

基础物理

学习提要与习题详解

山东教育出版社

基础物理

学习提要与习题详解

[日]後藤憲一 等编

冯汝栋 编译

山东教育出版社

1990年·济南

基 础 物 理
学习提要与习题详解

〔日〕後藤憲一 等编
张 汝 栋 编译

★

山东教育出版社出版

（济南经九路胜利大街）

山东省新华书店发行 山东新华印刷厂德州厂印刷

★

787×1092毫米32开本 28.5印张 2插页 610千字

1990年5月第1版 1990年5月第1次印刷

印数 1—1,200

ISBN 7—5328—0894—7/G·743

定价 8.50 元

编 者 的 话

本书是根据後藤憲一等合编的1976年日文版图书《详解物理学演习》（上、下）编译而成。

原版书是一本供理工科大学学生使用的基础物理学习参考书。该书的特点是，在每章或节的前面首先以提要的形式概述了有关的基本概念、定律和公式，然后对选入的典型题目及一些构思新颖且具有一定难度的习题作出详细的解答。该书解题时十分重视对解题过程的分析，有的题目还采用了两种不同的方法进行解答，这对于培养和提高学生的解题能力是十分有利的。

在本书编译过程中，我们基本保持了原书的基本特色和体例，但考虑到我国读者的实际需要并受篇幅所限，对原书的内容也做了部分变动，删去了一些较简单的题目和有关近代物理知识的习题，并按一般理工科大学普通物理教学大纲的要求，调整了个别章节的顺序，订正了一些明显的舛误之处。张伟、耿新、耿立、张震、赵梅苓、姜志强、姜丕显、宋少梅等也参加了本书的编译工作。

由于水平所限，不妥之处难免。恳请批评指正。

编译者

1989年3月

ABD87/10

目 录

I 力 学

第一章	运动学	1
§ 1	单位和量纲	1
§ 2	矢量	7
§ 3	速度	21
§ 4	加速度	35
第二章	力和运动定律	45
第三章	抛体运动	50
§ 1	落体运动	50
§ 2	抛物运动	59
第四章	功和功率 冲量和动量	80
§ 1	功和功率	80
§ 2	能量和能量定理	82
§ 3	冲量和动量	88
第五章	简谐振动	92
第六章	约束运动	113
第七章	角动量 有心力 万有引力	134
第八章	相对运动	153
第九章	质点系的运动	167
§ 1	质点系的运动	167

§ 2	变质量物体的运动	181
§ 3	碰撞	186
第十章	刚体的运动	199
§ 1	刚体运动和外力作用	199
§ 2	重心	202
§ 3	转动惯量	207
§ 4	刚体绕定轴转动	214
§ 5	刚体的平面运动	232
§ 6	打击的平面运动	252

II 弹性体 流体

第一章	弹性体	263
第二章	静止流体	289
§ 1	流体平衡和压强	289
§ 2	表面张力	303
第三章	运动流体	315
§ 1	理想流体	315
§ 2	粘性流体	326

II 振动 波动 声

第一章	振动	337
§ 1	简谐振动的合成	337
§ 2	阻尼振动和强迫振动	352
第二章	波动	362
第三章	声学	381
§ 1	声波	381
§ 2	发声体的振动	392

N 热 学

第一章	温度 热量	403
第二章	热传递	406
第三章	状态方程式 膨胀	414
第四章	热力学第一定律和功能	422
第五章	热力学第二定律和熵	430
第六章	分子运动	444

V 电 磁 学

第一章	静电学	454
§ 1	电荷和真空静电场	454
§ 2	电容器和静电能 (真空中)	476
§ 3	电介质	502
第二章	稳恒电流	535
§ 1	电流和电阻	535
§ 2	电能、电流的热效应和化学效应、电动势	556
第三章	静磁场	568
§ 1	真空中的磁场	568
§ 2	磁介质	579
§ 3	地磁场	589
第四章	电流和磁场	596
§ 1	电流产生的磁场	596
§ 2	磁路	606
§ 3	磁场对电流的作用	616
第五章	电磁感应	628

