12.2 磁化强度 磁化电流	035
12.2.1 磁化强度	035
12.2.2 磁化电流	036
12.3 磁介质中的安培环路定理	037
12.3.1 磁介质中的安培环路定理 磁场强度	037
12.3.2 磁介质中的安培环路定理的应用	039
12.4 铁磁质	040
12.4.1 磁化曲线和磁滞回线	040
12.4.2 铁磁性材料的分类	041
12.4.3 磁畴	042
阅读材料 磁单极	044
习题 12	045
第 13 章 电磁感应 电磁场	048
13.1 电磁感应的基本定律	048
13.1.1 电磁感应现象	048
13.1.2 楞次定律	049
13.1.3 法拉第电磁感应定律	050
13.2 动生电动势	052
13.2.1 产生动生电动势的非静电力	052
13.2.2 动生电动势的计算	052
13.3 感生电动势和感生电场	056
13.3.1 感生电动势 感生电场	056
13.3.2 电子感应加速器的基本原理	061
13.3.3 涡电流	061
13.4 自感应和互感应	063
13.4.1 自感电动势 自感	063
13.4.2 互感电动势 互感	065
13.5 磁场的能量 磁场能量密度	068

13.5.1 通电电感器的能量	069
13.5.2 磁场的能量	069
13.6 位移电流 麦克斯韦方程组	071
13.6.1 位移电流	071
13.6.2 电磁场 麦克斯韦方程组	075
阅读材料 磁悬浮列车	077
习题 13	081
第 14 章 机械振动	087
14.1 简谐运动的特征与描述	087
14.1.1 简谐运动的动力学特征	087
14.1.2 简谐运动的运动学特征	088
14.1.3 描述简谐运动的重要参量	089
14.1.4 机械简谐运动的判断方法	092
14.1.5 简谐运动的旋转矢量表示法	095
14.1.6 简谐运动的图像表示	096
14.2 简谐运动的能量	097
14.3 简谐运动的合成	100
14.3.1 两个同方向、同频率的简谐运动的合成	100
14.3.2 两个互相垂直的同频率的简谐运动的合成	105
14.3.3 两个互相垂直的不同频率的简谐运动的合成	106
14.4 阻尼振动 受迫振动 共振	107
14.4.1 阻尼振动	107
14.4.2 受迫振动 共振	109
阅读材料 非线性振动与混沌	110
习题 14	115
第 15 章 波动概论	118
15.1 机械波的产生和传播	118
15.1.1 机械波产生和传播的条件	118
15.1.2 横波和纵波	118
15.1.3 波长 频率与波速的关系	120

15.1.4 波线和波面	122
15.2 平面简谐波的表达式	123
15.2.1 平面简谐行波的表达式	123
15.2.2 平面简谐波表达式的物理意义	124
15.2.3 其他情况下平面简谐行波的表达式	126
15.2.4 波动微分方程	127
15.3 波动过程中的能量传播	128
15.3.1 波的能量	128
15.3.2 能流密度	130
15.4 声波	131
15.4.1 声波与声速	131
15.4.2 声强与声强级	131
15.4.3 噪声	132
15.5 惠更斯原理及其应用	133
15.5.1 惠更斯原理	133
15.5.2 惠更斯原理的应用	133
15.6 波的干涉	135
15.6.1 波的叠加原理	135
15.6.2 波的干涉	135
15.7 驻波	138
15.7.1 驻波的形成	138
15.7.2 驻波的波动表达式	139
15.7.3 半波损失	140
15.7.4 驻波的能量	141
15.8 多普勒效应	141
15.8.1 相对于介质波源不动, 观察者以速度 v_R 运动	142
15.8.2 相对于介质观察者不动, 波源以速度 v_S 运动	143
15.8.3 相对于介质观察者和波源同时运动	144
15.9 电磁波	145
15.9.1 电磁波的产生与传播	145
15.9.2 电磁波的波动表达式	147
15.9.3 电磁波的特性	148

