高等学校教学参考书

普通物理学

（第五版）

学 习 指 导

胡盘新　孙　疆　主编
石庆平　庄良　吉桂芳　黄颂翔　编

高等教育出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学(第五版)学习指导/胡盘新,孙　疆主编. —北京:高等教育出版社,2004.11
ISBN 7-04-015569-9

Ⅰ.普…　Ⅱ.①胡…②孙…　Ⅲ.普通物理学-高等学校-教学参考资料　Ⅳ.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 106926 号

策划编辑　刘　伟　　责任编辑　王文颖　　封面设计　李卫青
责任绘图　黄建英　　版式设计　马静如　　责任校对　金　辉
责任印制

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社　　址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网　　址	http://www.hep.edu.cn
总　　机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经　　销	新华书店北京发行所		
排　　版	高等教育出版社照排中心		
印　　刷			
开　　本	850×1168　1/32	版　　次	年　月第 1 版
印　　张	14.375	印　　次	年　月第　次印刷
字　　数	360 000	定　　价	27.50 元　(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。
版权所有　侵权必究

物料号:15569-00

内 容 简 介

本书是为配合程守洙、江之永主编的《普通物理学》(第五版)而编写的学习指导书。本书注重训练学生对基本概念和基本规律的理解和应用，全书内容安排与教材同步，每章包括教学基本要求、知识结构、基本概念分析、练习题和参考答案等内容，能够帮助学生较快地了解各章节的教学内容、教学要求以及教学的重点和难点，便于学生及时地预习和复习，从而更好的掌握课程的基本内容。

本书适合于高等学校工科各专业的师生参考，特别适合于使用程守洙、江之永主编的《普通物理学》(第五版)的学生作为学习辅导书。

前　言

本书是为学习大学物理课程的学生而编写的辅导教材. 全书的内容安排与程守洙、江之永主编的《普通物理学》(第五版)同步. 各章由教学基本要求、知识结构、基本概念分析、练习题和参考解答五部分内容组成.

编写本书的目的,是希望能帮助学生在大学物理课程的学习过程中更好地掌握学习的主动权. 学习大学物理课程时,课前的预习和课后的复习思考是必要的,自学大学物理课程则更需要有相适应的参考辅导教材. 本书的编写,力求能使读者较快地了解各章节的主要内容、教学要求、教学的重点和难点,了解各章内容的处理思路. 为了使读者能及时了解自己对基本概念和基本规律的理解及掌握情况,每一节都附有一定数量的练习题和参考解答,以便于作自我检验.

在本书的编写过程中,注重了从各个侧面对基本概念、基本规律的分析、归纳和总结. 在表述中,并不完全拘泥于内容所在章节的限制,这对于正确理解有关概念是有益的. 在对有些问题的讨论中,相对于教材的表述也稍有扩展或增减. 所有这些,都是以教学要求为主导,以主教材为中心展开的,目的是希望以此来帮助读者正确地理解教材,注意掌握好基本概念和基本规律. 所以,阅读本书时,不能忽视对教材的钻研.

本书由胡盘新、孙黻疆主编. 承担编写工作的是,第一章至第七章:石庆平、孙黻疆,第八章至第十四章:吉桂芳、黄颂翔、孙黻疆,第十五章至第十八章:庄良、孙黻疆. 全书由孙黻疆统稿并定稿. 本书为“高等教育百门精品课程教材建设计划”中“大学物理课程立体化系列教材建设”项目(上海交通大学)之一,得到了上

海大学物理系和上海交通大学国家工科物理课程教学基地的大力支持，高等教育出版社胡凯飞、刘伟同志为本书的出版付出了大量的劳动，在此一并表示感谢.

由于编者学识有限，错误和不妥之处在所难免，恳请读者指正.