§ 1	电磁感应	628
§ 2	过渡现象	646
第六章	交流电	656
第七章	电磁振荡 电磁波	684
§ 1	电磁振动	684
§ 2	电磁波	689
§ 3	电磁波的传播	708
第八章	电磁学的单位制	713

VI 光 学

第一章	几何光学	720
§ 1	光的反射和折射	720
§ 2	透镜	741
§ 3	光的色散	771
§ 4	光学仪器	781
第二章	物理光学	789
§ 1	光波	789
§ 2	光的干涉	798
§ 3	光的衍射	810
§ 4	偏振光	821

VII 近代物理

第一章	相对论	832
第二章	热辐射和量子假设	850
第三章	原子结构	858
第四章	X射线	871
第五章	原子核和基本粒子	881

I 力 学

第一章 运 动 学

§ 1 单位和量纲

学 习 提 要

1 单位和单位制

为了表示某物理量（用符号 A 表示）的大小，从同类量中选出一个一定大小的量（用 A_0 表示），则量 A 可以表示为 A_0 的几倍，即

$$A = nA_0 \quad (n \text{ 为纯数}) \quad (1-1)$$

式中， A_0 称为单位， n 称为以 A_0 为单位 A 的数值。若某一物理量的单位可由另外几个物理量组合表示时，这个量的单位就称为复合单位。若能独立选取数种量的单位（至少在某范围内），所有的物理量单位可由它组合而成时，这些最初选的单位称为基本单位。基本单位和复合单位总称为单位制。

力学量可以选三个量作为基本单位，通常选长度、质量、时间三个量，这种单位制称为绝对单位制。另外也有选长度、力（重力）、时间为基本量的，这种单位制称为重力单

位制。

2 物理量的量纲

一般地说，物理量的单位可用基本单位的幂积表示，这个幂指数称为量纲数。把物理量具有怎样的量纲数称为量纲。量 A 的量纲用记号 $[A]$ 表示，长度、质量、时间的量纲分别记为 $[L]$ 、 $[M]$ 、 $[T]$ 。一般地， $[A]$ 可表示为

$$[A] = [L^a M^b T^c] \quad (a, b, c \text{ 为整数}) \quad (1-2)$$

a, b, c 分别称为量 A 关于长度、质量、时间的量纲数。

3 单位换算

已知量 A 的量纲由(1-2)式给出，当量 A 以 L_1, M_1, T_1 做为基本单位时，测得的值为 n_1 ；以 L_2, M_2, T_2 为基本单位时，测得的值为 n_2 ；把 L_1, M_1, T_1 和 L_2, M_2, T_2 以共同的单位 L_0, M_0, T_0 测量时，测得值分别为 l_1, m_1, t_1 和 l_2, m_2, t_2 ，则

$$\begin{aligned} A &= n_1 (l_1 L_0)^a (m_1 M_0)^b (t_1 T_0)^c \\ &= n_2 (l_2 L_0)^a (m_2 M_0)^b (t_2 T_0)^c \end{aligned}$$

$$\text{所以, } n_2 = n_1 \left(\frac{l_1}{l_2} \right)^a \left(\frac{m_1}{m_2} \right)^b \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^c \quad (1-3)$$

上式可以做为单位换算公式使用。

4 量纲分析

因为一个联系已知量纲的量和未知量纲的量的关系式的两边的量纲应该一致，所以这个未知量的量纲就可以根据这个关系式的量纲式确定出来（参见习题〔1〕）。

相反，一个量纲已知的量，若知道它是由几个量组合而成时，根据量纲一致的原理，也可以推出这个复合的物理量

的关系式（参见习题〔4〕）。通常，把这样推测未知物理式的方法称作量纲分析。

习 题 详 解

〔1〕求以下各量的量纲（其中， x 、 y 为长度、 m 为质量、 t 为时间）：速度 $v = dx/dt$ ，加速度 $a = dv/dt$ ，动量 $p = mv$ ，角动量 $L = (mv)y$ （ y 是从基点到速度矢量的垂线的长），动能 $E_k = mv^2/2$ ，力 $F = ma$ ，功 $W = \int Fdx$ ，功率 $P = dW/dt$ ，冲量 $I = \int Fdt$ ，角度 θ 为弧长/半径，角速度 $\omega = d\theta/dt$ ，角加速度 $\alpha = d\omega/dt$ 。

