

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 各地新华书店经售

*

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：18031·1693

本社书号：2316·13—3

定价：1.30元

目 录

预备概念	1
向量代数	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 向量面元	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	\mathbf{E} 和 \mathcal{V} 的关系	61
24-7	对电路的功率供应	61
24-8	程序习题	62
第二十五章 电容器和电介质		68
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
第二十六章 电流和电阻		87
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
第二十七章 电动势和电路		101
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
第二十八章 磁场		118
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
第二十九章 安培定律和毕奥-萨伐尔定律		131
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
第三十章 法拉第定律		147
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
第三十一章 电感		166
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
第三十二章 物质的磁性		183
32-1	磁极	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
第三十三章 电磁振荡		194
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
第三十四章 交流电路		210
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 ϕ 的几何作图	216
34-6	谐振	217
34-7	RLC 电路功率	217
第三十五章 麦克斯韦方程组和电磁波		219

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
第三十六章 光的性质和传播		229
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
第三十七章 光的反射和折射——平面		232
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
第三十八章 光的反射和折射——球面		241
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
第三十九章 光的干涉		259
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
第四十章 光的衍射		270
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
第四十一章 光栅		286
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
第四十二章 光的偏振		303
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
第四十三章 光和量子物理		310

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
第四十四章 波与粒子		318
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。

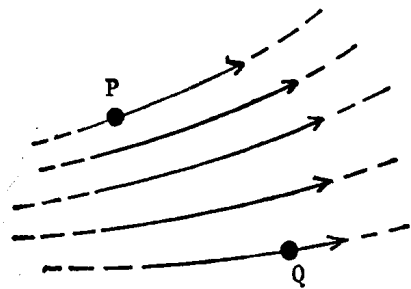


图1 这一图形表明流体的流动。一般地讲，温度在 P 和 Q 点是不同的，同样，速度在这两点上也不同(大小、方向都不相同)。这里温度是一个标量场；速度是一个矢量场。

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 K 是不够的，应该说在 P 点 的温度是 300 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 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 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	$-e$	9.11×10^{-31} 千克
质子	e	1.67×10^{-27} 千克
中子	0	1.67×10^{-27} 千克
氦核(质子+中子)	e	3.34×10^{-27} 千克
α 粒子(氦核)	$2e$	6.68×10^{-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。

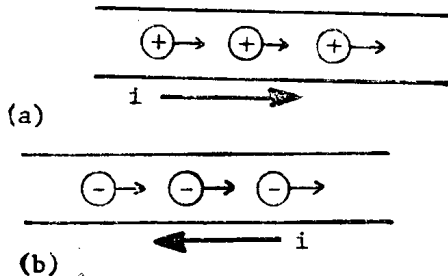


图 21-1 说明电荷流动与电流指向之间的关系。

(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 -1.80×10^{-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?

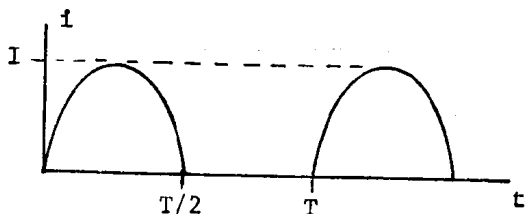


图 21-2

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 F_{12} 代表电荷 2 作用在电荷 1 上的力。

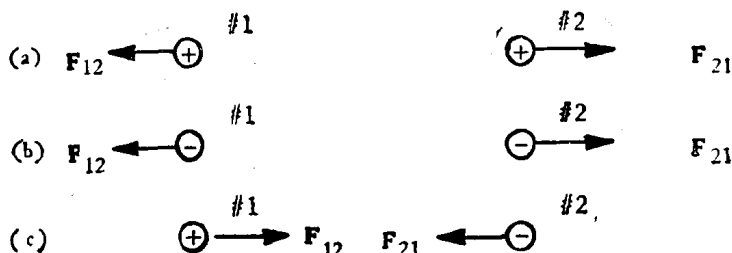


图 21-3 点电荷之间的静电力。(a)两个正电荷彼此相斥。(b)两个负电荷彼此相斥。(c)两个异号电荷彼此相吸。

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. $F_{12} = -F_{21}$, 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 $|F_{12}| = |F_{21}|$ 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) 之间的静电力为

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

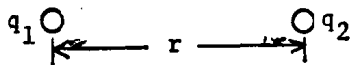


图 21-4

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

1) $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ 库仑²/(牛顿·米²)。 ϵ_0 称为电容率常数。

解题中用到库仑定律时,不仅公式(21-3)要记住,还要记住上列四点.特别重要的是要记住:

a) 库仑定律只适用于点电荷.