编　者

2004 年 7 月

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目　　录

第一章　质点的运动…… 1
第二章　牛顿运动定律 …… 20
第三章　运动的守恒定律 …… 43
第四章　刚体的转动 …… 68
第五章　相对论基础 …… 89
第六章　气体动理论…… 105
第七章　热力学基础…… 132
第八章　真空中的静电场…… 158
第九章　导体和电介质中的静电场…… 190
第十章　恒定电流和恒定电场…… 221
第十一章　真空中的恒定磁场…… 233
第十二章　磁介质中的磁场…… 263
第十三章　电磁感应和暂态过程…… 281
第十四章　麦克斯韦方程组　电磁场…… 306
第十五章　机械振动和电磁振荡…… 315
第十六章　机械波和电磁波…… 335
第十七章　波动光学…… 364
第十八章　早期量子论和量子力学基础…… 420

第十章　恒定电流和恒定电场

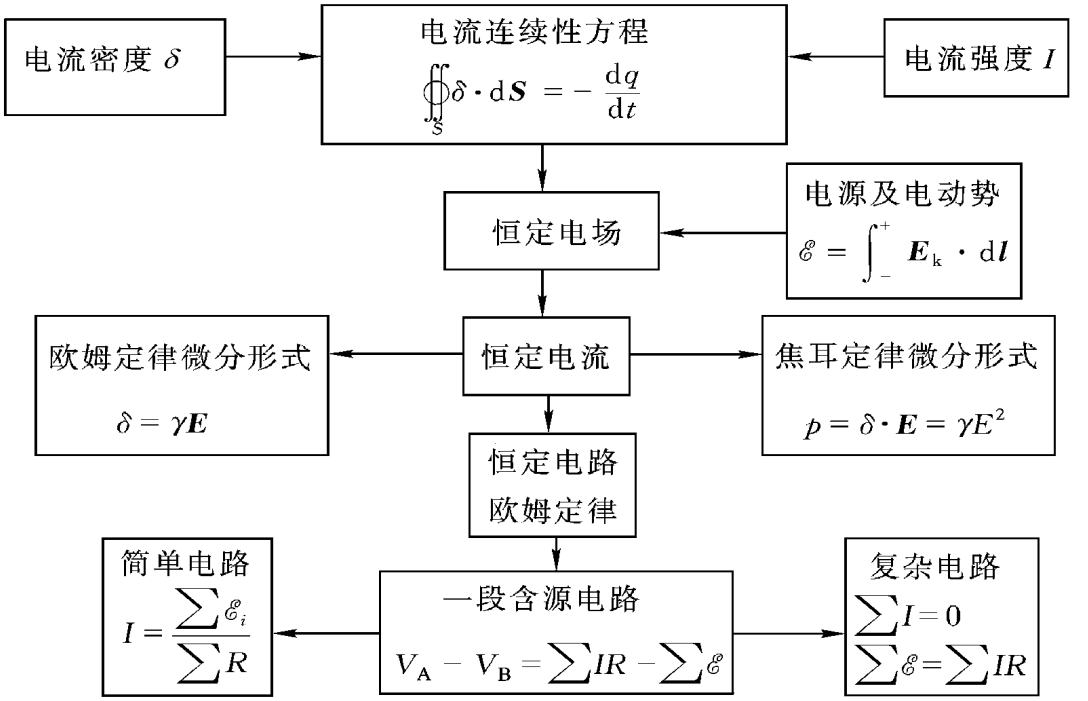
教学基本要求

1．理解电流强度、电流密度的概念和电流连续性方程.

2．理解电动势的概念.

3．理解欧姆定律的微分形式，理解一段含源电路和闭合电路的欧姆定律，并能对简单电路进行计算.

知识结构



概念分析和练习

§10－1　电流密度　电流连续性方程

一、电流密度

1. **电流**(electric current)

电荷的定向运动形成电流. 通常把由导体内部电荷的宏观定向运动形成的电流称为传导电流. 本章主要研究金属导体中的传导电流.

