

# 《物理学》学习指南

第二卷

[美] S. A. 威廉斯等 著

许云宏 译

科学出版社

1982

## 内 容 简 介

哈里德等著《物理学》是美国较流行的大学理工科物理学教科书。为了帮助学生学习，该书另编有“《物理学》学习指南”一书，本书按1978年第三版译出，以供我国读者参考。

本书特点是向读者介绍学习物理学的方法；指明学习重点，明确关键性概念，具体指导学习和解题方法。每章先介绍预习和复习的要求、目的和线索，然后分别讲解各节主要内容。书中除了一般例题外，还有程序习题，按步骤地讲述解题方法。本书对学好物理学有一定的指导作用。

本书内容是按《物理学》顺序编排的，中译本分为两卷出版，第一卷为力学、声学与热学，相当于《物理学》中译本第一卷第一、二两册的内容；第二卷为电磁学、光学与量子物理学，相当于《物理学》中译本第二卷第一、二两册的内容。

本书可供我国大专院校理工科师生作为教学参考书用，也可供学习《物理学》的有关科技人员参考。

S. A. Williams, K. L. Brownstein  
R. L. Gray, R. Resnick, D. Halliday  
STUDY GUIDE TO PHYSICS

3rd. Edition Part II

John Wiley

《物理学》学习指南

第二卷

〔美〕S. A. 威廉斯等 著

许云宏 译

责任编辑 陈咸亨

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经营

1982年1月第一版 开本：787×1092 1/32  
1982年1月第一次印刷 印张：10 3/8  
印数：0001—42,500 字数：234,000

统一书号：13031·1693

本社书号：2316·13—3

定价：1.30元

## 中译本出版说明

本书是为帮助读者学习哈里德等著《物理学》一书而编写的学习指南。原书按照《物理学》的体例分为两卷，中译本也分成两卷出版，以供学习《物理学》一书的参考。

哈里德等著《物理学》的内容与我国现行的课程大体相近，因此，本书不仅对学习该书有用，也可用于学习其它物理学教材。书中详细地阐述了学习物理学的方法以及一些应注意之点，并有大量的程序习题作为解题示例，对学好物理学有一定的帮助。

本书中的图均按原书制版，但发现其中一些图所画线段长度或角度大小，不尽恰当，考虑到都是示意图，我们未加以修改，请读者注意。

译文不恰当之处，欢迎批评指正。

## 原书第三版前言

这本学习指南的第三版作了广泛修订。主要的变动是：

1. 除了少数例外，物理量的单位及其符号都已完全换成国际单位制(SI)的单位及其符号。
2. 新增了关于交流电的一章(第三十四章)。
3. 介绍了虚物的概念(第三十八章)。
4. 介绍了互感的概念(第三十一章)。

# 目 录

预备概念 .....	1
矢量代数 .....	1
场 .....	1
第二十一章 电荷和物质 .....	3
21-1 电荷 .....	3
21-2 导体和绝缘体 .....	4
21-3 电流 .....	4
21-4 库仑定律 .....	6
21-5 程序习题 .....	11
第二十二章 电场 .....	19
22-1 电场 .....	19
22-2 电场的计算 .....	21
22-3 程序习题 .....	26
第二十三章 高斯定律 .....	35
23-1 矢量面元 .....	36
23-2 一个矢量场的通量 .....	36
23-3 开放面和闭合面 .....	37
23-4 高斯定律 .....	38
23-5 应用高斯定律解题 .....	40
23-6 高斯定律和导体 .....	44
23-7 程序习题 .....	46
第二十四章 电势 .....	54
24-1 反抗电场做功 .....	54
24-2 电势 .....	55

24-3	电势能	56
24-4	电子伏特	57
24-5	电势的计算	57
24-6	$E$ 和 $V$ 的关系	61
24-7	对电路的功率供应	61
24-8	程序习题	62
<b>第二十五章 电容器和电介质</b>		<b>68</b>
25-1	电容	69
25-2	电容的计算(方法1)	70
25-3	等价电容	71
25-4	电容器中储存的能量	75
25-5	电能量密度	77
25-6	电容的计算(方法2)	77
25-7	电介质	78
25-8	程序习题	81
<b>第二十六章 电流和电阻</b>		<b>87</b>
26-1	电阻	88
26-2	欧姆定律	89
26-3	等效电阻	89
26-4	电阻损耗的功率	93
26-5	电流密度	94
26-6	漂移速度	94
26-7	电阻率	95
26-8	温度变化的影响	96
26-9	程序习题	97
<b>第二十七章 电动势和电路</b>		<b>101</b>
27-1	电动势	101
27-2	电动势源的内阻	102
27-3	电动势源所供给的功率	104
27-4	电路元件	104

