

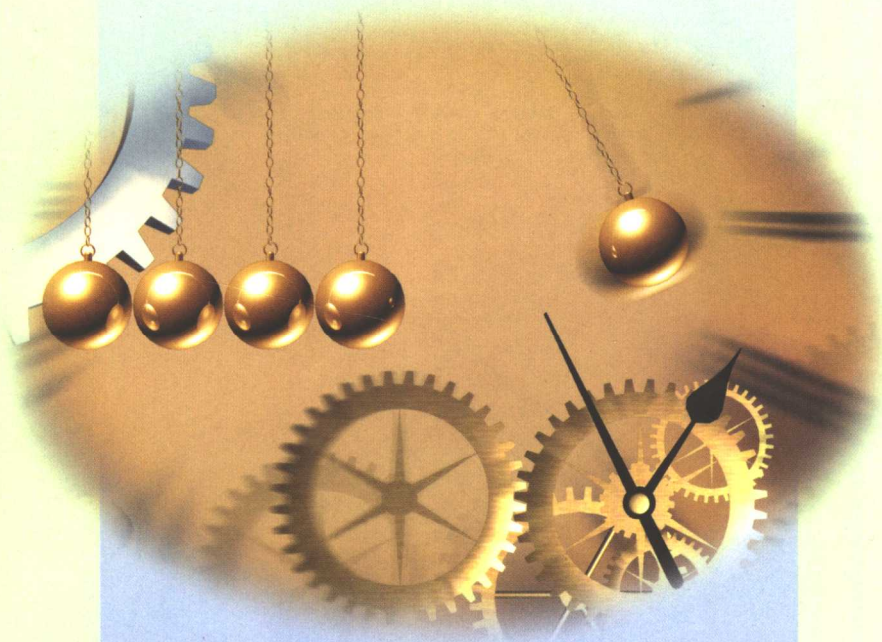
全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教学指导委员会审定

大学物理学

基本原理及生物效应

胡玉才 李玉侠 主编



中国农业出版社

全国高等农业院校教材
全国高等农业院校教学指导委员会审定

大 学 物 理 学

基本原理及生物效应

胡玉才 李玉侠 主编

中 国 农 业 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理学基本原理及生物效应/胡玉才, 李玉侠主
编. —北京: 中国农业出版社, 2004. 1
全国高等农业院校教材
ISBN 7-109-08551-1

I. 大... II. ①胡... ②李... 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 120734 号

中国农业出版社出版
(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)
(邮政编码 100026)

出版人: 傅玉祥
责任编辑: 彭明喜

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2004 年 1 月第 1 版 2004 年 10 月北京第 2 次印刷

开本: 787mm×960mm 1/16 印张: 20.25

字数: 361 千字

定价: 30.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

主 编 胡玉才（大连水产学院）

李玉侠（沈阳农业大学）

参 编 （以姓氏笔画为序）

王乐新（黑龙江八一农垦大学）

汪 静（大连水产学院）

周 曼（南京林业大学）

侯双印（河北农业大学）

曾庆军（湖北农学院）

电子版主编 杨桂娟（大连水产学院）

主 审 李仁宸（大连水产学院）

物理学是自然科学的基础和发源地，是培养学生科学素质和科学思维方法、提高学生科学研究能力的重要基础课。物理学拥有一个庞大的知识体系，从经典物理到近代物理和现代物理，每个分支都枝繁叶茂、博大精深。近百年来，相对论、量子力学、光电效应、原子结构、激光、半导体等一系列重大成就极大地推动了社会的发展和进步，为今天高度的物质文明奠定了坚实的基础。随着科学技术的迅速发展，各门学科又强烈地朝着相互交叉、相互渗透的方向发展，现已形成了农业物理学、生物物理学、生物电磁学、辐射生物学、环境生物物理学等新兴的交叉学科。物理学的基本原理和实验技术不仅在工程技术方面得以应用，而且在生物、医学、农业等领域中也得到了广泛的应用。作为农林类和生物类的大学生，学习大学物理不仅仅是为后续课程打好基础，而更重要的是通过大学物理课的学习可以丰富大学生的知识底蕴，培养科学素质，提高发现问题、分析问题和解决问题的能力。