金属导体中形成电流的条件,一是导体内存在着可自由移动的电荷,二是存在着能够驱使电荷做宏观定向运动的电场,二者缺一不可.

电流强度定义为单位时间内通过导体任一截面的电量,即 $I=\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$.

(1) 电流强度是标量. 正负电荷运动对电流的贡献具有等效性. 习惯上常规定正电荷运动的方向为电流的方向. 在导体中,电流的方向总是沿着电场方向,从高电势处指向低电势处.

(2) 电流的方向与矢量的方向在本质上是不同的. 电流的方向只是表明电流的流向,是对一个曲面而言的,并且只有两种可能的方向,即从曲面的这一侧流向另一侧,或从曲面另一侧流向这一侧. 一个矢量在空间可有无数个可能的方向.

(3) 通过导体任一截面的电流不随时间变化时,称为恒定电流(steady current)**,又称直流电**(direct current).

(4) 电流 $I=\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$**是宏观量,只能描述通过导体中某一截面电流的整体特征,并不能说明电流通过截面上各点的情况.**

2. 电流密度(current density)

电流密度矢量 $\boldsymbol{\delta}$ 是描述导体中各点的电流方向和强弱的物理量,是空间位置的矢量函数. 电流密度矢量 $\boldsymbol{\delta}$ 在导体中各点的方向代表该点电流的方向,其大小等于通过该点垂直于电流方向单位面积上的电流强度. 即单位时间内通过单位垂直截面的电量.

通过导体中任意截面 S 的电流强度 I 与电流密度矢量 $\boldsymbol{\delta}$ 的关系为

$$I = \iint_S \boldsymbol{\delta} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S}$$

导体中各点的 $\boldsymbol{\delta}$ 可以有不同的量值和方向,它构成一个矢量场,也称电流场. 所以,电流密度矢量 $\boldsymbol{\delta}$ 和电流强度 I 的关系就是一个矢量场与它的通量的关系.

二、电流连续性方程

电流场的一个重要的基本性质是它的连续性方程:

$$\oiint_S \boldsymbol{\delta} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S} = -\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$$

此式表明,在电流场中,通过任一闭合曲面的电流密度通量等于该闭合曲面内总电荷量的减少率. 其物理意义是:电荷在运动过程中电荷量是不变的. 电流连续性方程的实质是电荷守恒定律.

练习题

1. 在金属导体中取两个截面 A 和 B. 若 A 的面积和 B 的面积相同,在一秒内通过 A 和 B 的自由电子数同,但对 A 是垂直通过;而对 B 是斜通过. 问通过这两截面的电流强度是否相同?若 A 的面积大于 B 的面积,在一秒内垂直通过 A 和 B 的自由电子数相同. 问通过这两截面的电流强度是否相同?

2. 如果通过导体中各处的电流密度不相同,那么电流能否是

恒定的？为什么？

§10－2　恒定电流和恒定电场　电动势

一、恒定电流

导体中各点的大小和方向都不随时间变化的电流，称为恒定电流或直流电.

要在导体中维持恒定电流，必须在导体内建立一个不随时间变化的恒定电场. 这就要求激发电场的电荷分布不随时间变化，即 $\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}=0$. 由电流连续性方程得：$\oint_S \boldsymbol{\delta}\cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S}=0$，这个式子就是在导体内维持恒定电流条件的数学表达式. 它表明，形成恒定电流时，在导体内从任一闭合曲面流入的电荷量等于流出的电荷量. 由此可知，恒定电流场的电流线必定是闭合曲线.

形成恒定电流的电荷处于宏观的定向运动状态之中，其特点是电荷的分布不随时间变化，而并不意味着电荷不能运动.

二、恒定电场（steady electric field）

激发电场的电荷分布不随时间变化，所建立起的电场也不随时间变化，称为恒定电场.