b) 力 \mathbf{F}_{12} 是矢量.若有几个点电荷存在,作用在电荷 1 的合静电力,等于所有其他电荷对它的作用力的矢量和.

$$\mathbf{F}_1 = \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_{13} + \mathbf{F}_{14} + \dots$$

学生在应用库仑定律解题时,常对符号感到困难.正确地解决这一困难有两种方法:

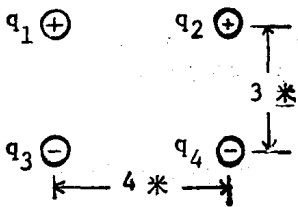


图 21-5

地解决这一困难有两种方法:

方法 1 如果所有电荷的符号已知,那末各个静电力的实际方向(和指向)也就知道了.根据这些已知方向按规定能够画出一幅力图(指明问题中所有作用在

该物体上的力).这些力的大小,能用库仑定律公式(21-3)中各电荷的大小 $|q|$ 算出.举例说明如下.

例 3 如图所示,四个点电荷形成一个矩形.如果 $q_1 = q_2 = 2 \times 10^{-9}$ 库, $q_3 = q_4 = -3 \times 10^{-9}$ 库,计算作用在 q_1 上的静电力.

首先,我们画出力图,指明作用在 q_1 上所有的静电力.

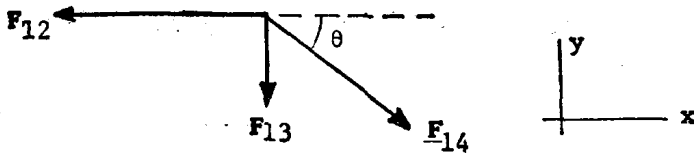


图 21-6

注意, \mathbf{F}_{12} 是斥力, \mathbf{F}_{13} 、 \mathbf{F}_{14} 是引力.将这些力分解成 x 和 y 方向上的分力,最好用表格形式列出.

	x 方向分力	y 方向分力
F_{12}	$- F_{12} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{ q_1 q_2 }{r_{12}^2}$	0
F_{13}	0	$- F_{13} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{ q_1 q_3 }{r_{13}^2}$
F_{14}	$+ F_{14} \cos\theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{ q_1 q_4 }{r_{14}^2} \cdot \frac{4}{5}$	$- F_{14} \sin\theta = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{ q_1 q_4 }{r_{14}^2} \cdot \frac{3}{5}$

各栏相加, 我们得到合静电力 $\mathbf{F}_1 = \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_{13} + \mathbf{F}_{14}$ 的分力 F_{1x}, F_{1y} .

$$\begin{aligned}
 F_{1x} &= \frac{|q_1|}{4\pi\epsilon_0} \left(-\frac{|q_2|}{r_{12}^2} + \frac{|q_4|}{r_{14}^2} \cdot \frac{4}{5} \right) \\
 &= (2 \times 10^{-9} \text{ 库}) (9 \times 10^9 \text{ 牛顿} \cdot \text{米}^2 / \text{库}^2) \\
 &\quad \times \left(-\frac{2 \times 10^{-9} \text{ 库}}{4^2 \text{米}^2} + \frac{3 \times 10^{-9} \text{ 库}}{5^2 \text{米}^2} \cdot \frac{4}{5} \right) \\
 &= -5.2 \times 10^{-10} \text{ 牛顿}.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{1y} &= \frac{|q_1|}{4\pi\epsilon_0} \left(-\frac{|q_3|}{r_{13}^2} - \frac{|q_4|}{r_{14}^2} \cdot \frac{3}{5} \right) \\
 &= (2 \times 10^{-9} \text{ 库}) (9 \times 10^9 \text{ 牛顿} \cdot \text{米}^2 / \text{库}^2) \\
 &\quad \times \left(-\frac{3 \times 10^{-9} \text{ 库}}{3^2 \text{米}^2} - \frac{3 \times 10^{-9} \text{ 库}}{5^2 \text{米}^2} \cdot \frac{3}{5} \right) \\
 &= -7.3 \times 10^{-9} \text{ 牛顿}.
 \end{aligned}$$

这两分力完全确定了合力 \mathbf{F}_1 .

附注:

1. 计算中只用到电荷的大小 $|q|$, 它们的符号在画图时已考虑到.
2. 上表中的项目相加时, 用代数式代替数字运算, 有些计算工作就可以省略. $|q_1|/4\pi\epsilon_0$ 是个公因子.

方法 2 画力图时先假设所有的静电力都是相斥的, 然后把包括符号的电荷 q 的代数值代入库仑定律公式 (21-3). 当有些电荷的符号未知时, 这一方法特别有用. 现举下例说明.

例 4 如图所示, 三个点电荷在一直线上. 当作用于 q_2 上的合静