解：〔速度 v 〕 = $[dx/dt] = [\text{长度差}/\text{时间差}] = [\text{长度}/\text{时间}] = [LT^{-1}]$

〔加速度 a 〕 = $[dv/dt] = [\text{速度差}/\text{时间差}] = [\text{速度}/\text{时间}] = [(LT^{-1})T^{-1}] = [LT^{-2}]$

〔动量 p 〕 = $[mv] = [\text{质量} \times \text{速度}] = [M(LT^{-1})] = [LMT^{-1}]$

〔角动量 L 〕 = $[mvy] = [\text{动量} \times \text{长度}] = [L^2MT^{-1}]$

〔动能 E_k 〕 = $[mv^2/2] = [\text{质量} \times (\text{速度})^2] = [M(LT^{-1})^2] = [L^2MT^{-2}]$

〔力 F 〕 = $[ma] = [\text{质量} \times \text{加速度}] = [M(LT^{-2})] = [LMT^{-2}]$

〔功 W 〕 = $[\int Fdx] = [\lim \sum F \cdot \Delta x] = [\text{力} \times \text{长度差}] = [\text{力} \times \text{长度}] = [L^2MT^{-2}]$

〔功率 P 〕 = $[dW/dt] = [\text{功}/\text{时间}] = [L^2MT^{-3}]$

$$[\text{冲量}J] = [\int Fdt] = [\lim \Sigma F \cdot \Delta t] = [\text{力} \times \text{时间}] = [LMT^{-1}]$$

$$[\text{角度}\theta] = [\text{弧长}/\text{半径}] = [\text{长度}/\text{长度}] = [L/L] = [L^0] \quad (\text{无量纲})$$

$$[\text{角速度}\omega] = [d\theta/dt] = [\text{角度差}/\text{时间差}] = [L^0/T] = [T^{-1}]$$

$$[\text{角加速度}a] = [d\omega/dt] = [\text{角速度差}/\text{时间差}] = [T^{-2}]$$

〔2〕将CGS绝对单位制中力的单位达因 (dyne) *和能量单位尔格 (erg) 表示为MKS国际单位制中力的单位牛顿 (N) 和能量单位焦耳 (J) .

$$\begin{aligned} \text{解: } 1 \text{ dyne} &= 1 \text{ g} \cdot \text{cm} \cdot \text{s}^{-2} = (10^{-3} \text{ kg}) \cdot (10^{-2} \text{ m})^2 \cdot \text{s}^{-2} \\ &= 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \\ &= 10^{-5} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ erg} &= 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-2} = (10^{-3} \text{ kg}) \cdot (10^{-2} \text{ m})^2 \cdot \text{s}^{-2} \\ &= 10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \\ &= 10^{-7} \text{ J} \end{aligned}$$

〔3〕重力单位制选长度 L 、力 F 、时间 T 为基本单位,这时质量、动量、角动量、能量、密度的量纲如何?

$$\text{解: } [\text{质量}] = [\text{力}/\text{加速度}] = [F(LT^{-2})^{-1}] = [L^{-1}FT^2]$$

$$[\text{动量}] = [\text{质量} \times \text{速度}] = [(L^{-1}FT^2)(LT^{-1})] = [FT]$$

*本书各物理量单位采用中文代号.

$$[\text{角动量}] = [\text{动量} \times \text{长度}] = [LFT]$$

$$[\text{能量}] = [\text{质量} \times (\text{速度})^2] = [(L^{-1}FT^2)(LT^{-1})^2] \\ = [LF]$$

$$[\text{密度}] = [\text{质量}/\text{体积}] = [(L^{-1}FT^2)(L^3)^{-1}] \\ = [L^{-4}FT^2]$$