一方面，恒定电场与静电场相同，遵守高斯定理和环路定理等基本规律，是保守力场，可以引入电势的概念；另一方面恒定电场是由分布不随时间变化的电荷激发的，由于电荷并不静止，因此导体内部有电荷的定向流动，有相应的电势差存在. 因而，导体内部的场强可以不为零，导体不是等势体. 这是恒定电场的特征，也是恒定电场与静电场的区别所在.

三、电源（power supply）和电源电动势（electromotive force，emf）

从维持恒定电流的角度来说，如果只有恒定电场，则正电荷从高电势处移向低电势处后不能返回，恒定电流就无法维持. 因此，

除恒定电场外，还必须有一种非静电力，它能使正电荷逆着电场力的方向运动，从低电势处返回到高电势处，以维持恒定电流沿着闭合的回路持续流动.

电源就是将其他形式的能量转换为电能，在电路中能够对自由电荷提供非静电力的装置. 化学电池、太阳电池、光电池、温差电池和发电机等都是常用的电源. 电源的作用是克服静电力，迫使正电荷从低电势处经电源内部返回到高电势处，以维持恒定电流沿着闭合的回路持续流动.

不同的电源，非静电力做功的本领不同. 电源电动势是衡量电源中非静电力做功本领的物理量.

电源电动势定义为 $$\mathscr{E}=\frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}q}$$

电源电动势在量值上等于把单位正电荷从负极经过电源内部移到正极时所做的功.

电源电动势又可表示为 $$\mathscr{E}=\oint_L \boldsymbol{E}_{\mathrm{k}}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{l}$$

上式表明，电源电动势为非静电性场强 $\boldsymbol{E}_{\mathrm{k}}$ 沿闭合回路的环流. 若 $\boldsymbol{E}_{\mathrm{k}}$ 只存在于电源内部，则有

$$\mathscr{E}=\int_{-}^{+}\boldsymbol{E}_{\mathrm{k}}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{l}$$

1. 电动势是标量，为便于应用，常规定电动势的方向为从电源负极经电源内部指向电源正极. 在电路中，电流的实际方向与此规定的方向一致时，电动势为正（在电路中又可称为电源放电，为电路提供能量）；电流的实际方向与此规定的方向相反时，则电动势为负（在电路中可称为电源被充电，吸收能量）.

2. 电源电动势取决于电源本身的性质，与外电路的性质以及电路是否接通都没有关系. 一定的电源具有一定的电动势.

3. 不同的电源，非静电力的性质不同. 例如：干电池的非静电力是化学力，在利用电磁感应原理工作的发电机中，非静电力则由洛伦兹力的分量提供.

需要全本请访问 www.ertongbook.com

4. 如果电路中存在若干个电源,则整个电路的总电动势等于各电源电动势的代数和.

5. 电动势和电势差是两个完全不同的概念. 电动势表示非静电力把单位正电荷从负极经电源内部移到正极时所做的功. 而电势差则表示静电力把单位正电荷从电场中的某一点,经任意路径移到另一点所做的功.

练习题

1. 电源中存在的电场和静电场有何不同?

2. 单位正电荷从电源的负极通过内部移到正极时非静电力所作的功定义为该电源的电动势,其数学表达式为_____.

3. 电流强度与电流密度的关系是_____;导体内形成恒定电流的条件是_____. 它表明,通过 S 面一侧流入的电量等于从另一侧流出的电量. 由此可见,恒定电流必须是_____.

§10-3 欧姆定律 焦耳-楞次定律

一、欧姆定律(Ohm law)

欧姆定律是电学的基本实验定律之一. 欧姆从实验上得出:通过一段金属导体的电流强度与导体两端的电势差成正比,即 $I \propto U$. 写成等式,有

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = IR$$

式中的比例系数 R 叫做导体的电阻(resistance),单位是欧姆,简称欧,用 Ω 表示.

上式反映了一段有限长度、有限截面导体导电的基本规律，称为欧姆定律的积分形式.