为适应 21 世纪注重对学生综合素质和创新能力培养的需要，为了更好地发挥物理学在农林类和生物类本科生培养中的作用，根据多年来的教学研究成果和多次参与农、林、水产院校合编教材的经验，编写了这本教材。我们的编写原则是让学生理解物理学的基本概念和术语，掌握最基本的物理学原理，能够从宏观物理因子的生物效应出发，把物理学与生物学联系起来，启发学生有意识地将物理学的基本原理和科学的思维方法应用于农业生物科学的各个领域之中。本教材具有以下几个特点：①物理学理论系统完整，基本规律精炼，突出教材易学性和易教性的特点；②取材适当，基本概念清晰，物理图像鲜明；③通过向学生介绍物理环境因子的宏观生物效应，让他们学习如何将物理学的基本原理应用于农业和生物学的各个领域之中；④本书配有学生用光盘一张，内含 15 个专题近 5 万字的阅读材料、学生自学辅导、习题答案和多套综合练习题等内容，是一本立体化的教材；⑤为了便于教师组织教学，本书还为教师配备了一张光盘，其中主要

内容是教学基本要求、72 学时的教学日历、电子教案、习题详解、若干个 flash 教学课件和测试套题库等内容。

本书由周曼编写第一章；汪静编写第二章和第九章；胡玉才编写第三章；李玉侠编第四章和第五章；王乐新编写第六章和第十章；曾庆军编写第七章；侯双印编写第八章。杨桂娟编制了学生用盘和教师用盘的全部内容，胡玉才对电子教案进行了试用和修改。在本书的申报、编写和统稿过程中，始终得到了大连水产学院李仁宸教授的帮助和指导，他还审阅了本书全稿，提出了许多宝贵意见。另外，在本书的编写过程中，我们参考了部分兄弟院校的教材；在出版过程中，得到了中国农业出版社和各个参编院校教务处领导的大力支持，在此书出版之际，我们谨致以衷心的感谢。

由于参编人员较多，缺点和不足之处在所难免，恳请各位读者不吝赐教，提出宝贵的意见和建议，以便日后进一步完善和提高。

编 者

2003 年 10 月



前言

第一章 生物流体力学基础	1
§ 1-1 质点力学中的基本概念和基本定律	1
§ 1-2 流体静力学与流体的流动	10
§ 1-3 液体的表面性质	16
§ 1-4 伯努力方程及应用	23
§ 1-5 黏滞流体的流动	27
本章要点	33
思考题	35
习题一	35
第二章 振动和波动及其生物效应	38
§ 2-1 简谐振动的特征及描述	39
§ 2-2 阻尼振动与受迫振动	43
§ 2-3 简谐振动的合成	44
§ 2-4 机械振动的生物效应	46
§ 2-5 机械波的产生和传播	47
§ 2-6 平面简谐波	49
§ 2-7 惠更斯原理、波的干涉	54
§ 2-8 声波及其生物效应	57
本章要点	61
思考题	62
习题二	63
第三章 热物理学基础	65
§ 3-1 理想气体动理论的基本公式	66
§ 3-2 能量均分定理	72

§ 3-3 气体分子按速率分布律和按能量分布律	75
§ 3-4 热力学第一定律	80
§ 3-5 气体的摩尔热容 焓	83
§ 3-6 热力学第一定律对理想气体的应用	87
§ 3-7 循环过程	91
§ 3-8 热力学第二定律	95
§ 3-9 熵及熵增加原理	99
§ 3-10 自由能和自由焓	104
§ 3-11 气体内的输运过程	106
本章要点	111
思考题	114
习题三	115
第四章 电场及其生物效应	117
§ 4-1 电荷与电场	117
§ 4-2 电场强度与电势	119
§ 4-3 高斯定理	129
§ 4-4 电场中的导体和电介质	136
§ 4-5 生物电现象	142
§ 4-6 电场生物效应	148
本章要点	152
思考题	153
习题四	154
第五章 磁场及生物磁现象	156
§ 5-1 磁场及其描述	156
§ 5-2 电流及运动电荷的磁场	158
§ 5-3 磁场中的高斯定理和安培环路定理	162
§ 5-4 电流与磁场的相互作用	166
§ 5-5 物质的磁性	171
§ 5-6 生物磁场	174
§ 5-7 磁致生物效应	177
本章要点	181
思考题	182