〔4〕已知以下各量的组成，试用量纲分析法求出它与其它各量间的关系式。（1）单摆周期 T ，由重物质量 m 、线长度 L 和重力加速度 g 组合。（2）能量 E ，由质量 m 和动量 K 组合。（3）气体中的声速 c_s ，由气体压强 p 和密度 ρ 组合。（4）水波的速度，①在水浅时，由水的深度 h 和重力加速度 g 组合；②在水深时，由波长 λ 和重力加速度 g 组合而成。

解：（1）设 $T = am^x L^y g^z$ （ a 为纯数），其量纲式为

$$[T] = [M^x L^y (LT^{-2})^z] = [M^x L^{y+z} T^{-2z}]$$

$$\text{因此, } x = 0, \quad z + y = 0, \quad -2z = 1$$

$$\text{故有} \quad x = 0, \quad y = \frac{1}{2}, \quad z = -\frac{1}{2}$$

$$\text{所以,} \quad T = aL^{1/2}g^{-1/2}$$

$$\text{也就是,} \quad T = a\sqrt{L/g}$$

（2）设 $E = am^x k^y$ ，其量纲式为

$$[E] = [L^2 MT^{-2}] = [M^x (LMT^{-1})^y] \\ = [L^y M^{x+y} T^{-y}]$$

$$\text{因为} \quad y = 2, \quad x + y = 1, \quad -y = -2$$

$$\text{所以,} \quad x = -1, \quad y = 2$$

$$\text{故} \quad E = am^{-1}k^2$$

$$\text{也就是,} \quad E = ak^2/m$$

(3) 设 $c_s = ap^x \rho^y$, 其量纲式为

$$[c_s] = [LT^{-1}] = [(L^{-1}MT^{-2})^x (L^{-3}M)^y] = [L^{-x-3y}M^{x+y}T^{-2x}]$$

因为 $-x-3y=1, x+y=0, -2x=-1$

所以 $x = \frac{1}{2}, y = -\frac{1}{2}$

故有 $c_s = ap^{1/2} \rho^{-1/2}$

也就是, $c_s = a\sqrt{p/\rho}$

(4) 设 ① $v = h^x g^y$, 其量纲式为

$$[v] = [LT^{-1}] = [L^x (LT^{-2})^y] = [L^{x+y}T^{-2y}]$$

因为 $x+y=1, -2y=-1$

所以, $x = \frac{1}{2}, y = \frac{1}{2}$

故有 $v = ah^{1/2}g^{1/2}$

也就是, $v = a\sqrt{hg}$

② 因为波长 λ 也具有长度的量纲, 所以, 其量纲与 ① 结果相同, 即 $v = a\sqrt{\lambda g}$.

(以上各式中的数值 a 无法用量纲分析法得出, 而要根据详细的理论求得, 其值分别为

(1) 2π (2) $\frac{1}{2}$ (3) $\sqrt{\gamma}$ (γ 是绝热指数)

(4) ① 1 ② $1/\sqrt{2\pi}$

§ 2 矢 量

学 习 提 要

1 矢量和它的运算

矢量用有方向的线段（在线段两端点加上始点和末点的区别，通常在其末端加箭头）表示，当其始端为 O 末端为 P 时，用 OP 表示。矢量 A 的大小，也就是表示这个有向线段的长度，用 $|A|$ 或 A ，或者 $|PQ|$ 、 $\overline{PQ}$ 表示。