15.9.4 电磁波的能量	149
阅读材料 非线性波 孤波	149
习题 15	152
第 16 章 光的干涉	157
16.1 光源 光的相干性	158
16.1.1 光源	158
16.1.2 单色光和光谱	158
16.1.3 光的相干性	159
16.1.4 获得相干光的方法	160
16.2 杨氏双缝干涉	161
16.2.1 杨氏双缝干涉实验	161
16.2.2 菲涅耳双面镜实验	163
16.2.3 劳埃德镜实验	163
16.3 光程 光程差	164
16.3.1 光程	164
16.3.2 光程差	165
16.4 薄膜干涉	167
16.5 劈尖干涉 牛顿环	170
16.5.1 劈尖	170
16.5.2 牛顿环	174
16.6 迈克耳孙干涉仪	175
16.6.1 迈克耳孙干涉仪	175
* 16.6.2 时间的相干性	178
阅读材料 全息照相技术	178
习题 16	181
第 17 章 光的衍射	184
17.1 光的衍射 惠更斯-菲涅耳原理	184
17.1.1 光的衍射	184
17.1.2 光的两类衍射	185
17.1.3 惠更斯-菲涅耳原理	185

17.2 单缝夫琅禾费衍射	186
17.3 圆孔夫琅禾费衍射 光学仪器的分辨本领	190
17.3.1 圆孔夫琅禾费衍射	190
17.3.2 光学仪器的分辨本领	191
17.4 光栅衍射	194
17.4.1 光栅衍射	194
17.4.2 衍射光谱	196
17.4.3 光谱的缺级现象和缺级条件	197
17.4.4 干涉和衍射的区别和联系	199
17.5 X射线的衍射	199
阅读材料 光纤通信	201
习题 17	204
第 18 章 光的偏振	206
18.1 自然光和偏振光	206
18.1.1 横波的偏振性	206
18.1.2 自然光与偏振光	207
18.2 起偏和检偏 马吕斯定律	208
18.2.1 起偏和检偏	208
18.2.2 马吕斯定律	209
18.3 反射与折射时光的偏振	210
18.3.1 反射光和折射光的偏振	210
18.3.2 布儒斯特定律	210
18.4 光的双折射	212
18.4.1 双折射的寻常光和非寻常光	212
18.4.2 晶体的光轴、主截面和主平面	213
18.4.3 双折射晶体的折射率	213
18.4.4 尼科耳棱镜	214
阅读材料 非线性光学简介	215
习题 18	218
第 19 章 量子物理	219

19.1 黑体辐射 普朗克量子假设	219
19.1.1 黑体 黑体辐射	220
19.1.2 斯特藩-玻尔兹曼定律 维恩位移定律	220
19.1.3 维恩公式 瑞利-金斯公式 经典物理的困难	221
19.1.4 普朗克量子假设 普朗克黑体辐射公式	222
19.2 光的量子性	223
19.2.1 光电效应的实验规律	223
19.2.2 爱因斯坦的光子理论	225
19.2.3 光的波粒二象性	226
19.2.4 光电效应的应用	227
19.3 康普顿效应	228
19.3.1 康普顿效应	228
19.3.2 康普顿效应的量子解释	229
19.4 玻尔的氢原子理论	232
19.4.1 氢原子光谱的实验规律	232
19.4.2 玻尔的氢原子理论	233
19.4.3 氢原子轨道半径和能量的计算	234
19.4.4 玻尔理论的缺陷	236
19.5 实物粒子的波粒二象性	236
19.5.1 德布罗意假设	236
19.5.2 戴维孙-革末电子衍射实验	237
19.6 不确定关系	240
19.7 波函数 薛定谔方程	242
19.7.1 波函数及其统计解释	242
19.7.2 薛定谔方程	243
19.8 一维定态问题	245
19.8.1 一维无限深势阱	245
19.8.2 一维势垒 隧道效应	248
阅读材料 量子计算机	249
习题 19	252