习题五	182
第六章 电磁场及其与生物体的相互作用	185
§ 6-1 电磁场的基本规律	185
§ 6-2 电磁波	189
§ 6-3 微波的生物效应	192
§ 6-4 黑体辐射 红外技术及应用	195
§ 6-5 紫外线的生物学效应及应用	197
§ 6-6 X 射线及其应用	201
本章要点	204
思考题	205
习题六	206
第七章 光波及光的生物效应	207
§ 7-1 光源及光的生物效应	208
§ 7-2 光的干涉	214
§ 7-3 光的衍射	222
§ 7-4 光的偏振	229
§ 7-5 光强、能量与光度学	235
§ 7-6 生物体的发光性质	240
§ 7-7 生物学研究中常用的光学仪器	242
本章要点	245
思考题	246
习题七	247
第八章 量子物理学基础	249
§ 8-1 经典物理学遇到的困难	250
§ 8-2 光子与光的二象性	253
§ 8-3 粒子的波动性	255
§ 8-4 量子力学概述	257
§ 8-5 氢原子和氢原子光谱	263
§ 8-6 电子自旋和电子分布规律	268
§ 8-7 光合作用的基本原理	270
§ 8-8 光谱学在生命科学中的应用	272

本章要点	276
思考题	277
习题八	277
第九章 激光及其生物效应	280
§ 9-1 激光的发射原理	280
§ 9-2 激光的特性及应用	284
§ 9-3 激光的生物效应	285
§ 9-4 激光器的种类	289
本章要点	290
思考题	291
第十章 电离辐射生物效应	292
§ 10-1 电离辐射的基本概念	293
§ 10-2 电离辐射与物质的相互作用	296
§ 10-3 水的电离辐射	298
§ 10-4 电离辐射的生物效应	301
§ 10-5 低水平辐射的兴奋效应	303
思考题	306
附录一 矢量分析	308
附录二 基本常量	312
主要参考文献	313

第一章

生物流体力学基础

流体是气体和液体的统称，它们最基本的特征是可以流动，即流体内部各部分之间极易发生相对运动，因而没有固定的形状。流动性赋予了流体生命气息。

流体力学是研究流体平衡和运动的规律的科学。它在工业与农业工程中的诸多方面有着广泛的应用。植物体内水分和养料的运输、动物体内的血液循环以及动物的呼吸过程，海水、淡水渔业环境等都与流体力学有关。

作为物理学原理的基础，本章首先概要地介绍了质点力学的若干基本概念，然后讨论流体静力学、流体的流动、表面张力、伯努力方程和黏滞流体的流动等基本问题及其在生物学中的应用。

本章基本要求：

1. 了解质点力学的基本物理量和基本定律。
2. 了解静止流体内的压强分布。
3. 理解理想流体、定常流动、流线和流管等概念。
4. 掌握连续性原理及其应用。
5. 理解表面张力和表面张力系数的意义。
6. 了解毛细现象及其应用，理解附加压强。
7. 掌握伯努力方程及其应用。
8. 了解实际流体的黏滞性和黏滞定律的物理意义。
9. 理解泊肃叶公式，会应用公式计算黏滞流体中的流量问题。
10. 了解斯托克斯公式的意义及离心分离问题。

