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

[illegible]汝林　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

目　录

I　力　学

Ⅱ　弹性体　流体

Ⅲ　振动　波动　声

Ⅳ 热 学

Ⅴ 电 磁 学

Ⅵ　光　　学

Ⅶ　近代物理

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned}A&=n_1(l_1L_0)^a(m_1M_0)^b(t_1T_0)^c\\&=n_2(l_2L_0)^a(m_2M_0)^b(t_2T_0)^c\end{aligned}$$

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

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 $W = \int F dx$，功率 $P = dW/dt$，冲量 $I = \int F dt$，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〕＝〔长度差/时间差〕＝〔长度/时间〕＝〔LT^{-1}〕

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

〔动量 p〕＝〔mv〕＝〔质量×速度〕＝〔$M(LT^{-1})$〕＝〔LMT^{-1}〕

〔角动量 L〕＝〔mvy〕＝〔动量×长度〕＝〔L^2MT^{-1}〕

〔动能 E_k〕＝〔$mv^2/2$〕＝〔质量×（速度）^{2}〕＝〔$M(LT^{-1})^2$〕＝〔L^2MT^{-2}〕

〔力 F〕＝〔ma〕＝〔质量×加速度〕＝〔$M(LT^{-2})$〕＝〔LMT^{-2}〕

〔功 W〕＝〔$\int F dx$〕＝〔$\lim \Sigma F \cdot \Delta x$〕＝〔力×长度差〕＝〔力×长度〕＝〔$L^2MT^{-2}$〕

〔功率 P〕＝〔dW/dt〕＝〔功/时间〕＝〔L^2MT^{-3}〕

〔冲量I〕＝〔$\int F dt$〕＝〔$\lim \Sigma F \cdot \Delta t$〕＝〔力×时间〕＝〔$LMT^{-1}$〕

〔角度θ〕＝〔弧长/半径〕＝〔长度/长度〕＝〔L/L〕＝〔L^0〕（无量纲）

〔角速度ω〕＝〔$d\theta/dt$〕＝〔角度差/时间差〕＝〔L^0/T〕＝〔T^{-1}〕

〔角加速度α〕＝〔$d\omega/dt$〕＝〔角速度差/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）.

解：
$$1\text{dyne} = 1\text{g}\cdot\text{cm}\cdot\text{s}^{-2} = (10^{-3}\text{kg})\cdot(10^{-2}\text{m})^2\cdot\text{s}^{-2}$$
$$= 10^{-5}\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$
$$= 10^{-5}\text{N}$$
$$1\text{erg} = 1\ \text{g}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-2} = (10^{-3}\text{kg})\cdot(10^{-2}\text{m})^2\cdot\text{s}^{-2}$$
$$= 10^{-7}\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$$
$$= 10^{-7}\text{J}$$

〔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？

解：〔质量〕＝〔力/加速度〕＝〔$F(LT^{-2})^{-1}$〕＝〔$L^{-1}FT^2$〕

〔动量〕＝〔质量×速度〕＝〔$(L^{-1}FT^2)(LT^{-1})$〕＝〔FT〕

---

*本书各物理量单位采用中文代号.

〔角动量〕＝〔动量×长度〕＝〔LFT〕

〔能量〕＝〔质量×(速度)^2〕＝〔$(L^{-1}FT^2)(LT^{-1})^2$〕＝〔LF〕

〔密度〕＝〔质量/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$T=am^xL^yg^z$（a为纯数），其量纲式为

〔T〕＝〔$M^xL^y(LT^{-2})^z$〕＝〔$M^xL^{y+z}T^{-2z}$〕

因此，$x=0$，$z+y=0$，$-2z=1$

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

所以，　　$T=aL^{1/2}g^{-1/2}$

也就是，　　$T=a\sqrt{L/g}$

（2）设$E=am^xk^y$，其量纲式为

〔E〕＝〔L^2MT^{-2}〕＝〔$M^x(LMT^{-1})^y$〕

＝〔$L^yM^{x+y}T^{-y}$〕

因为　　$y=2$，$x+y=1$，$-y=-2$

所以，　　$x=-1$，$y=2$

故　　$E=am^{-1}k^2$

也就是，　　$E=ak^2/m$

（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）①1　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$\boldsymbol{OP}$表示．矢量$\boldsymbol{A}$的大小，也就是表示这个有向线段的长度，用$|\boldsymbol{A}|$或A，或者$|\boldsymbol{PQ}|$、$\overline{PQ}$表示。