第 20 章 新技术的物理基础	254
-----------------------	-----

20.1 固体的能带结构	254
20.1.1 固体中的能带	254
20.1.2 导体和绝缘体	256
20.1.3 半导体	257
20.2 激光原理	259
20.2.1 自发辐射 受激辐射和受激吸收	259
20.2.2 粒子数反转和光放大	262
20.2.3 激光器和激光的形成	263
20.2.4 激光的纵模与横模	265
20.2.5 激光的特性与应用	267
阅读材料 纳米材料简介	269
习题 20	270
 参考文献	 271
附录 4 历年诺贝尔物理学奖获得者	272
习题参考答案	279



关于磁现象,我国很早就有了记录。“慈石召铁,或引子也”,这是在《吕氏春秋》里对磁现象的认识;“顿牟掇芥,磁石引针”,这是我国东汉时期的王充在《论衡》里所记载的磁现象和电现象的相似性,并且在这本书上他还指出了“司南”(指南器的一种)——“司南之杓(勺),投之于地,其柢指南”。关于指南针的制作方法,我国在多本书籍有相关记载,其中南宋《事林广记》记载了有关指南鱼(指南针的一种)的制作方法。

自吉尔伯特(W. Gilbert)开始以来的 200 多年,电和磁一直是毫无关系的两门学科,围绕寻找电和磁两种自然现象之间的联系,成为一种主流。丹麦的物理学家奥斯特(H. C. Oersted)深受康德(I. Kant)关于“基本力”^①可以转化为其他各种形式的“力”的观点影响,坚信电流和磁之间有某种联系。1819 年冬至 1820 年 4 月,奥斯特在给学生上“电学、伽伐尼电流和磁学”课程时,在一次讲课中,他将磁针放在了导线的下面,当他接通电源时,发现磁针轻微地晃动了一下!正是这一轻微的晃动,奥斯特马上意识到他多年孜孜以求的东西就要实现了。于是奥斯特经过反复、多次实验,终于发现了电流具有磁效应。1820 年 7 月 21 日,他发表了《电流对磁针的作用的实验》,引起了整个物理学界的轰动。奥斯特发现电流磁效应的消息迅速地传到世界各地,在瑞士参加日内瓦科学会议的法国物理学家阿拉果(Arago)得知此消息后,随即回国,于同年 9 月 11 日向法国科学院报告并重复了奥斯特的实验。这一效应也引起了法国科学家安培的极大兴趣。他经过一周的夜以继日的工作,于 9 月 18 日发现了电流间也存在着相互作用力,接着提出了一个完整的定量理论,并于 1820 年 9 月至 10 月间,接连写了三篇论文;在 1820 年 12 月 4 日,又提出了著名的安培定律;1827 年发表了名著《从实验导出的关于电动力学现象的数学理论》,为电动力学的产生奠定了基础。既然电流对磁有作用,那么为什么就没有磁对电的作用呢?英国的物理学家法拉第(M. Faraday)确信“由电能产生磁,由磁也能产生电”。为此,他坚持了长达 10 余年的实验研究,终于在 1831 年 8 月发现了电磁感应现象。至此,电现象和磁现象紧密联系,开始统一起来了。

^① 当时的“能量”称为“力”。

11.1 磁感应强度

从前面静电场的学习中,我们知道场是一种特殊形态的物质,静止电荷在其空间会激发电场.而实验发现,在电流、磁铁周围也存在一种场,我们把这种场称为**磁场**.那么产生磁场的微观本质是什么呢?也就是为什么电流、磁铁周围都会存在磁场呢?电流,我们可以把它看成是电荷的定向移动;磁铁,由大量的原子和分子组成,其核外电子的绕核运动和电子的自旋可以等效为“分子电流”.所以,产生磁场的微观本质是运动电荷.自此,电荷是否运动,都会在其空间产生电场,如果电荷运动了,还会产生磁场.静止电荷之间的相互作用,通过电场来传递,同样,磁场对运动电荷有力的作用.关于磁场跟运动电荷的关系,我们可以用图 11.1 来表示.

