大学物理学理论及其典型题解

林学延　编

哈尔滨工业大学出版社

大学物理学理论及其典型题解

哈尔滨工业大学出版社

(黑) 新登字第4号

内容简介

本书是根据国家教委颁发的大学物理课程的基本要求编写而成的，全书共分为力学、振动与波、分子物理和热力学、电磁学、光学、近代物理等六篇，共二十二章。

本书对大学物理学课程各章内容均加以详细阐述、概括，对应该加深理解的基本概念、各种类型的习题、典型的疑难问题等作了解答，这些将有助于读者深入理解和掌握所学的基本内容，提高解题技巧和思维能力。

本书可供高等理、工科院校（本科或专科）学生，函大、电大、职大及夜大等各类有关专业学生学习大学物理时参考。

大学物理学理论及其典型题解

林学延 编

*

哈尔滨工业大学出版社出版

新华书店首都发行所发行

哈尔滨市外文印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 14.75 字数 330 千字

1993 年 11 月第 1 版 1993 年 11 月第 1 次印刷

印数 1－2000

ISBN 7-5603-0629-2/O·46 定价 12.80 元

前　言

物理学是理工科大学中的一门很重要的基础课程。它涉及到力学、热学、电磁学、光学，近代物理等多方面的物理现象及其基本规律，内容十分广泛。掌握好普通物理学中的基本概念、定律、公式，并能灵活地应用于实际，这对于学好其他课程都有重要作用。本书是根据国家教委颁布试行的高等理、工科院校普通物理课程教学的基本要求编写而成的，目的在于帮助高等 理、工科学校学生以及其他类型学校学生在学习在大学物理课程时加深对基本概念的理解，提高分析问题和解决问题的能力。

因大学物理是一门基础课程，学生往往因不太掌握大学独立思考的学习方法，对基本概念理解不深，从而影响学习效果。本书对大学物理课程各章的理论主要内容都加以阐明，同时结合作者多年教学中的经验、体会，对重点、难点问题着重作了说明。本书配有较多的典型例题，并对一些典型的疑难问题加以解答。这些习题都是与基本概念密切相联系的。为了扩大读者的视野，有些例题构思比较新颖，有助于提高读者的解题能力。

本书特点如下：

一、本书的内容与现行通用的大学物理教材基本一致，包含了大学物理课程的全部主要内容，并使之概括和条理化。本书在保证基本内容、基本要求的前提下，对某些问题

的论述有所扩展。习题类型较广，有一般典型例题，也有少量有一定难度的例题，因此适用面广。本书不仅适用于理、工科院校本科学生，也适用于职大、电大、夜大学员及自学读者选用，也可供教师参考。

二、本书对物理课教学大纲中所规定的主要理论内容作了详细阐述，并结合个人体会着重对基本概念如何加深理解加以讨论，对重点、难点内容作了有针对性的论述，力图语言确切、通俗易懂。

三、典型例题和疑难问题是作者从教学实践中选出的有代表性的例题，有些例题是针对学生的实际情况，力图有的放矢。

本书全部内容由林学延编写。郑群国教授审阅了全书，并提出了许多宝贵意见，编者对此表示感谢。

由于作者水平有限，难免有不当或错误之处，敬希读者批评指正。

编　　者

1992年10月

目　　录

第一篇 力　　学

机械运动是物质的各种运动形式中最简单、最基本的运动，它是与物体位置变化有关的运动。力学就是研究机械运动规律的科学。本篇主要说明经典力学(或称古典力学，是以牛顿运动三定律为基础建立起来的)的理论。内容包括质点运动学、动力学、刚体转动的运动学和动力学、机械振动和机械波。经典力学的理论只适用于宏观、低速运动的物体，对于高速运动物体以及微观领域中微粒的运动规律要用相对力学和量子力学的理论去解释。在学习这部分时，首先要克服轻视思想，不要以为力学理论好懂，它实际是研究物理学其它领域的基础；另一点，要习惯把高等数学里(如矢量，微积分等)的概念应用于物理学中。