§ 1-1 质点力学中的基本概念和基本定律

一、质点运动的描述

具有一定质量而没有大小和形状的点称为质点。实际物体结构复杂，大小

形状各异,但在一定条件下,可以把它们简化为质点进行研究。

为判断一个质点是否运动,需假定一个或一群物体处于静止状态,这些被假定不动的物体称为参考系。对于质点运动的描述总是对某参考系而言的。通常取地面作为参考系。

为了定量描述质点运动规律,需要在参考系上建立固定的坐标系。最常用的是笛卡儿直角坐标系。

1. 位置矢量及位移 质点在空间的位置可以用一矢量简捷清楚地表示出来。如图 1-1 所示,质点在 t 时刻的位置在 P 点,我们从坐标原点 O 向此点引一有向线段 OP ,并记作矢量 $\mathbf{r}$,把 $\mathbf{r}$ 称为质点的位置矢量,简称位矢。质点运动时,它的位矢是随时间变化的,即 $\mathbf{r}$ 是 t 的函数,记作

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1-1)$$

这就是质点的运动方程。

在直角坐标系中,有

$$\mathbf{r} = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1-2)$$

位移是描写质点位置变动的大小和方向的物理量。质点在一段时间内位置的改变,称为它在这段时间内位移。如图 1-2 所示,设质点在 t 和 $t + \Delta t$ 时刻分别通过 A 点和 B 点,其位矢分别为 $\mathbf{r}_A$ 和 $\mathbf{r}_B$,则由 A 引到 B 的矢量表示位矢 $\mathbf{r}_A$ 的增量,即

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A \quad (1-3)$$

这一位矢的增量就是质点在 Δt 时间内的位移。

位移是矢量,既有大小,又有方向,它与质点所经过的路程不同,路程 ΔS ,是指 Δt 时间内质点沿轨道所经过的路程。如图 1-2 所示,它只有大小没有方向,路程是标量。

2. 速度 速度是描写质点位置变动快慢和方向的物理量。我们把位移 $\Delta \mathbf{r}$ 和发生这段位移所经历的时间 Δt 的比称做质点在这一段时间内的平均速度。以 $\bar{\mathbf{v}}$ 表示平均速度,则有

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$$

平均速度也是矢量,它的方向就是位移的方

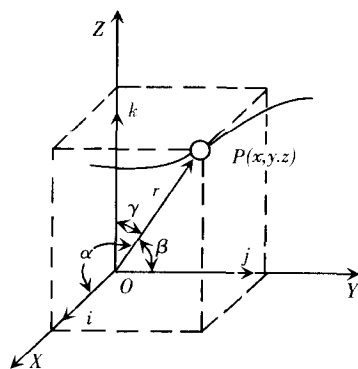


图 1-1 位置矢量

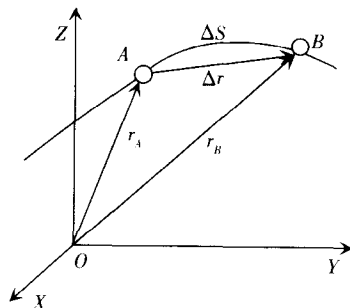


图 1-2 位移

向。当 Δt 趋于零时, 上式的极限, 即位移矢量对时间的变化率, 称为质点在 t 时刻的瞬时速度, 简称速度。以 $\boldsymbol{v}$ 表示速度, 则有

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} \quad (1-4)$$

速度的方向, 就是 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $\Delta \boldsymbol{r}$ 的方向, 即质点在 t 时刻的速度方向就是该时刻质点所在处沿运动轨道的切线且指向运动前方的方向。

速度的大小叫速率, 以 v 表示速率, 则有

$$v = |\boldsymbol{v}| = \left| \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} \right| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \boldsymbol{r}|}{\Delta t}$$

由于 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $|\Delta \boldsymbol{r}| \rightarrow \Delta S$, 则有

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \boldsymbol{r}|}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{dS}{dt} \quad (1-5)$$

这就是说速率又等于质点所走过的路程对时间的变化率。

将式 (1-2) 代入式 (1-4), 有

$$\begin{aligned} \boldsymbol{v} &= \frac{dx}{dt} \boldsymbol{i} + \frac{dy}{dt} \boldsymbol{j} + \frac{dz}{dt} \boldsymbol{k} \\ &= v_x \boldsymbol{i} + v_y \boldsymbol{j} + v_z \boldsymbol{k} \end{aligned} \quad (1-6)$$