27-5	基尔霍夫定律	104
27-6	电阻电路中的功率平衡	108
27-7	单回路 $RC$ 电路	109
27-8	时间常数	112
27-9	$RC$ 电路中的功率平衡	112
27-10	程序习题	113
<b>第二十八章 磁场</b>		<b>118</b>
28-1	磁场	118
28-2	$\mathbf{B}$ 场所作的功	120
28-3	在均匀 $\mathbf{B}$ 场中运动	120
28-4	作用于电流元上的力	123
28-5	程序习题	125
<b>第二十九章 安培定律和毕奥-萨伐尔定律</b>		<b>131</b>
29-1	关于积分定律的正负号规定	132
29-2	磁场 $\mathbf{B}$ 的源	133
29-3	安培定律	133
29-4	安培定律在解题上的应用	135
29-5	毕奥-萨伐尔定律	137
29-6	程序习题	139
<b>第三十章 法拉第定律</b>		<b>147</b>
30-1	动生电动势	147
30-2	感生电动势	150
30-3	楞次定律	152
30-4	法拉第定律	153
30-5	程序习题	156
<b>第三十一章 电感</b>		<b>166</b>
31-1	电感	167
31-2	电感的计算(方法 1)	168
31-3	等效电感	170
31-4	储藏在电感器中的能量	172

31-5	磁能密度 .....	173
31-6	电感的计算(方法2) .....	173
31-7	单回路 $RL$ 电路 .....	174
31-8	$RL$ 电路中的功率平衡 .....	175
31-9	互感 .....	176
31-10	程序习题 .....	177
<b>第三十二章 物质的磁性 .....</b>		<b>183</b>
32-1	磁板 .....	183
32-2	磁学的高斯定理 .....	183
32-3	磁(和电)偶极子 .....	184
32-4	作用在磁偶极子上的力 .....	187
32-5	原子的磁矩 .....	188
32-6	物质的磁性 .....	189
32-7	顺磁性 .....	190
32-8	抗磁性 .....	190
32-9	铁磁性 .....	192
<b>第三十三章 电磁振荡 .....</b>		<b>194</b>
33-1	单回路 $LC$ 电路 .....	194
33-2	单回路 $LRC$ 电路 .....	198
33-3	$LRC$ 电路受迫振荡 .....	201
33-4	程序习题 .....	203
<b>第三十四章 交流电路 .....</b>		<b>210</b>
34-1	交变电动势的电源 .....	210
34-2	电路的一般表现 .....	211
34-3	单元件电路 .....	212
34-4	$RLC$ 串联电路 .....	214
34-5	$Z$ 和 $\phi$ 的几何作图 .....	216
34-6	谐振 .....	217
34-7	$RLC$ 电路功率 .....	217
<b>第三十五章 麦克斯韦方程组和电磁波 .....</b>		<b>219</b>

35-1	位移电流	220
35-2	麦克斯韦方程组	222
35-3	波动的复习	223
35-4	行波和麦克斯韦方程组	223
35-5	玻印廷矢量	227
<b>第三十六章 光的性质和传播</b>		<b>229</b>
36-1	电磁波的动量	229
36-2	辐射压强	229
36-3	光的速率	230
36-4	多普勒效应	230
<b>第三十七章 光的反射和折射——平面</b>		<b>232</b>
37-1	折射率	232
37-2	几何光学	234
37-3	反射和折射	234
37-4	全内反射	235
37-5	惠更斯原理	236
37-6	程序习题	237
<b>第三十八章 光的反射和折射——球面</b>		<b>241</b>
38-1	引言	242
38-2	近轴光线	242
38-3	球形反射面	243
38-4	球形折射面	246
38-5	薄透镜	247
38-6	实像和虚像	250
38-7	实物和虚物	251
38-8	正像和倒像	251
38-9	横向放大率	251
38-10	程序习题	252
<b>第三十九章 光的干涉</b>		<b>259</b>
39-1	波动光学	259