第一章　牛顿运动定律

这一章分两部分讨论：第一部分为质点的运动学；第二部分为质点的动力学。

第一部分　质点运动学

一、一般学习方法指导

本章主要应掌握质点的概念，理解什么是抽象化的理想模型；掌握位移、速度、加速度等用来描述质点运动的物理量；掌握直线运动、曲线运动、圆周运动等典型的运动的基本规律。

二、主要内容及其内在含义

（一）经典力学的适用范围

适用于宏观物体低速运动的情形。所谓低速是指物体运动速度 $v \ll c$ ($c=3\times10^8$ m/s，即真空中的光速)。

（二）什么是机械运动

一个物体相对另一个物体或者一个物体内的某些部分相对于另一些部分的位置随时间变化的过程称为机械运动。

运动学：只研究物体的运动规律，不涉及使其运动状态发生变化的原因，此部分称为运动学。

（三）参照系

1. 参照系

研究物体运动规律时，首先要选择另外一个相对于被研究的物体静止的或运动着的物体作为参考（或称标准物），这个被参考的物体称为参照系。

2. 为什么要选择参照系

(1) 运动本身的绝对性：即宇宙间任何物体都在运动，静止只是相对的。

(2) 运动描述的相对性：同一物体在同一时刻相对不同参照系对其运动状态的描述并不相同。例如，一棵大树，站在地上看（以地为参照系），大树为静止的；若站在前进中的列车上看（即以车为参照系），大树为运动的。物体的运动只有相对一定的参照系才有意义。

3. 如何选择参照系

参照系的选择是任意的，但应是所讨论的问题需要的。如：研究地面上物体的运动可选地球为参照系；研究地球的公转问题——可选太阳为参照系；研究地球的自转问题——可选地心为参照系。

4. 参照系的数学模型——坐标系

坐标系要固联在你所选择的参照系上。力学中常用的是直角坐标系、球坐标系、柱坐标系等等，有时根据需要也可选用其它坐标系，如自然坐标系等等。

（四）质点

1. 质点

在所研究的问题中，若物体形状、大小不起作用或起的作用很小时，可忽略物体的形状和大小，把物体看成具有质量、占有位置的点，这样的点称为质点。

如何理解质点的概念呢？质点是对物体抽象化的理想模型。实际物体有形状、大小，但质点忽略了物体形状、大小，以便突出主要矛盾。质点保留了物体具有质量和占有位置这样两个特征。

2. 把物体抽象为质点的条件

(1) 平动时：如图 1－1(a)气缸活塞的运动，图 1－1(b)物体 c（如一木块）的运动。平动的特点：在物体中任画一条直线，物体运动过程中处于任意位置时，此直线的方向始终与它在原来位置时的方向平行。

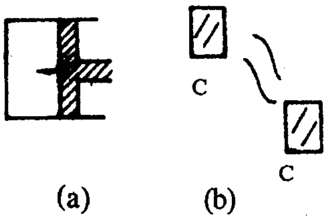

图 1－1

而如汽车的转弯前进，就不是单纯的平动。平动可以是直线运动，也可以是曲线运动。

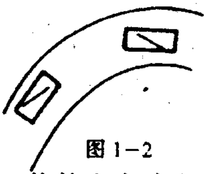
图 1－2

(2) 物体上各点的运动状态虽然不同，但差别可以忽略时，可把物体抽象为质点：

例如研究地球的公转时，因为地球半径 $R_2=6370\text{km}$，而地球绕太阳公转轨道的平均半径为 $R_1=1.49\times10^8\text{ km}$，则，