其中, v_x 、 v_y 、 v_z 分别为 $\boldsymbol{v}$ 沿 3 个坐标轴的分量, 显然有

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt}$$

速度的大小, 即速率为

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (1-7)$$

在国际单位制 (SI 制) 中速度的单位是 m/s。

3. 加速度 加速度是描写质点运动速度变化快慢和方向的物理量, 如图

1-3 所示, 在 t 时刻, 质点位于 A 点速度为 $\boldsymbol{v}_A$, 到了 $t + \Delta t$ 时刻, 质点位于 B 点, 速度为 $\boldsymbol{v}_B$, 则 $\Delta \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_B - \boldsymbol{v}_A$ 是 Δt 时间内质点速度的增量。则 $\Delta \boldsymbol{v}$ 与 Δt 之比称为质点在这段时间内的平均加速度, 以 $\boldsymbol{a}$ 表示平均加速度, 则有

$$\boldsymbol{a} = \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}$$

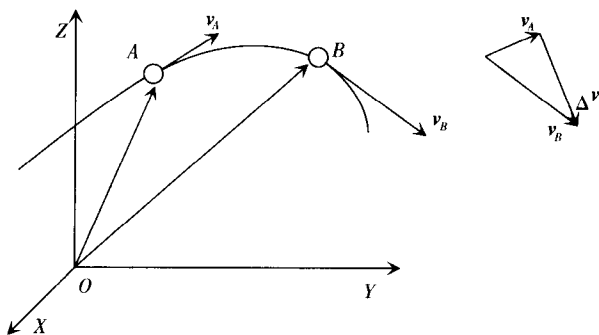


图 1-3 速度增量

当 Δt 趋于零时, 上式的极限即速度对时间的变化率, 称为质点在 t 时刻的瞬时加速度, 简称加速度, 以 $\mathbf{a}$ 表示加速度, 则有

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} \quad (1-8)$$

加速度也是矢量。不管是速度大小发生变化还是速度方向发生变化, 都有加速度。将式 (1-6) 代入式 (1-8), 有

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= \frac{dv_x}{dt} \mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt} \mathbf{j} + \frac{dv_z}{dt} \mathbf{k} \\ &= a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j} + a_z \mathbf{k} \end{aligned} \quad (1-9)$$

式中, a_x 、 a_y 、 a_z 分别为 $\mathbf{a}$ 沿 3 个坐标轴的分量, 显然有

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2}, \quad a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2 y}{dt^2}, \quad a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2 z}{dt^2}$$

加速度大小可表示为

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (1-10)$$

在国际单位制 (SI 制) 中加速度的单位是 m/s^2 。

4. 圆周运动的描述 质点做圆周运动时, 它的速率通常叫线速度。线速度随时间可能改变, 也可能不改变。但是由于其速度矢量的方向总是在改变的, 所以总是有加速度的。一般我们将加速度 $\mathbf{a}$ 分解为沿圆周切线方向和与之垂直的法线方向两个分量。若用 $\mathbf{a}_t$ 和 $\mathbf{a}_n$ 分别表示这两个分量 (图 1-4), 则有

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_t + \mathbf{a}_n$$

我们把 $\mathbf{a}_t$ 称为切向加速度, 其大小为

$$a_t = \frac{dv}{dt} \quad (1-11)$$

它表示质点速率变化的快慢。当速率随时间增大时, $\mathbf{a}_t$ 方向与速度 $\mathbf{v}$ 方向相同; 当速率随时间减小时, $\mathbf{a}_t$ 方向与速度 $\mathbf{v}$ 方向相反。我们把 $\mathbf{a}_n$ 称为法向加速度 (或向心加速度), 其大小为

$$a_n = \frac{v^2}{R} \quad (1-12)$$

式中, R 为圆的半径。法向加速度方向, 始终垂直于圆的切线沿着半径指向圆心。由于 $\mathbf{a}_t$ 总是与 $\mathbf{a}_n$ 垂直, 所以总加速度的大小为