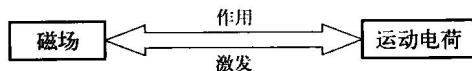


图 11.1 磁场跟运动电荷的关系

既然运动电荷会激发磁场,那么我们怎么定量地描述磁场呢?在这里,我们是用磁感应强度 B 这个矢量来描述的.磁感应强度 B 的定义跟电场强度 E 的定义是否可以如出一辙呢?电场强度 E 的定义,是在电场中放入一个试验电荷 q_0 ,由于试验电荷在某处所受的电场力 F 与 q_0 之比,与 q_0 无关,为一不变的矢量,所以用 F/q_0 来表示该处的电场强度 E .与此类似,磁感应强度 B 能否用试验电荷所受的磁场力 F 与 q_0 之比来表示呢?显然是不行的,因为试验电荷如果是静止的,它不受磁场力,这并不能意味着该处的磁感应强度为零.如果试验电荷是运动的,那么情况又是怎样的呢?下面我们来分析一下磁场对运动电荷的作用情况,从而定义出磁感应强度 B .

在这里我们以正电荷为例来考虑磁场对运动电荷作用的情况(负电荷所受的磁场力跟正电荷所受的磁场力方向相反),根据电荷的速度方向不同,可以分三种情况讨论:

(1) 正电荷 q 的运动速度 v 方向与某一特殊的方向平行时,运动电荷不受磁场力的作用,即 $F = 0$. 我们把这个特殊的方向规定为**磁感应强度的方向**.

(2) 正电荷 q 的运动速度 v 方向与磁感应强度 B 的方向垂直时,即 $v \perp B$ 时,运动电荷受到的磁场力最大,即 $F = F_{\max}$, $F_{\max}$ 与 qv 的乘积成正比.对磁场某一点而言, $F_{\max}/qv$ 是个定值,而对磁场不同的点,这个比值是变化的,可见,可以用 $F_{\max}/qv$ 来定义磁场某点的**磁感应强度的大小**,即

$$B = \frac{F_{\max}}{qv} \quad (11.1)$$

(3) 正电荷 q 的运动速度 v 方向不同于上述两种情况时, 它所受到的磁场力 F 既垂直于 v , 又垂直于 B , 即垂直于 v 和 B 组成的平面, F 的大小与 qv 的乘积成正比.

综上所述, 运动电荷在磁场中所受到的磁场力 F 既垂直于 v , 又垂直于 B , 即垂直于 v 和 B 组成的平面, 用矢量的表达式可写成

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (11.2)$$

若 v 与 B 的夹角为 θ , 则 F 的大小为 $F = qvB\sin\theta$. F 的方向可以用右手螺旋法则判断, 即 q 为正电荷时, F 的方向与 $v \times B$ 的方向一致; q 为负电荷时, F 的方向则与 $v \times B$ 的方向相反.

最后指出, 磁感应强度 B 的单位为特[斯拉](T). 大型的电磁铁产生的磁场一般为 $1 \sim 2$ T.

11.2 磁通量 磁场的高斯定理

11.2.1 磁感线

为了形象地描述静电场的空间分布, 我们人为地引入了电场线. 与此类似, 我们也可以引入**磁感线**来形象地描述磁场的空间分布, 并规定① 磁感线的切线方向表示该点的磁感应强度 B 的方向; ② 磁感线的疏密程度表示该点的磁感应强度 B 的大小.

图 11.2 给出了载流直导线的磁感线. 磁感线可以借助小磁针或铁屑显示出来, 如图 11.2(a) 和 (b) 所示. 从图 11.2(c) 可以看出磁感线的绕向和电流的方向遵从右手螺旋法则.

