# 二十一世纪基础物理学

ERSHIYISHIJIJICHUWULIXUE

上

主　编
黄　涛
孙诒丹
林承志

辽宁大学出版社

# 二十一世纪基础物理学

## 上　册

主　编　黄　涛　孙诒丹　林承志
主　审　赵大宇

辽宁大学出版社

图书在版编目（CIP）数据

二十一世纪基础物理学（上）/黄涛等主编. —沈阳：辽宁大学出版社，2003. 6
ISBN 7—5610—4502—6

Ⅰ. 二… Ⅱ. 黄… Ⅲ. 物理学—高等学校—教材 Ⅳ. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 045409 号

责任编辑：甄 海　　封面设计：邹本忠
责任校对：齐 月

辽 宁 大 学 出 版 社 出 版
地址：沈阳市皇姑区崇山中路 66 号　　邮编：110036
联系电话：024—86864613　　http：//www.lnupress.com.cn
Email：mailer@lnupress.com.cn
辽宁大学印刷厂印刷　　辽宁大学出版社发行

幅面尺寸：140mm×203mm　　印张：13.25
字数：350 千字

2003 年 6 月第 1 版　　2003 年 6 月第 1 次印刷
定价：22.00 元

# 序

当新世纪的曙光已经揭开了宇宙天穹的帷幕，人类社会悄然走进二十一世纪之时，由多所院校骨干教师编写的《二十一世纪基础物理学》同我们见面了。它的问世，标志着现代基础物理学教材建设取得了又一丰硕成果。作为同行的我为他们辛勤的、创造性的工作感到欣慰。

基础物理学是自然科学的基础，其主要作用是研究物质结构和运动的基本规律。随着人类社会的进步和生产技术的发展，人们对物理现象和物理规律的探索研究不断取得新的突破，与此同时，物理学的发展也促进了许多新兴学科、交叉学科和边缘学科的产生和发展。但是，我们也清楚地看到，在我国近些年的基础物理教学，特别是在非物理专业的基础物理教材中，现代物理的思想、基本概念和研究方法没有得到较好的反映。因此，如何反映现代物理学发展的最新成就，使基础物理学的教学内容更好地适应当前科技发展的需要，就成为目前基础物理学教材建设的一个重要课题。《二十一世纪基础物理学》正是通过对这一课题进行深入的研究和探讨，并根据作者们自己的教学实践，在深入研究各高校非物理专业的不同学科教学需要的基础上，依据现行教学大纲编写而成的。它的特点是：1. 以高等教育改革的基本要求为指导，将素质教育的思想贯穿到高校基础物理教学的课堂之中，在内容的选择上尽量贴近当代大学生的知识结构和能力，注重课堂教学的实效性。2. 该套教材的结构逻辑性和教学逻辑性鲜明，内容的承启符合大学生的认知规律，全书内容深入浅出，删繁就简，使非物理专业的大学生能在较短的时间内对基础物理学的内容有一个整体

的感悟和理解。3.由于许多近代和现代科学技术的前沿课题都与基础物理学的内容有着密切的联系，因此，在教材适当的地方开辟了一些“窗口”，引导学生向窗外的世界瞭一瞭，望一望，以求达到开阔他们的学习视野，开启他们的大脑思维，增强他们的创新意识，培养他们的科研能力，提高他们的科学素质的目的。4.这套教材通过从正反两个方面介绍基础物理学知识，使学生能清楚地看到科学技术是把双刃剑，它既是第一生产力，起到改天换地造福于人类的作用，也可被错误地理解和应用，造成毒化心灵、污染环境、甚至威胁人类生存的后果。

综上所述，我满怀信心地向二十一世纪国家未来的建设者们推荐这套凝聚着一线教师丰富教学经验的教科书，同时也希望编者在今后的教学实践中继续努力，为高等教育事业的发展作出更大的贡献。

魏国柱

二〇〇三年五月八日于东北大学

# 目　　录

## 第一篇　力　学

## 第二篇　热　学

# 第一篇　力　　学

物理学是研究物质运动中最普遍、最基本运动形式的基本规律的一门学科，这些运动形式包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核运动以及其他微观粒子运动等。物理学中研究机械运动的规律及其应用的部分称为力学。以牛顿定律为基础的理论叫牛顿力学或经典力学。本篇主要讲述经典力学的基础，包括质点力学和部分刚体力学，着重阐明动量、角动量和能量诸概念及相应的守恒定律。狭义相对论的时空观已是当今物理学的基础概念，它和牛顿力学联系紧密，本篇最后一章将介绍狭义相对论的基本概念和原理。