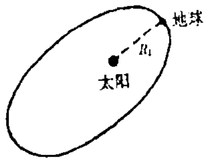

图 1－3

$$\frac{R_1}{R_2}=\frac{1.49\times10^8}{6370}=2.34\times10^4\text{（倍）}$$

因为 $R_1\gg R_2$，所以在公转问题上，地球上各部分的差异微乎其微了，地球可以被看成质点。

这里要明确一物体能否被视为质点，并不是单纯看物体的大小，而是看物体的形状、大小在所研究的问题中所起的作用。例如，地球很大，在研究公转问题中可看为质点。又如，在研究物体转动问题时，就不能把物体看成质点。

（五）位置矢径（或称位置矢量）

1. 位置矢径

位置矢径是由坐标原点指向质点所在位置 P 的一矢量 $\vec{r}=\vec{op}$。

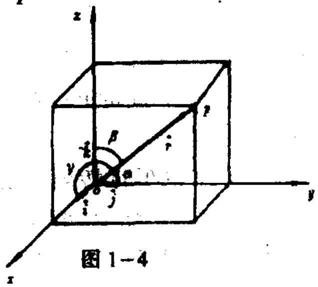

图 1－4

若质点在三维空间运动，其任一时刻位于 P 点的位置矢径为（直角坐标系中）：

$$\vec{r}=x\vec{i}+y\vec{j}+z\vec{k}$$

矢量大小为

$$|\vec{r}|=\sqrt{x^2+y^2+z^2}\text{。}$$

矢量的方向由三个方向角的余弦表示：

$$\cos\alpha=\frac{x}{r},\quad \cos\beta=\frac{y}{r},\quad \cos\gamma=\frac{z}{r}$$

其中$\vec{i}$、$\vec{j}$、$\vec{k}$为x, y, z方向的单位矢量。

若质点在二维空间运动，则位置矢径$\vec{r}=x\vec{i}+y\vec{j}$，如图1－5所示，其$\vec{r}$大小为：

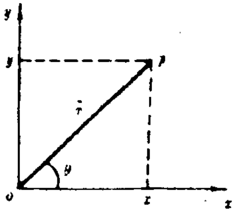

图1－5

$$r=|\vec{r}|=\sqrt{x^2+y^2}$$

方向由$\theta=\operatorname{arctg}\dfrac{y}{x}$表示。

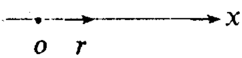

图1－6

若质点在一维空间运动，则位置矢径$\vec{r}=x\vec{i}$，如图1－6 所示。

2. 运动方程

表示质点的位置与时间t的函数关系的方程称为运动方程，即

$$\begin{cases} r=r(t) \\ x=x(t) \\ y=y(t) \\ z=z(t) \end{cases}$$

若已知运动方程，就知道了质点的运动规律，因此运动学中许多问题是找出质点的运动方程。

3. 轨道方程

从运动方程中消去时间t，就得到质点的轨道方程。如质点运动方程为：

$$\begin{cases} x=3\sin\dfrac{\pi}{6}\ t=x(t) & ① \\ y=3\cos\dfrac{\pi}{6}\ t=y(t) & ② \\ z=0=z(t) & ③ \end{cases}$$

① ^{2}+ ② ^{2} 消去 t 得到轨道方程为:

$$\left(\frac{x}{3}\right)^2+\left(\frac{y}{3}\right)^2=1\ , \qquad z=0$$

其轨道为一圆。

（六）位移

表示质点位置变化的大小和方位的一个矢量为位移。它的方向为由初位置指向末位置，如 t 时刻质点位于 A 点，$t+\Delta t$ 时刻质点位于 B 点，则位移矢量为 $\overrightarrow{AB}$，如图 1－7 所示。

在坐标系中 $\overrightarrow{AB}=\Delta\vec{r}=\vec{r}(t+\Delta t)-\vec{r}(t)$ 如图 1－8 所示。

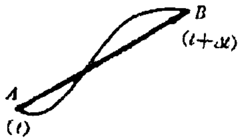

图 1－7

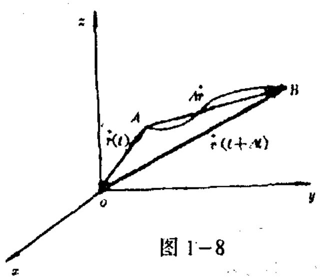

图 1－8

位移和路程的区别:

位移为一矢量，反映质点位置变化的大小和方位，是一有向直线。

路程为一标量，是质点实际走过的路径的长度，恒为正值，可以是直线的长度，也可以是曲线的长度，一般用 ΔS 来表

示。例如一个人沿圆周走一圈又回到原来位置，则路程为 $2\pi R$，而位移却是零。

路程和位移大小何时相等，有两种情况：(1)方向不变的直线运动；(2)当 $\Delta t \to 0$，取极限情况，位移大小等于路程。

一般情况下 $|\Delta \vec{r}| \neq \Delta S$。

在此处还要注意一点：位置矢径和位移矢量与参照系的选择是有关的。相对于不同的参照系，其位矢与位移并不一定相同。

（七）直线运动中的位移、速度、加速度

1. 位置矢径

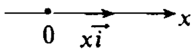

图 1－9

由图 1－9 可知：

$\vec{r} = x\vec{i}$

因为 $\vec{r}$ 矢量，只有沿 x 正、负两个方向，故可不用矢量表示。$x>0$，表示质点位于原点右方；$x<0$，表示质点位于原点左方。其运动方程为：$x=x(t)$。

2. 位移

$\Delta\vec{r}=\Delta x\vec{i}=\overrightarrow{AB}$ 位移方向只有两个方向（x 正向或 x 负向），因此直线运动中的位移矢量也可不用矢量表示：直线运动中位移 $AB=\Delta x=x(t+\Delta t)-x(t)$，$\Delta x$ 绝对值表示位移大小，$\Delta x>0$ 表示位移矢量指向 x 正向，如图 1－10 (a)；$\Delta x<0$ 表示位移矢量指向 x 负向，如图 1－10 (b)。

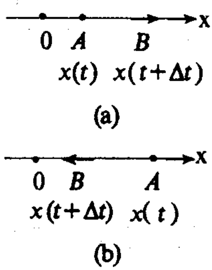

图 1－10

3. 速度

(1) 平均速度：$\bar{v}=\dfrac{\overrightarrow{AB}}{\Delta t}$ 即：在

Δt 时间内质点的位移与相应时间 Δt 的比称为质点在 Δt 时间内的平均速度。$\bar{\vec{v}}$ 为一矢量，其矢量方向与 $\vec{AB}$ 方向相一致。在直线运动中平均速度因只能有两个方向，故当标量处理，即 $\bar{v}=\dfrac{\Delta x}{\Delta t}$ 。$\bar{\vec{v}}$ 的方向由 Δx 正负决定，$\Delta x>0$, $\bar{\vec{v}}$ 指向 x 正向；$\Delta x<0$, $\bar{\vec{v}}$ 指向 x 负向。

(2) 瞬时速度：质点在某时刻或某位置时的瞬时速度（以下简称速度）等于当 $\Delta t\to 0$ 时平均速度的极限值。其数学表达式为

$$\vec{v}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\vec{AB}}{\Delta t}$$

在直线运动中：

$$v=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{AB}{\Delta t}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{x(t+\Delta t)-x(t)}{\Delta t}=\frac{dx}{dt}$$

$\vec{v}$ 的方向：$v>0$，物体向 x 正向运动；$v<0$，物体向 x 负向运动。

4. 加速度

(1) 平均加速度：质点在 Δt 时间内速度的增量 $\Delta\vec{v}$ 与产生此增量相应时间的比定义为在 Δt 时间内的平均加速度。其数学表达式为：

$$\bar{\vec{a}}=\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

$\bar{\vec{a}}$ 为一矢量，其方向与 $\Delta\vec{v}$ 方向相同。

(2) 瞬时加速度：质点在某时刻的瞬时加速度（以后简称加速度）等于当 $\Delta t\to 0$ 时平均加速度的极限值。其数学表示为：

$$\vec{a}=\lim_{\Delta t\to 0}\bar{\vec{a}}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\vec{v}(t+\Delta t)-\vec{v}(t)}{\Delta t}$$