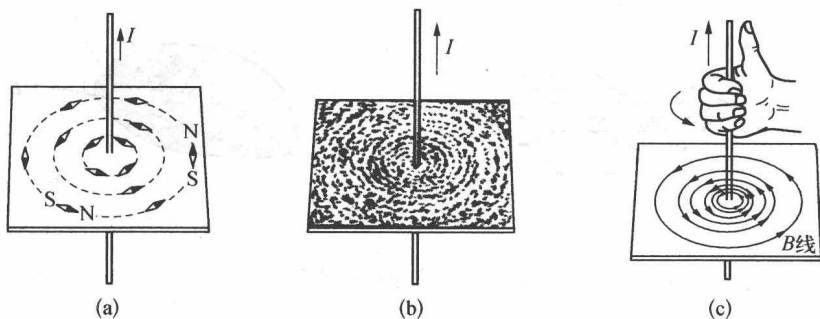


图 11.2 载流直导线的磁感线

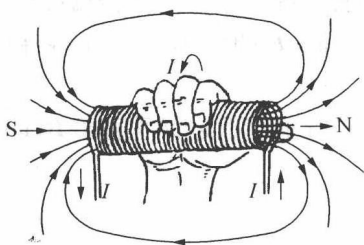


图 11.3 载流长直螺线管的磁感线

图 11.3 给出了载流长直螺线管的磁感线.

从以上载流导线的磁感线,可以看出磁感线具有以下的特点:

(1) **不相交性**. 磁感线与磁感线之间是不相交的,因为磁场某点的磁感应强度方向具有唯一性,关于这个特点与电场线类似,可以用反证法证明.

(2) **闭合性(无源性)**. 磁感线是闭合的,或者说没有源头,这点跟电场线始于正电荷,止于负电荷截然不同.

11.2.2 磁通量 磁场的高斯定理

在静电场中,为了描述电场 E 的性质,我们研究了电场强度 E 沿着闭合曲面积分(静电场的高斯定理)和沿着闭合曲线积分(静电场的环流定理)问题,即 E 的**通量**和 E 的**环流**. 同样,在稳恒磁场中,我们也要研究 B 的通量和 B 的环流.

我们首先来看**磁通量**的定义:穿过磁场中某一曲面的磁感线的条数,用符号 Φ_m 表示. 磁通量的国际制单位用韦[伯](Weber)表示,记作 Wb. 可见,穿过磁场某曲面的磁感线的条数越多,其磁通量就越大. 下面,从三种情况来讨论穿过磁场某一曲面的磁通量:

(1) **均匀磁场**, B 与平面成夹角 θ . 如图 11.4(a)所示,均匀磁场 B ,平面的面积为 S ,磁感应强度 B 与平面的单位法向矢量 n^0 的夹角为 θ ,穿过该平面的磁通量为

$$\Phi_m = BS \cos \theta = B \cdot S \quad (11.3)$$

其中 S 为面积矢量,有 $S = Sn^0$.

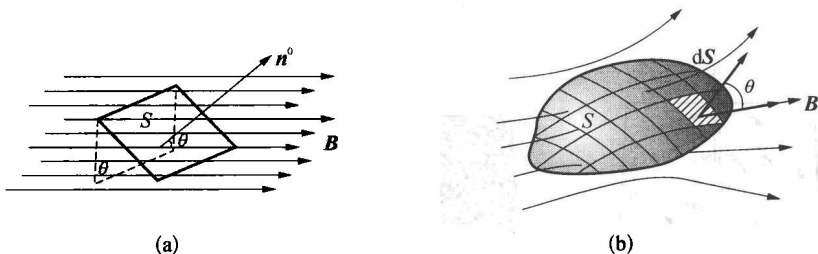


图 11.4 磁通量的计算

(2) **非均匀磁场**,任意有限的曲面(不闭合). 如图 11.4(b)所示,非均匀磁场 B ,曲面的面积为 S ,任取一面积元矢量 dS , $dS = dSn^0$,面积元上的磁感应强度 B