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} \quad (1-13)$$

质点做圆周运动时, 除了可以用上述的线量描述外, 还可以用角量来描述。如图 1-5 所示, 用 θ 表示半径 R 从 OA 位置开始转过的角度, 则其所经

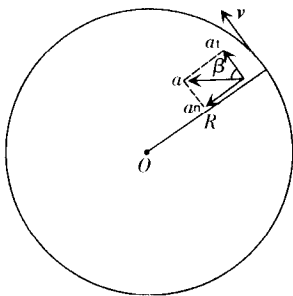


图 1-4 加速度方向

过的弧长 S 与 θ 的关系为 $S=R\theta$ 。若将此关系式代入式 (1-5) 中, 则得

$$v = \frac{dS}{dt} = R \frac{d\theta}{dt}$$

式中, $\frac{d\theta}{dt}$ 称为质点运动的角速度, 以 ω 表示角速度, 则有

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (1-14)$$

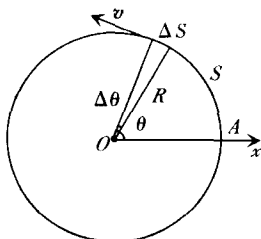


图 1-5 线速度与角速度

$$v = R\omega \quad (1-15)$$

对于做匀速率圆周运动的质点, 其 ω 和 v 均保持不变, 可求得其运动一周的时间, 即周期为

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (1-16)$$

将式 (1-15) 代入式 (1-11), 可得到

$$a_t = \frac{dv}{dt} = R \frac{d\omega}{dt}$$

式中, $\frac{d\omega}{dt}$ 称为质点运动的角加速度, 以 β 表示角加速度, 则有

$$a_t = R\beta \quad (1-17)$$

式 (1-17) 表示切向加速度等于半径与角加速度的乘积。

将式 (1-15) 代入式 (1-12), 可得到

$$a_n = \frac{v^2}{R} = R\omega^2 \quad (1-18)$$

式 (1-18) 表示法向加速度等于半径与角速度平方的乘积。

在国际单位制 (SI 制) 中, 角速度的单位是 rad/s 或 1/s, 角加速度的单位是 rad/s² 或 1/s²。

二、动量守恒定律

1. **动量** 把质点的质量 m 与其速度 v 的乘积, 称为动量, 即

$$\mathbf{P} = m\mathbf{v} \quad (1-19)$$

动量是矢量, 其方向与速度方向相同。在国际单位制即 SI 制中, 动量的单位是 kg · m/s。动量是一个状态量。

牛顿第二定律常可表述为: 质点的动量对时间的变化率与所受合外力成正比, 并且发生在这合外力的方向上, 即

$$f = \frac{dP}{dt} = \frac{d(mv)}{dt} \quad (1-20)$$

通常情况下质点的运动速度远小于光速，质量可视为恒量，于是有

$$f = m \frac{dv}{dt} = ma$$

这正是中学已学习过的牛顿第二定律的形式。

2. 冲量与动量定理 力作用到质点上，可以使质点的动量发生变化。当我们讨论力对时间的积累效果时，可将式 (1-20) 写成微分形式，即

$$f dt = dP \quad (1-21)$$

式中乘积 $f dt$ 表示力 f 在时间 dt 内的积累量，称为在 dt 时间内质点所受外力的冲量。式 (1-21) 表明在 dt 时间内质点所受合外力的冲量等于在同一时间内质点动量的增量，称为动量定理，式 (1-21) 是以微分形式给出的。