39-2	光的干涉 .....	260
39-3	双缝干涉 .....	261
39-4	薄膜干涉 .....	264
39-5	程序习题 .....	267
<b>第四十章 光的衍射 .....</b>		<b>270</b>
40-1	相量 .....	270
40-2	单缝衍射 .....	273
40-3	强度和振幅 .....	277
40-4	圆孔衍射 .....	278
40-5	光学仪器的分辨能力 .....	278
40-6	程序习题 .....	279
<b>第四十一章 光栅 .....</b>		<b>286</b>
41-1	衍射光栅 .....	286
41-2	相量分析 .....	288
41-3	色散 .....	291
41-4	主极大的宽度 .....	292
41-5	光栅的分辨率 .....	293
41-6	栅缝宽度的影响 .....	294
41-7	X射线衍射 .....	296
41-8	程序习题 .....	299
<b>第四十二章 光的偏振 .....</b>		<b>303</b>
42-1	偏振 .....	303
42-2	平面偏振光 .....	304
42-3	非偏振光 .....	304
42-4	起偏振片 .....	304
42-5	反射引起的偏振 .....	305
42-6	双折射 .....	306
42-7	圆偏振 .....	307
42-8	四分之一波片 .....	307
<b>第四十三章 光和量子物理 .....</b>		<b>310</b>

43-1	受热固体的辐射 .....	310
43-2	空腔辐射 .....	311
43-3	普朗克辐射公式 .....	311
43-4	光电效应 .....	312
43-5	康普顿效应 .....	313
43-6	线光谱 .....	316
43-7	氢原子 .....	316
<b>第四十四章 波与粒子 .....</b>		<b>318</b>
44-1	物质波 .....	318
44-2	电子衍射 .....	319
44-3	原子结构和驻波 .....	320
44-4	波动力学 .....	320
44-5	测不准原理 .....	322

## 预备概念

### 矢量代数

在学习第二卷时，我们假定学生对矢量以及涉及矢量的运算(加法、减法、标量积和矢量积)都已熟悉。在第一卷第二章中已列出这些概念的要点，如果学生还不大了解，建议详细地复习一下。

### 场

假定一种流体如图所示那样流动。在这流体中的某点  $P$  上，具有一定的温度  $T$  和一定的速度  $v$ 。一般地讲，在不同的点上，这些量值各不相同，在  $P$  点的值可能不同于在  $Q$  点的值。为了更明确起见，我们将写成  $T(x, y, z)$  和  $\mathbf{v}(x, y, z)$  来表示  $T$  和  $\mathbf{v}$  是位置  $(x, y, z)$  的函数。这个例子说明了场的意义。场是一个量，它是位置的函数。

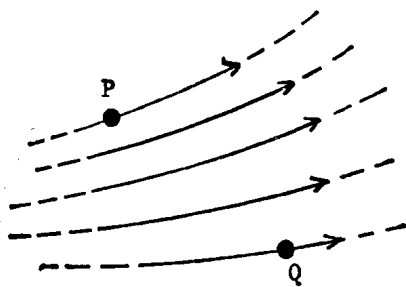


图1 这一图形表明流体的流动。一般地讲，温度在  $P$  和  $Q$  点是不同的，同样，速度在这两点上也不同(大小、方向都不相同)。这里温度是一个标量场；速度是一个矢量场。

当详细描述场的数值时，必须说明与此数值相关联的位置。只说温度是  $300\text{ K}$  是不够的，应该说在  $P$  点的温度是  $300\text{ K}$ 。有时，这个位置是人所共知的，就不必再加以说明。例如，我们讲重力加速度的大小是  $980\text{ 厘米/秒}^2$ ，其真正的意义是：在地球表面（或靠近地球表面）重力加速度的大小是  $980\text{ 厘米/秒}^2$ 。

我们在物理学中所遇到的场可分成两类，一类是标量场，另一类是矢量场。下列例子或许能阐明这些概念：

- a) 一个原子的质量、一根杆的长度都是标量，而不是场。
- b) 运动的流体的温度、振动的空气柱中的压强都是标量场。
- c) 一个抛射体的速度、一个陀螺的角动量都是矢量，而不是场。
- d) 运动的流体的速度、由地球的重力作用引起的加速度都是矢量场。

**问题：**

把你所能想到的所有与一根振动弦有关的量（例如质量，横向速度等等），按上面的方式分类。

## 第二十一章 电荷和物质

### 复习和预习

前面已经遇到过各种有关力的定律。例如，一根拉伸的弹簧引起的力( $F = -kx$ )，作用于点质量间的万有引力( $F = Gm_1m_2/r^2$ )等等。在这一章里，将要研究另一种力，就是静电力。与万有引力类似，一对物体彼此并不一定接触，它们之间也存在静电力。静电力与物体的一种称为电荷的性质有关。