经典力学是最早形成的物理理论，许多后来的物理学理论的形成都受经典力学的深刻影响。在 20 世纪初虽然发现了它的局限性，在高速领域为相对论所取代，在微观领域为量子力学所取代，但在一般的技术领域，经典力学仍保持着充沛的活力而起着重要的基础理论的作用。

# 第一章　质点运动学

在物质的多种多样的运动形式中，最简单而又最基本的运动是物体位置的变化，称为机械运动。力学的研究对象就是机械运动的客观规律及其应用。

力学中研究物体位置随时间变化规律的内容叫运动学。由于实际的物体结构复杂，大小各异，为了从最简单的研究开始，引入质点模型，即当不涉及物体的转动和形变时以具有一定质量的点来代表物体。本章讲解质点运动学，与中学物理不同的是，这里运用了微积分这一数学工具，还普遍加强了矢量概念。

## §1.1　质点的运动方程

某物体的运动总是相对于其他物体或物体系而言的。这些被选作参考的物体或物体系叫做参考系。相对于不同的参考系，同一物体的运动，会表现为不同的形式。例如，一个自由下落的石块的运动，在地面参考系中观察，它是直线运动。如果在近旁驰过的车厢内观察，即以行进的车厢为参考系，则石块将作曲线运动。可见，物体运动的形式随参考系的不同而不同，这就是运动的相对性。当我们描述一个物体的运动时，必须指明所选择的参考系。

为定量描述物体的运动，需要在参考系上建立坐标系，常用的坐标系是直角坐标系，有时也选用极坐标系、球坐标系或柱坐标系等。

**1. 位矢**

质点的位置可以用矢量的概念简洁清楚地表示出来。为了表

示质点在时刻 $t$ 的位置 $p$，我们从原点向此点引一有向线段，用矢量 $\boldsymbol{r}$ 表示。$\boldsymbol{r}$ 的方向说明了 $p$ 点相对于坐标轴的方位，$\boldsymbol{r}$ 的大小(即它的模)表明了原点到 $p$ 的距离。这种用来确定质点位置的矢量 $\boldsymbol{r}$ 叫做质点的位置矢量(简称位矢)。

如图 1.1 所示，$S$ 代表上海，$G$ 代表广州，选择北京的位置 $O$ 作为原点，则上海和广州的位置可分别由位矢 $\boldsymbol{r}_1$ 和 $\boldsymbol{r}_2$ 来表示。

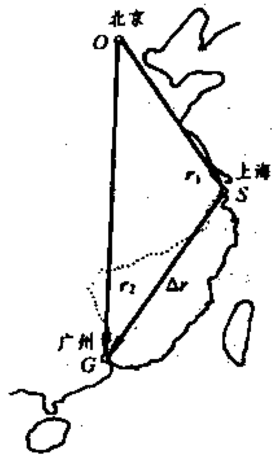


图 1.1 用位矢描述质点的位置

设质点所在位置的坐标为 $x$、$y$、$z$，那么，坐标 $x$、$y$、$z$ 就是 $\boldsymbol{r}$ 沿坐标轴的三个分量，以 $\boldsymbol{i}$、$\boldsymbol{j}$、$\boldsymbol{k}$ 表示沿 $x$、$y$、$z$ 三轴正方向的单位矢量，则位矢可写成

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k} \qquad (1-1)$$

位矢的大小

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

位矢的方向余弦

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

**2. 运动方程**

在一选定的参考系中，质点运动中的每一时刻，均有一位置矢量与之对应，即位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 为时间 $t$ 的函数。

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t) \qquad (1-2)$$

称做质点的运动方程，知道了运动方程，我们就能确定任一时刻质点的位置，还能确定质点的全部运动情况。(1－2) 式的正交分解式为

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t) = x(t)\,\boldsymbol{i} + y(t)\,\boldsymbol{j} + z(t)\,\boldsymbol{k} \qquad (1-3)$$

已知 $x(t)$、$y(t)$、$z(t)$，即知 $\boldsymbol{r}(t)$，反之亦然。因此，称标量函数 $x = x(t)$、$y = y(t)$、$z = z(t)$ 为质点运动方程的标量形式，而 $x(t)$、