两个矢量$\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$的和的定义为：以$\boldsymbol{A}$和$\boldsymbol{B}$为平行四边形的两个边，其对角线$\boldsymbol{C}$就是$\boldsymbol{A}$与$\boldsymbol{B}$的矢量和，用$\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B}=\boldsymbol{C}$表示（图1—1）．矢量$\boldsymbol{A}$与标量$k$的积定义为：当$k>0$时，其为矢量$\boldsymbol{A}$长度$k$倍的一个矢量；当$k<0$时，其为$\boldsymbol{A}$长度$|k|$倍的一个矢量，但方向与$\boldsymbol{A}$相反．关于矢量和的运算，有下列规则：

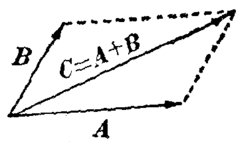

图1—1

$$\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B}=\boldsymbol{B}+\boldsymbol{A} \qquad \boldsymbol{A}+(\boldsymbol{B}+\boldsymbol{C})=(\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B})+\boldsymbol{C}$$

$$k(\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B})=k\boldsymbol{A}+k\boldsymbol{B} \qquad (k+l)\boldsymbol{A}=k\boldsymbol{A}+l\boldsymbol{A}$$

$$k(l\boldsymbol{A})=(kl)\boldsymbol{A} \qquad (1—4)$$

改变矢量$\boldsymbol{B}$的方向，写为$-\boldsymbol{B}$，在$\boldsymbol{A}$上加$-\boldsymbol{B}$，写作$\boldsymbol{A}-\boldsymbol{B}$，则

$$\boldsymbol{A}-\boldsymbol{B}=\boldsymbol{A}+(-\boldsymbol{B})$$

2　分量和基本矢量

在直角坐标系xyz中，从表示矢量$\boldsymbol{A}$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$\boldsymbol{A}$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

$$A=\sqrt{A_x^2+B_y^2+C_z^2} \tag{1—5}$$

令$\boldsymbol{A}$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

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

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

$$\boldsymbol{A}=A_x\hat{\boldsymbol{i}}+A_y\hat{\boldsymbol{j}}+A_z\hat{\boldsymbol{k}} \tag{1—7}$$

对于两个矢量的和与差可用下式表示：

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

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

$$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}\equiv AB\cos\theta$$

对于标量积，有下列运算法则．

$$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=\boldsymbol{B}\cdot\boldsymbol{A} \tag{1—9a}$$

$$(k\boldsymbol{A})\cdot\boldsymbol{B}=\boldsymbol{A}\cdot(k\boldsymbol{B})=k(\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}) \tag{1—9b}$$

$$(\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B})\cdot\boldsymbol{C}=\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{C}+\boldsymbol{B}\cdot\boldsymbol{C} \tag{1—9c}$$

根据标量积的定义和（1—7)式，标量积的分量可用下式表示：

$$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=A_xB_x+A_yB_y+A_zB_z=AB\cos\theta \tag{1—10}$$

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

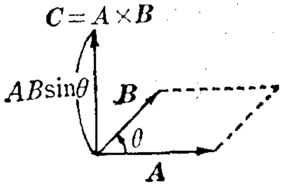

图1—2

$$\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}=-\boldsymbol{B}\times\boldsymbol{A} \quad (1—12a)$$

$$(k\boldsymbol{A})\times\boldsymbol{B}=\boldsymbol{A}\times(k\boldsymbol{B})=k(\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}) \quad (1—12b)$$

$$\boldsymbol{A}\times(\boldsymbol{B}+\boldsymbol{C})=\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}+\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{C} \quad (1—12c)$$

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：

$$\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}=(A_yB_z-A_zB_y)\hat{\boldsymbol{i}}+(A_zB_x-A_xB_z)\hat{\boldsymbol{j}}+(A_xB_y-A_yB_x)\hat{\boldsymbol{k}} \quad (1—13)$$

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

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$\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$、$\boldsymbol{C}$三个矢量，可以组成下面两种：