### 目的和线索

这一章有两个目的：

1. 学习下列概念，

a) 电荷——物体的一种性质，

b) 电流——描述电荷的运动。

2. 学会如何应用库仑定律。这是一个力的定律，它给出点电荷之间的静电力。

因为力是矢量，在计算几个带电体对某一带电体所施的总静电力的问题时，需要用到几个力的矢量加法。你可能需要复习一下第一卷第二章中的矢量加法。

### 21-1 电荷

原子可以看成是由电子、质子和中子组成的，这些粒子各具有某些确定的性质。质量就是其中之一，它与粒子的惯性有关，这已经在力学中研究过了。这些粒子的另一内禀特性就是它们的电荷( $q$ )。电荷的单位是库仑(C)。这个特性是

与粒子对其他粒子施加电力作用有关的，电荷与质量不同，可以是正的，也可以是负的。下表列出一些在习题中经常遇到的有关电荷和质量的数据。

粒子	电荷	质量
电子	$-e$	$9.11 \times 10^{-31}$ 千克
质子	$e$	$1.67 \times 10^{-27}$ 千克
中子	0	$1.67 \times 10^{-27}$ 千克
氢核(质子+中子)	$e$	$3.34 \times 10^{-27}$ 千克
$\alpha$ 粒子(氦核)	$2e$	$6.68 \times 10^{-27}$ 千克

电荷  $e = 1.60 \times 10^{-19}$  库仑，称为电子电荷(注意：电子的电荷是  $-e$ ，而不是  $e$ )。

## 21-2 导体和绝缘体

大多数物质分别属于下列两类之一：

1. 导体(如金属、盐类的水溶液)能让电荷(一般情况下，对金属来说是电子，对溶液是离子)在外力的作用下运动。

2. 绝缘体(如玻璃、橡胶)不能让电荷穿过其内部或沿着其表面运动。

例如，玻璃棒一端带上的电荷，将会停留在原处；铜棒一端带上的电荷，就是自由的，可重新分布到整个棒上。

## 21-3 电流

电流( $i$ )描述电荷的流动。如果在时间间隔  $t$  内有电荷  $q$  通过某点(譬如说在一金属线中)，那末(平均)电流为

$$i = q/t \quad (\text{平均电流}). \quad (21-1)$$

要得到瞬时电流  $i(t)$ ，就必须取在无限小的时间间隔  $dt$  内通过某点的电荷  $dq$ ，而求两者的商：

$$i(t) = dq/dt \quad (\text{瞬时电流}). \quad (21-2)$$

电流单位是安培(A)(=库仑/秒)。注意：在电流定义中出现

的电荷“ $q$ ”，不是在导线中的电荷（在导线中的净电荷通常等于零），而是指流过某点的电荷。

虽然电流是标量，我们可以如图 21-1 所示给以一个指向。按照惯例，电流的指向是正电荷（如果是正电荷形成电流）的运动方向，或者和负电荷（如果是负电荷形成电流）的运动方向相反。

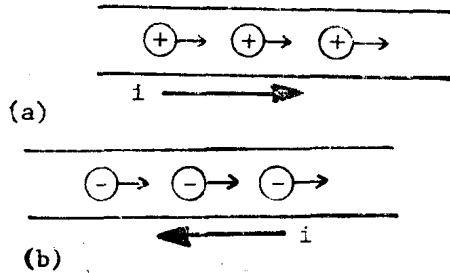


图 21-1 说明电荷流动与电流指向之间的关系。

(a) 正电荷向右运动，按习惯规定，电流是向右的。

(b) 负电荷向右运动，习惯规定，电流是向左的。

**例 1** 一电子束形成的电流等于 5 微安。1 小时后，a) 电子束输送了多少电荷？ b) 输送了多少电子？ c) 这些电子的总质量等于多少？

a) 因为电流是常数， $i=q/t$ ，即

$$\begin{aligned} q &= it = (5 \times 10^{-6} \text{ 安})(1 \text{ 小时})(3.6 \times 10^3 \text{ 秒/小时}) \\ &= 1.80 \times 10^{-2} \text{ 安} \cdot \text{秒} = 1.80 \times 10^{-2} \text{ 库。} \end{aligned}$$

由于电子带负电荷，实际上输送了  $-1.80 \times 10^{-2}$  库仑电荷。

b) 设  $N$  = 输送的电子数，于是  $q = Ne$ ，

$$\begin{aligned} N &= q/e = (1.80 \times 10^{-2} \text{ 库}) / (1.60 \times 10^{-19} \text{ 库/电子}) \\ &= 1.13 \times 10^{17} \text{ 电子。} \end{aligned}$$