$y(t)$、$z(t)$ 则是以 $t$ 为参数的质点运动的轨迹方程。

**例题 1－1** 一质点的运动方程为

$\boldsymbol{r} = R\cos\omega t\,\boldsymbol{i} + R\sin\omega t\,\boldsymbol{j}$ 其中 $R$ 和 $\omega$ 为正值常量，求以形式 $f(x,y) = 0$ 写出的轨迹方程。

**解** 由运动方程可知

$$x = R\cos\omega t,\ y = R\sin\omega t$$

这正是圆周的参数方程，知轨迹为圆，消去 $t$

得 $$x^2 + y^2 = R^2$$

## §1.2 速度和加速度

为了描述机械运动，我们不仅要有表示物体位置的物理量，还要有反映物体位置变化以及变化的快慢程度的物理量。

1. 位移

设质点在 $t$ 和 $t+\Delta t$ 时刻分别通过 $A$ 点和 $B$ 点。其位矢分别是 $\boldsymbol{r}_A$ 和 $\boldsymbol{r}_B$（见图 1.2），在时间 $\Delta t$ 内，质点的位置变化可用从 $A$ 到 $B$ 的有向线段 $\overrightarrow{AB}$ 来表示，$\overrightarrow{AB}$ 称为质点的位移矢量（简称位移）。位移 $\overrightarrow{AB}$ 除了表明 $B$ 点与 $A$ 点的距离外，还表明 $B$ 点相对于 $A$ 点的方位。

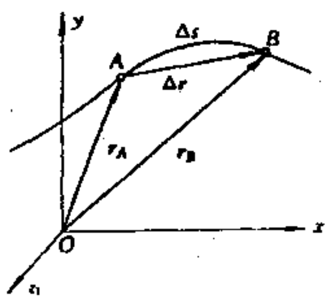


图 1.2 曲线运动中的位移

位移是矢量，由图 1.2 可以看出

$$\overrightarrow{AB} = \boldsymbol{r}_B - \boldsymbol{r}_A = \Delta \boldsymbol{r} \qquad (1-4)$$

即位移 $\Delta\boldsymbol{r}$ 就是位矢 $\boldsymbol{r}$ 在 $\Delta t$ 时间内的增量。

位移刻画质点在一段时间内位置变动的总效果。一般说来，它不表示质点所经历的路程。如当一人自上海乘火车到广州，他所走

过的路程如图 1.1 中的虚线所示，而他位置的变动即位移则要用 $\Delta \boldsymbol{r}$ 来表示。只有在时间 $\Delta t$ 趋近于零时，位移的大小和路程才可看作相等。

**2. 速度**

如图 1.3 所示，在时刻 $t$ 到 $t+\Delta t$ 的这段时间 $\Delta t$ 内，质点的位移为 $\Delta \boldsymbol{r}$，我们把 $\Delta \boldsymbol{r}$ 与 $\Delta t$ 的比值，叫做质点在时间 $\Delta t$ 内的平均速度。

$$\overline{\boldsymbol{v}} = \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} \qquad (1-5)$$

这就是说，平均速度的方向与位移 $\Delta \boldsymbol{r}$ 的方向相同，平均速度的大小与在相应的时间内每单位时间的位移相同。用平均速度描写物体的运动，是比较粗糙的，如果要确定质点在某一时刻 $t$ 的运动状况，应使 $\Delta t$ 尽量减小而趋近于零，以平均速度的极限来表示

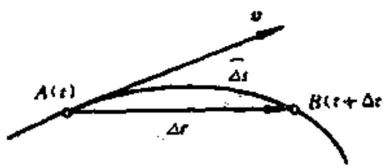


图 1.3　速度矢量

$$\boldsymbol{v} = \lim \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t} \qquad (1-6)$$

即质点的瞬时速度等于位矢对时间的一阶导数。

瞬时速度(以下简称速度)是矢量，其方向就是当 $\Delta t$ 趋近于零时，位移 $\Delta \boldsymbol{r}$ 的极限方向。如图 1.3 所示，当 $\Delta t$ 趋近于零时，$B$ 点逐渐趋近于 $A$ 点，而 $\Delta \boldsymbol{r}$ 的方向将趋近于 $A$ 点的切线，所以质点的速度方向，就是沿着轨迹上质点所在处的切线而指向运动的前方。