$\vec{a}=\dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$，加速度为一矢量，其方向为 $\mathrm{d}\vec{v}$ 的方向。

在直线运动中：$a=\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=\dfrac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}$

$$\vec{a}\text{的方向}\begin{cases}a>0, & \text{指向 } x \text{ 正方向；}\\ a<0, & \text{指向 } x \text{ 负方向。}\end{cases}$$

(八) 曲线运动中的速度、加速度

1. 运动迭加原理

任何一个复杂的运动可以看成几个各自独立的简单运动的迭加而成；而任何一个方向的运动都不会因为任何另外一个方向的运动是否存在而受到影响。

2. 曲线运动中的速度

(1) 平均速度

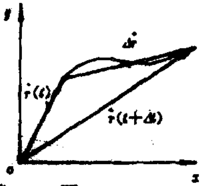

图 1-11

$\bar{\vec{v}}=\dfrac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$，$\bar{\vec{v}}$ 的方向与 $\Delta\vec{r}$ 的方向相同。

如图 1-11 所示。

(2) 瞬时速度：$\vec{v}=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}=\dfrac{\mathrm{d}\vec{r}}{\mathrm{d}t}$

$\vec{v}$ 为一矢量，其方向为 $\mathrm{d}\vec{r}$ 的方向，其大小等于瞬时速率。

这里要特别注意，平均速率和平均速度的区别：

平均速率 $=\dfrac{\text{路　程}}{\text{时间 }\Delta t}$，为一标量，

平均速度 $=\dfrac{\text{位　移}}{\text{时间 }\Delta t}$，为一矢量。

当 $\Delta t\to 0$ 时，瞬时速度的大小就等于瞬时速率。

证明上述结论:

分析：例如一质点作曲线运动，在 Δt 时间内走过的弧长为 $\Delta\overset{\frown}{S}$，即为路程 （$\Delta\overset{\frown}{S}$ 为运动轨道上的一部分）。弦长 $\overline{AB}=\Delta\overline{S}$ 为位移的大小，$\Delta\overset{\frown}{S}$ 弧对应的角度为 2α，半径为 r（如图 1－12 所示）。要证明当取 $\Delta t\to 0$ 的极限时，$\Delta\overset{\frown}{S}$ 与 $\Delta\overline{S}$ 是等价的，只要证明此极限 $\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\overline{S}}{\Delta\overset{\frown}{S}}=1$ 即可。

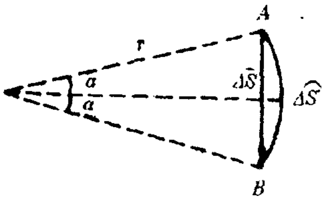

图 1－12

证明：$\because\ \sin\alpha=\dfrac{\frac{1}{2}\Delta\overline{S}}{r}$　　$\therefore\ \Delta\overline{S}=2r\sin\alpha$

又 $\because\ \Delta\overset{\frown}{S}=2r\alpha$

$$\therefore\ \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\overline{S}}{\Delta\overset{\frown}{S}}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{2r\sin\alpha}{2r\alpha}=\lim_{\substack{(\Delta t\to 0)\\ \Delta\alpha\to 0}}\frac{\sin\alpha}{\alpha}=1$$

即当 $\Delta t\to 0$ 时，弧长与弦长相等。得知瞬时速度的大小就等于瞬时速率。证毕。

在直角坐标系中，$\vec{v}=\dfrac{dx}{dt}\vec{i}+\dfrac{dy}{dt}\vec{j}+\dfrac{dz}{dt}\vec{k}$

$$=\frac{d\vec{r}}{dt}=v_x\vec{i}+v_y\vec{j}+v_z\vec{k}$$