二、欧姆定律的微分形式

由于电荷的流动是由电场推动的，因此电流场（电流密度矢量 δ）的分布和电场 E 的分布密切相关. 欧姆定律的微分形式为

$$\boldsymbol{\delta} = \gamma \boldsymbol{E}$$

式中 γ 为导体的电导率（conductivity），$\gamma = \dfrac{1}{\rho}$，ρ 为电阻率（resistivity）. ρ 由导体材料的性质决定，用来描述导体材料中某点的导电性质.

欧姆定律的微分形式给出了电流场中任一点的电流密度与电场强度之间的点点对应关系，比积分形式更细致地了描述导体的导电规律.

1. 欧姆定律的积分形式适用于恒定电流的情况，也适用于变化不太快的非恒定情况（例如非迅变的交变电场）. 而微分形式由于给出的是 δ 与 E 点点对应的关系，对一般的非恒定情况也适用，因此微分形式更为普遍.

2. 导体的电阻是描述导体导电特性的物理量，它由导体材料的性质及几何形状决定，并与温度有关. 对于一定材料制成的横截面均匀的导体，定义电阻 $R = \rho \dfrac{l}{S}$. 若横截面 S 及电阻率 ρ 不均匀，则有 $R = \int \rho \dfrac{\mathrm{d}l}{S}$.

电阻是标量，且只有正值，因而是算术量.

3. 导体的电阻分为线性电阻和非线性电阻. 线性电阻的特点是，伏安特性（$U - I$）曲线为通过坐标原点的直线. 对于具有线性电阻特性的导体，欧姆定律与其电阻定义式是相通的.

4. 欧姆定律反映了金属导体具有线性电阻的导电特性，并且对于具有线性电阻特性的导体（包括电解液等）都是适用的.

三、焦耳定律(Joule law)

电流通过导体时产生的热量(称为焦耳热)与电流强度的平方、导体的电阻和通电时间成正比. $Q = I^2Rt$

此即焦耳定律.

单位时间产生的热量称为热功率 $P = I^2R$

焦耳定律是能量守恒与转化定律应用于电流热效应的结果.

四、焦耳定律的微分形式

利用电流密度和热功率密度(单位体积内的热功率),可将焦耳定律表示为

$$p = \boldsymbol{\delta} \cdot \boldsymbol{E} = \gamma E^2$$

与欧姆定律的微分形式一样,焦耳定律的微分形式也是从场的观点出发来表述导体内某点的热功率密度与该点电场间的关系的. 不论导体中通过的电流是否恒定、导体的形状如何以及导体是否均匀,都是成立的.

五、电流的功和电功率

若一段电路两端的电势差为 U,电路中的恒定电流为 I,t 时间内通过电路任一截面的电荷为 $q = It$,则电场力作功为

$$W = qU = UIt$$

这就是电流的功(或电功).

单位时间内的电功叫做电功率 $P = W/t = IU$

在任何电路中,一段电路所消耗的全部电功率都是 IU. 对于一段纯电阻电路,电能全部转化为内能,电功率也可以写成 $P = I^2R = U^2/R$. 但若电路中包含有电动机、电池等装置,部分电能将转化为机械能和化学能等,这时电路所消耗的电功率不等于热功率. 热功率只是电功率中转化为内能的那一部分.

练习题

1. 一金属板(如图 10 – 1)上 A、B 两点如与直流电源连接,电

流是否仅在 AB 直线上存在？为什么？试说明金属板上电流分布的大致情况.