瞬时速度的大小叫瞬时速率，以 $v$ 表示

$$v = |\boldsymbol{v}| = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{|\Delta \boldsymbol{r}|}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} \qquad (1-7)$$

速度 $\boldsymbol{v}$ 在直角坐标轴的正交分解式为

$$\boldsymbol{v} = v_x \boldsymbol{i} + v_y \boldsymbol{j} + v_z \boldsymbol{k} \qquad (1-8)$$

将(1－3)式对时间求导数

$$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k} \tag{1－9}$$

与前式对比，得速度的三个分量分别是

$$v_x=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t},v_y=\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t},v_z=\frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t} \tag{1－10}$$

速度的大小和方向余弦为

$$v=\sqrt{v_x{}^2+v_y{}^2+v_z{}^2}$$

$$\cos\alpha_v=\frac{v_x}{v},\cos\beta_v=\frac{v_y}{v},\cos\gamma_v=\frac{v_z}{v}$$

**3. 加速度**

如图 1.4 所示，一质点在时刻 $t$，位于 $A$ 点时的速度为 $\boldsymbol{v}_A$，在时刻 $t+\Delta t$，位于 $B$ 点时的速度为 $\boldsymbol{v}_B$. 在时间 $\Delta t$ 内，速度的增量为

$$\Delta\boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}_B-\boldsymbol{v}_A$$

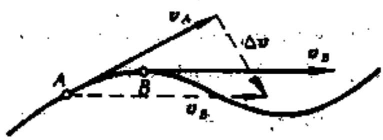

图 1.4 速度的增量

在曲线运动中，速度的变化包括速度大小的变化和速度方向的变化，与平均速度的定义相类似，我们引入平均加速度。

$$\bar{\boldsymbol{a}}=\frac{\Delta\boldsymbol{v}}{\Delta t} \tag{1－11}$$

平均加速度的方向与速度增量 $\Delta\boldsymbol{v}$ 方向相同，其大小反映 $\Delta t$ 内速度的平均变化率。为了精确地描述质点在任一时刻的速度变化率，必须引入瞬时加速度的概念。

$$\boldsymbol{a}=\lim_{\Delta t\to0}\frac{\Delta\boldsymbol{v}}{\Delta t}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2} \tag{1－12}$$

即质点的瞬时加速度(以下简称加速度)等于速度对时间的一阶导数，或等于位矢对时间的二阶导数。

加速度 $\boldsymbol{a}$ 在直角坐标系中的正交分解式为

$$\boldsymbol{a}=a_x\boldsymbol{i}+a_y\boldsymbol{j}+a_z\boldsymbol{k} \tag{1－13}$$

将(1－8)式对时间求导数

$$a=\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k} \qquad (1-14)$$

$$=\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}^2z}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{k}$$

即加速度的三个分量分别是

$$a_x=\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2},a_y=\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2},a_z=\frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2z}{\mathrm{d}t^2} \qquad (1-15)$$

加速度的大小为

$$a=\sqrt{{a_x}^2+{a_y}^2+{a_z}^2}$$

加速度是矢量，加速度的方向就是当 $\Delta t$ 趋近于零时，速度增量 $\Delta\boldsymbol{v}$ 的极限方向。一般情况下，$\Delta\boldsymbol{v}$ 的方向和它的极限方向不同于速度 $\boldsymbol{v}$ 的方向，因而加速度的方向与同一时刻速度的方向不一致。在曲线运动中，加速度的方向总是指向曲线的凹侧。

**例题 1－2** 求例题 1－1 所谈运动中质点的速度和加速度。

**解** 质点在任一时刻的速度

$$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}=-R\omega\sin\omega t\,\boldsymbol{i}+R\omega\cos\omega t\,\boldsymbol{j}$$

它沿两个坐标轴的分量分别为

$$v_x=-R\omega\sin\omega t,v_y=R\omega\cos\omega t$$

速率为

$$v=\sqrt{{v_x}^2+{v_y}^2}=R\omega$$

由于 $v$ 是常量，表明质点作匀速圆周运动。

质点在任一时刻的加速度

$$\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=-R\omega^2\cos\omega t\,\boldsymbol{i}-R\omega^2\sin\omega t\,\boldsymbol{j}$$

而 $$a_x=-R\omega^2\cos\omega t,a_y=-R\omega^2\sin\omega t$$

加速度的大小为