“电子”当然不是一种单位，但是在讨论这类问题中还是可以用的。

c) 设  $M$  = 这些电子的总质量，于是

$$\begin{aligned} M &= Nm_e = (1.13 \times 10^{17} \text{ 电子})(9.11 \times 10^{-31} \text{ 千克/电子}) \\ &= 1.03 \times 10^{-13} \text{ 千克。} \end{aligned}$$

例2 “半波整流器”产生的电流  $i(t)$  的表达式如下:

$$i(t) = \begin{cases} I \sin(2\pi t/T), & 0 \leq t \leq T/2; \\ 0 & T/2 \leq t \leq T; \end{cases}$$

如图 21-2 所示,  $I$  是电流最大值. a) 完成一个周期 (譬如从  $t=0$  到  $t=T$ ) 时, 输送了多少电荷? b) 多大的恒定电流能在时间间隔  $T$  内输送上述的电荷?

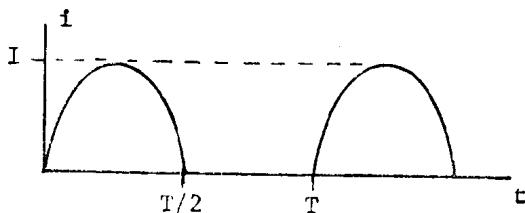


图 21-2

a) 在本题中, 电流不是恒量, 所以 “ $q=it$ ” 是不适用的. 因  $i=dq/dt$ , 所以  $dq=idt$ . 总电荷  $q$  等于所有  $dq$  的和(积分):

$$\begin{aligned} q &= \int dq = \int_0^{T/2} I \sin(2\pi t/T) dt + \int_{T/2}^T 0 dt \\ &= -\frac{IT}{2\pi} \cos(2\pi t/T) \Big|_{t=0}^{T/2} = -\frac{IT}{2\pi} [-1-1] = IT/\pi. \end{aligned}$$

注意: 为了进行积分, 这里必须将时间间隔分成两段(0 到  $T/2$ ,  $T/2$  到  $T$ ).

b) 设  $i_{av}$  为在时间间隔  $T$  内输送以上电荷的恒定电流. 于是

$$i_{av} = q/T = I/\pi.$$

附注: 电流  $i_{av}$  (即平均电流) 一般可从下式求得

$$i_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt.$$

## 21-4 库仑定律

带电体的大小比它们之间的距离小得多, 可忽略不计时, 这样的带电体就可看作点电荷. 两个点电荷彼此施加的静电



力如图 21-2 所示。在图中符号  $\mathbf{F}_{12}$  代表电荷 2 作用在电荷 1 上的力。

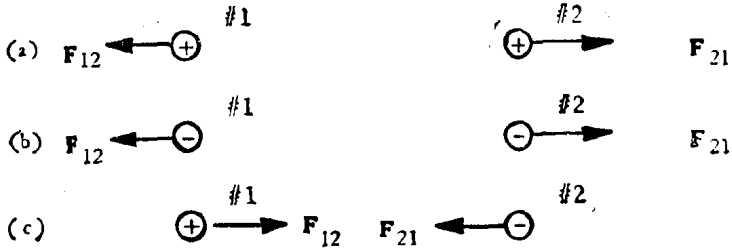


图 21-3 点电荷之间的静电力。(a)两个正电荷彼此相斥。  
(b)两个负电荷彼此相斥。(c)两个异号电荷彼此相吸。

这些作用力服从下列法则：

1. 作用力的方向沿着两个电荷的连线(如果所讨论的不是点电荷,这一条是没有意义的。)

2.  $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$ , 这两个力形成一对大小相等方向相反的力。不管两个电荷的大小和符号,这一点始终是正确的。

3. 力  $|\mathbf{F}_{12}| = |\mathbf{F}_{21}|$  的大小,与两个电荷的大小的乘积成正比,与它们之间的距离的平方成反比。(再次指出,只有对于点电荷,距离才有明确意义。)

4. 这对力的指向对同种电荷是斥力,对异种电荷是引力。

上述事实已概括为库仑定律。该定律指出,相距  $r$  的一

对点电荷 ( $q_1, q_2$ ) 之间的静

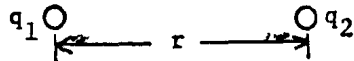


图 21-4

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

比例常数  $1/4\pi\epsilon_0$  的值等于  $9.0 \times 10^9$  牛顿·米<sup>2</sup>/库仑<sup>2</sup><sup>1)</sup>。

1)  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$  库仑<sup>2</sup>/(牛顿·米<sup>2</sup>)。  $\epsilon_0$  称为电容率常数。