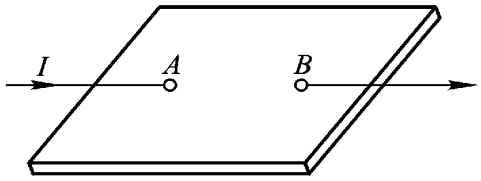


图 10 – 1

2. 两截面不同的铜杆串接在一起(如图 10 – 2),两端加有电压 U,问通过两杆的电流是否相同？两杆的电流密度是否相同？两杆内的电场强度是否相同？如两杆的长度相同,两杆上的电压是否相同？

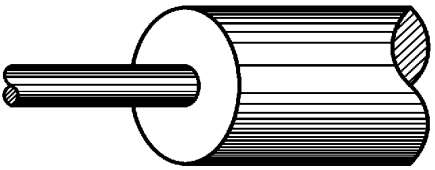


图 10 – 2

3. 一铜线外涂以银层,两端加上电压后在铜线和银层中通过的电流是否相同？电流密度是否相同？电场强度是否相同？

4. 电源的电动势和端电压有什么区别？两者在什么情况下才相等？

5. 焦耳 – 楞次定律可写成 $P = I^2R$ 和 $P = \dfrac{U^2}{R}$ 两种形式,从前式看热功率正比于 R,从后式看热功率反比于 R,两种说法是否矛

盾？

§10－4　一段含源电路的欧姆定律　基尔霍夫定律

一、一段含源电路的欧姆定律

对于包含电源在内的一段电路（称含源电路），有一段含源电路的欧姆定律

$$V_A - V_B = \mathscr{E} \mp I(R_i + R)$$

式中（$V_A - V_B$）为电源两端的电势差，R_i为电源内阻，减号对应电源放电，加号对应于电源被充电.

当一段电路中包含多个电源，且此段电路中各部分的电流也不相同时，有

$$U_{AB} = \sum \mathscr{E}_i + \sum IR$$

式中 $\sum IR$ 为该段电路中所有电阻（包括电源内阻）上电压降之和. 可见，电源的端电压一般不等于电源的电动势. 只有在电源没有内阻或电路断开 $I=0$ 时，电源的端电压才等于它的电动势.

若把一段电路的两端接合在一起，构成一闭合电路，则闭合电路的欧姆定律变为

$$I = \frac{\mathscr{E}}{R + R_i}$$

应用一段含源电路欧姆定律解题时应注意电流的方向和电路中各点电势的升高或降落.

二、基尔霍夫定律（Kirchhoff law）

基尔霍夫定律是在欧姆定律的基础上，依据能量守恒定律和电荷守恒定律得出的适用于电路计算的基本定律.

基尔霍夫第一定律，又称电流节点定律：$\sum I = 0$

基尔霍夫第二定律，又称回路电压定律：$\sum \mathscr{E} = \sum IR$

由基尔霍夫定律建立的方程组，称为基尔霍夫方程组. 运用基

尔霍夫方程组求解复杂电路问题的基本步骤为：

1. 标定各支路的电流方向.

2. 选定回路的绕行方向.

3. 列出节点电流方程. 对有 n 个节点的回路，可列出（$n-1$）个独立的节点电流方程. 对任一节点有 $\sum(\pm I_i)=0$.

4. 列出独立的回路电压方程，其数目可由电路的‘网孔’数来确定. 对于有 m 个独立回路的电路，可列出 m 个独立的回路电压方程，对每一回路有 $\sum(\pm \mathscr{E}_i)+\sum(\pm I_iR_i)=0$.

5. 解联立方程. 若解出支路电流的数值为正，则表示实际电流方向与标定方向一致，反之，则相反.

基尔霍夫方程组是完备的，原则上可解决任何直流电路的问题.

练习题

1. 电灯的钨丝断后再碰上接入电路中，电灯比原来的亮还是比原来的暗？为什么？

2. 一长为 l 截面积为 S 的铅线熔化后重新制成长为 $2l$ 截面积为 $\frac{1}{2}S$ 的铅线，问：(1) 铅线的电阻率是增大、减小还是保持不变？(2) 铅线的电阻是增大、减小还是保持不变？

3. 如图 10-3 所示，证明节点 O 的电势是相邻四个节点电势的平均值：

$$V_O=\frac{V_A+V_B+V_C+V_D}{4}$$

4. 在两层楼道之间安装一盏电灯，试设计一个电路，使得在

需要全本请访问 www.ertongbook.com