如果将式 (1-21) 两边积分，并用 P_1 、 P_2 表示质点在 t_1 、 t_2 时刻动量，则有

$$\int_{t_1}^{t_2} f dt = \int_{P_1}^{P_2} dP = P_2 - P_1$$

或写成

$$I = P_2 - P_1 \quad (1-22)$$

式中， $I = \int_{t_1}^{t_2} f dt$ 称为在 t_1 到 t_2 这段时间内合外力的冲量。式 (1-22) 是动量定理的积分形式。

3. 动量守恒定律 由若干个彼此间有相互作用的质点组成的系统，称为质点组或质点系。系统内各质点间的相互作用力称为内力，系统外物体对系统内质点的作用力称为外力。由于内力总是成对存在的，而一对力是以作用力和反作用力形式出现的，它们总是大小相等、方向相反，作用在同一直线上，所以它们的矢量总和等于零。若用 P 表示质点系的总动量，用 F 表示质点系所受合外力，即 $P = \sum_i P_i$ ， $F = \sum f_i$ ，类似于式 (1-20) 讨论，有

$$F = \frac{dP}{dt} \quad (1-23)$$

式 (1-23) 表明质点系的总动量随时间的变化率等于该质点系所受的合外力。内力虽然能使质点系内各质点的动量发生变化，但对系统的总动量没有影响。

若把式 (1-23) 写成微分形式，则有

$$F dt = dP \quad (1-24)$$

这是质点系动量定理的微分形式，它表明质点系所受的合外力的冲量等于该质点系总动量的增量。

当质点系所受的合外力为零时, 即 $\mathbf{F} = 0$, 则由式 (1-23) 可得

$$\frac{d\mathbf{P}}{dt} = 0$$

于是有

$$\mathbf{P} = \sum \mathbf{P}_i = \mathbf{C} \text{ (恒矢量)}$$

即

$$\sum m_i \mathbf{v}_i = \mathbf{C} \text{ (恒矢量)} \quad (1-25)$$

这就是**质点系的动量守恒定律**。它指出: 当一个质点系所受的合外力为零时, 这一质点系的总动量就保持不变。动量守恒定律是自然界中一切物理过程都遵守的一条最基本的规律。

三、角动量守恒定律

1. 质点的角动量 如图 1-6 所示, 一个质量为 m 、动量为 $\mathbf{P}$ 的质点某时刻相对于某一固定点 O 的矢径为 $\mathbf{r}$, 则定义该质点相对于 O 点的角动量 $\mathbf{L}$ 为

$$\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{P} = \mathbf{r} \times m\mathbf{v} \quad (1-26)$$

根据矢积的定义 (参看附录一), 可知 $\mathbf{L}$ 大小为

$$L = rP \sin \varphi = rmv \sin \varphi$$

式中, φ 为 $\mathbf{r}$ 与 $\mathbf{P}$ 的夹角。 $\mathbf{L}$ 的方向垂直于 $\mathbf{r}$ 和 $\mathbf{P}$ 所决定的平面, 其指向可用右手螺旋法则 (如图 1-6 所示) 确定。

一个质量为 m 质点沿半径为 r 的圆周运动时, 如图 1-7 所示, 其动量 $\mathbf{P}$ 与相对圆心 O 的矢径 $\mathbf{r}$ 始终保持垂直, 因此质点相对于圆心 O 角动量的大小为

$$L = rP = mvr = mr^2\omega \quad (1-27)$$

其方向用右手螺旋法则确定, 见图 1-7。

在国际单位制 (SI 制) 中, 角动量的单位为 kgm^2/s 。

2. 力矩与角动量定理 如图 1-8 所示, 合外力 $\mathbf{F}$ 对一固定点 O 的力矩大小等于此力和力臂 $r_{\perp}$ 的乘积, 力臂是从 O 点到力的作用线的垂直距离, $r_{\perp} = r \sin \alpha$, 则力矩大小为

$$M = r_{\perp} F = rF \sin \alpha$$

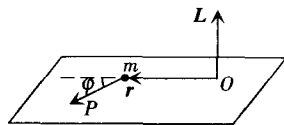


图 1-6 质点的角动量

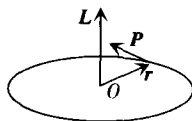


图 1-7 质点对圆心的角动量

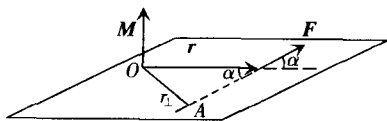


图 1-8 力矩