两个矢量 A 、 B 的和的定义为：

以 A 和 B 为平行四边形的两个边，其对角线 C 就是 A 与 B 的矢量和，用 $A+B=C$ 表示（图1—1）。矢量 A

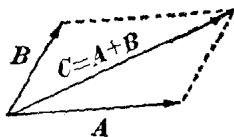


图1—1

与标量 k 的积定义为：当 $k>0$ 时，其为矢量 A 长度 k 倍的一个矢量；当 $k<0$ 时，其为 A 长度 $|k|$ 倍的一个矢量，但方向与 A 相反。关于矢量和的运算，有下列规则：

$$A+B=B+A$$

$$A+(B+C)=(A+B)+C$$

$$k(A+B)=kA+kB \quad (k+l)A=kA+lA$$

$$k(lA)=(kl)A \quad (1-4)$$

改变矢量 B 的方向，写为 $-B$ ，在 A 上加 $-B$ ，写作 $A-B$ ，则

$$A-B=A+(-B)$$

2 分量和基本矢量

在直角坐标系 xyz 中，从表示矢量 A 的有向线段末端的 x 坐标到始端的 x 坐标画线，其线段长为矢量 A 的 x 分量，用 A_x

表示； A 的 y 、 z 分量也可同样确定，用 A_y 、 A_z 表示。则矢量 A 的长度可以写作

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \quad (1-5)$$

令 A 和 x 、 y 、 z 坐标轴间的夹角分别为 α 、 β 、 γ ，方向余弦分别为 l 、 m 、 n ，则

$$l = \cos \alpha = \frac{A_x}{A}, \quad m = \cos \beta = \frac{A_y}{A}, \quad n = \cos \gamma = \frac{A_z}{A} \quad (1-6)$$

从原点 O 沿 x 、 y 、 z 轴取单位矢量（长度为1的矢量） $\hat{i}$ 、 $\hat{j}$ 、 $\hat{k}$ 称为基本矢量，任意矢量都可以用其分量表示，即

$$A = A_x \hat{i} + A_y \hat{j} + A_z \hat{k} \quad (1-7)$$

对于两个矢量的和与差可用下式表示：

$$A \pm B = (A_x \pm B_x) \hat{i} + (A_y \pm B_y) \hat{j} + (A_z \pm B_z) \hat{k} \quad (1-8)$$

3 标量积

若两个矢量 A 、 B ，其大小分别为 A 、 B ，其间夹角为 θ ，则其标量积为

$$A \cdot B \equiv AB \cos \theta$$

对于标量积，有下列运算法则：

$$A \cdot B = B \cdot A \quad (1-9a)$$

$$(kA) \cdot B = A \cdot (kB) = k(A \cdot B) \quad (1-9b)$$

$$(A+B) \cdot C = A \cdot C + B \cdot C \quad (1-9c)$$

根据标量积的定义和(1-7)式，标量积的分量可用下式表示：

$$A \cdot B = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z = AB \cos \theta \quad (1-10)$$

$$\text{因而, } \cos\theta = \frac{A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z}{A \cdot B} \quad (1-11)$$

两个矢量相交成直角时, 标量积为零。

4 矢量积

对于两个矢量 A 、 B , 其矢量积为一矢量 C 。 C 的大小为以 A 、 B 为边的平行四边形的面积 $AB\sin\theta$, 方向为从 A 以最小的转角转到 B 时, 回转右螺旋前进的方向。 矢量 C 可用 $A \times B$ 表示 (图1-2), 即 $C = A \times B$ 。 矢量积遵守下列运算规律:

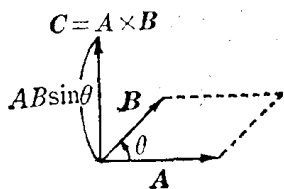


图 1-2

$$A \times B = -B \times A \quad (1-12a)$$

$$(kA) \times B = A \times (kB) = k(A \times B) \quad (1-12b)$$

$$A \times (B + C) = A \times B + A \times C \quad (1-12c)$$

根据矢量积定义和 (1-7) 式, 可以证明矢量积可写成下列形式:

$$A \times B = (A_y B_z - A_z B_y) \hat{i} + (A_z B_x - A_x B_z) \hat{j} + (A_x B_y - A_y B_x) \hat{k} \quad (1-13)$$

$$= \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix} \quad (1-14)$$

平行的两个矢量的矢量积是分量为零的矢量 (零矢量)。

5 三个矢量的积

给出多个矢量时, 可以组成种种积 (标量积和矢量积), 由 A 、 B 、 C 三个矢量, 可以组成下面两种: