



高等职业教育
基础类课程规划教材

新编实用物理 I

GAODENG ZHIYE JIAOYU
JICHULEI KECHENG GUIHUA JIAOCAI

新世纪高等职业教育教材编审委员会组编

主编 田丽珍 主审 刘胜友

大连理工大学出版社



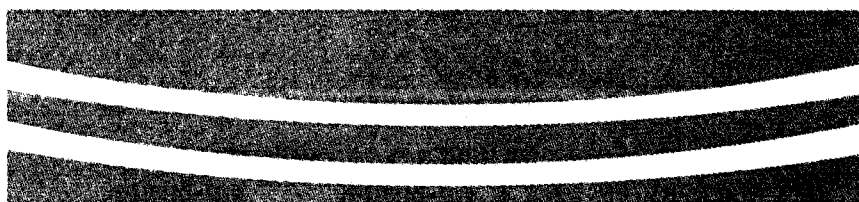
高等职业教育基础类课程规划教材

新编实用物理 I

新世纪高等职业教育教材编审委员会组编

主 审 刘胜友

主 编 田丽珍 副主编 郭少英 解现英



XINBIAN SHIYONG WULI I

大连理工大学出版社

DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

© 大连理工大学出版社 2006

图书在版编目(CIP)数据

新编实用物理 I / 田丽珍主编. —大连:大连理工大学出版社, 2006.2
高等职业教育基础类课程规划教材
ISBN 7-5611-3060-0

I. 新… II. 田… III. 物理学—高等学校:技术学校—教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 080225 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84703636 传真:0411-84701466

E-mail: dutp@dutp.cn URL: <http://www.dutp.cn>

大连理工印刷有限公司印刷

大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm×260mm

印张:8.25

字数:170 千字

印数:1~5 000

2006 年 2 月第 1 版

2006 年 2 月第 1 次印刷

责任编辑:赵 部 雷春雨

责任校对:杜聚友

封面设计:波 朗

定 价:12.00 元

新世纪高等职业教育教材编委会教材建设 指 导 委 员 会

主任委员:

曹勇安 黑龙江东亚学团董事长 齐齐哈尔职业学院院长 教授

副主任委员(按姓氏笔画为序):

马必学	武汉职业技术学院院长	教授
王大任	辽阳职业技术学院院长	教授
冯伟国	上海商业职业技术学院副院长	教授 博士
刘兰明	邯郸职业技术学院副院长	教授 博士
刘长声	天津对外经济贸易职业学院副院长	副教授
李竹林	河北建材职业技术学院院长	教授
李长禄	黑龙江工商职业技术学院副院长	副研究员
陈 礼	广东顺德职业技术学院副院长	教授
金长义	广西工业职业技术学院院长	副教授
赵居礼	陕西工业职业技术学院副院长	副教授
徐晓平	盘锦职业技术学院院长	教授
高树德	吉林交通职业技术学院副院长	教授
戴裕崴	天津轻工业职业技术学院副院长	副研究员 博士

秘书长:

杨建才 沈阳师范大学职业技术学院院长

副秘书长(按姓氏笔画为序):

张和平	江汉大学高等职业技术学院院长
张化疆	黑龙江生态工程职业学院副院长
周 强	齐齐哈尔大学应用技术学院院长

秘书组成员(按姓氏笔画为序):

卜 军	上海商业职业技术学院
王澄宇	大庆职业学院
栗景枚	广西国际商务职业技术学院
鲁 捷	沈阳师范大学职业技术学院
谢振江	黑龙江省司法警官职业学院

会员单位:(略)

总序

我们已经进入了一个新的充满机遇与挑战的时代,我们已经跨入了 21 世纪的门槛。

20 世纪与 21 世纪之交的中国,高等教育体制正经历着一场缓慢而深刻的革命,我们正在对传统的普通高等教育的培养目标与社会发展的现实需要不相适应的现状作历史性的反思与变革的尝试。

20 世纪最后的几年里,高等职业教育的迅速崛起,是影响高等教育体制变革的一件大事。在短短的几年时间里,普通中专教育、普通高专教育全面转轨,以高等职业教育为主导的各种形式的培养应用型人才的教育发展到与普通高等教育等量齐观的地步,其来势之迅猛,迫人深思。

无论是正在缓慢变革着的普通高等教育,还是迅速推进着的培养就用型人才的高等职业教育,都向我们提出了一个同样的严肃问题:中国的高等教育为谁服务,是为教育发展自身,还是为包括教育在内的大千社会?答案肯定而且惟一,那就是教育也置身其中的现实社会。

由此又引发出高等教育的目的问题。既然教育必须服务于社会,它就必须按照不同领域的社会需要来完成自己的教育过程。换言之,教育资源必须按照社会划分的各个专业(行业)领域(岗位群)的需要实施配置,这就是我们长期以来明乎其理而疏于力行的学以致用问题,这就是我们长期以来未能给予足够关注的教育目的问题。

如所周知,整个社会由其发展所需要的不同部门构成,包括公共管理部门如国家机构、基础建设部门如教育研究机构和各种实业部门如工业部门、商业部门,等等。每一个部门又可作更为具体的划分,直至同它所需要的各种专门人才相对应。教育如果不能按照实际需要完成各种专门人才培养的目标,就不能很好地完成社会分工所赋予它的使命,而教育作为社会分工的一种独立存在就应受到质疑(在市场经济条件下尤其如此)。可以断言,按照社会的各种不同需要培养各种直接有用人才,是教育体制变革的终极目的。

随着教育体制变革的进一步深入,高等院校的设置是否会同社会对人才类型的不同需要一一对应,我们姑且不论。介高等教育走应用型人才培养的道路和走理论型(也是一种特殊应用)人才培养的道路,学生们根据自己的偏好各取所需,始终是一个理性运行的社会状态下高等教育正常发展的途径。

高等职业教育的崛起,既是高等教育体制变革的结果,也是高等教育体制变革的一个阶段性表征。它的进一步发展,必将极大地推进中国教育体制变革的进程。作为一种应用型人才培养的教育,高等职业教育从专科层次起步,进而高职本科教育、高职硕士教育、高职博士教育……当应用型人才培养的渠道贯通之时,也许就是我们迎接中国教育体制变革的成功之日。从这一意义上说,高等职业教育的崛起,正是在为必然会取得最后成功的教育体制变革奠基。

高职教育还刚刚开始自己发展道路的探索过程,它要全面达到应用型人才培养的正常理性发展状态,直至可以和现存的(同时也正处在变革分化过程中的)理论型人才培养的教育并驾齐驱,还需假以时日;还需要政府教育主管部门的大力推进,需要人才需求市场的进一步完善发育,尤其需要高职教学单位及其直接相关部门肯于做长期的坚忍不拔的努力。新世纪高等职业教育教材编审委员会就是由全国 100 余所高职院校和出版单位组成的旨在以推动高职教材建设来推进高等职业教育这一变革过程的联盟共同体。

在宏观层面上,这个联盟始终会以推动高职教材的特色建设为己任,始终会高职教学单位实际教学需要出发,以其对高职教育发展的前瞻性的总体把握,以其纵览全国高职教材市场需求的广阔视野,以其创新的理念与创新的组织形式,通过不断深化的教材建设过程,总结高职教学成果,探索高职教材建设规律。

在微观层面上,我们将充分依托众多高职院校联盟的互补优势和丰裕的人才资源优势,从每一个专业领域、每一种教材入手,突破传统的片面追求理论体系严整性的意识限制,努力凸现高职教育职业能力培养的本质特征,在不断构建特色教材建设体系的过程中,逐步形成自己的品牌优势。

新世纪高等职业教育教材编审委员会在推进高职教材建设事业的过程中,始终得到了各级教育主管部门以及各相关院校相关部门的热忱支持和积极参与,对此我们谨致深深谢意,也希望一切关注、参与高职教育发展的同道朋友,在共同推动高职教育发展、进而推动高等教育体制变革的进程中,和我们携手并肩,共同担负起这一具有开拓性挑战意义的历史重任。

新世纪高等职业教育教材编审委员会

2001 年 8 月 18 日

前言

《新编实用物理 I》是新世纪高职教材编委会组编的基础类课程规划教材之一。

本套教材是编者通过总结多年教学实践,并吸取国内外同类教材的优点,同时考虑高等职业教育的培养目标编写而成。与同类教材相比,本套教材力求突出如下特点:

1. 注重实用性。在内容的选取上,本套教材增加了“流体力学”、“热量的传递”、“声波的传输”和“光度学”等较容易理解而又实用的内容,删掉了“相对论力学”、“量子力学”等对高职学生来说难于理解且用途不大的内容。

2. 模块式知识体系的构建顺应了高职教育的需要。在知识体系的构建上,本套教材采用了模块式结构。《新编实用物理 I》分为力学和热学两大模块,每个大模块中又分为几章作为大模块中的子模块,每个子模块(每章)中又分为基本概念模块、基本规律模块和实际应用模块三个部分,从而为不同专业的学生选学不同的内容提供了方便。

3. 淡化理论,注重内容的简洁性。本套教材在编写的过程中,力求体现内容的简洁性,省略或简化了不必要的推导,直接给出了概念或规律,重在强调概念和规律的实际应用,从而使学生在系统掌握物理知识的同时,还了解它在工程技术中的一些实际应用。

4. 突出新颖性。本套教材不仅在每一章的实际应用部分介绍了与该部分物理知识有关的实用技术的典型应用实例,而且还增设了几个“物理学与高新技术”方面的专题,从而体现了物理知识在科技发展和人类进步中所起的巨大作用,同时还使读者对物理学的重要性有足够的认识,激发他们的学习兴趣和热情。

本套教材分为 I、II 两个分册:I 分册包括力学基础及应用、热学基础及应用;II 分册包括电磁学基础及应用、波动学基础及应用。高职院校各专业可根据自己的实际情况选择不同的分册。

《新编实用物理 I》由辽阳职业技术学院田丽珍任主编,



邯郸职业技术学院郭少英、河北建材职业技术学院解现英任副主编。另外,抚顺职业技术学院史峰老师也参与了部分内容的编写。具体编写分工如下:田丽珍编写第1、4、5章,物理学与高新技术(一)、(二)以及附录;郭少英编写第3章和第6章;解现英编写第2章;史峰编写物理学与高新技术(三)。湖南生物机电职业技术学院刘胜友老师审阅了全部书稿并提出了很多宝贵的意见,在此谨致谢忱。

尽管我们在《新编实用物理 I》教材的特色建设方面作出了很多努力,但由于编者能力和水平所限,不当之处仍在所难免,恳请各相关教学单位和读者在使用本教材的过程中给予关注,并将意见和建议及时反馈给我们,以便修订时改进。

所有意见、建议请发往:gzjckfb@163.com

联系电话:0411-84707492 84707604

编 者

2006年2月



第一篇 力学基础及应用

第1章 质点运动学	3
1.1 描述质点运动的基本物理量	3
1.2 几个基本的运动形式	8
1.3 质点运动的实际应用	13
思考与练习一	15
第2章 质点动力学	16
2.1 质点动力学的基本概念	16
2.2 质点动力学的基本规律	23
2.3 质点动力学的实际应用	35
思考与练习二	39
物理学与高新技术(一)	41
第3章 流体力学基础	47
3.1 描述流体的基本物理量	47
3.2 流体流动的基本规律	51
3.3 流体流动的基本现象与实用技术	59
思考与练习三	66
第4章 机械振动	68
4.1 描述振动的基本物理量	68
4.2 几种基本的振动形式	70
4.3 振动与实用技术	76
思考与练习四	77
物理学与高新技术(二)	79

第二篇 热学基础及应用

第5章 热力学基础	83
5.1 几个基本的热力学量	83
5.2 热力学的基本规律	87
5.3 热力学第一定律对理想气体等值过程的应用	89
5.4 热力学第一定律在工程上的应用	92

思考与练习五	97
物理学与高新技术(三)	99
第 6 章 热量的传递	101
6.1 描述热传递的基本物理量	101
6.2 热传递的基本规律	103
6.3 热传递现象与实用技术	107
思考与练习六	113
附录	
附录 I SI 中 7 个基本量基本单位的定义	115
附录 II 常用物理常数表	116
习题答案	117

第一篇

力学基础及应用

力学是物理学中最基础、最重要的组成部分。它是研究物体机械运动规律,即研究宏观物体在弱引力场作用下作低速运动基本规律的一门学科。力学有着很强的基础性和广泛的应用性。首先,力学的基本原理不仅渗透于经典物理学的各个分支,成为整个经典物理学的重要基础,同时它的许多概念和思想也影响和促进了近代物理学中相对论力学和量子力学的形成和发展。而且,力学的基础研究还不断地深化和丰富着人类对基本自然规律的认识,并为其他学科的发展提供认识工具,从而体现了它的基础性;其次,力学的研究还遍及了各种工程技术领域,例如机械工程、抗爆与爆炸工程、土建与水利工程、抗震工程、航海技术、航空与航天技术等,从而体现出它的广泛性。随着经典力学内容的不断深化,经典力学在与其他前沿学科的交叉处也得到迅速发展,形成许多新的交叉学科。因而,高职院校的学生学习力学知识十分必要。

本篇主要讲解质点运动学、质点动力学、流体力学和机械振动四部分内容。质点运动学只研究物体的运动规律,不涉及运动状态变化的原因;质点动力学则研究物体间的相互作用及其对物体运动的影响;而流体力学则研究流体的性质、规律及其应用;机械振动主要研究简谐振动、阻尼振动、受迫振动和共振现象及其应用。

第1章 质点运动学

本章导读

任何物体都在运动。大到天体,小到微观粒子,一切物体都处在不停的运动之中,运动是绝对的。运动学知识在日常生活、生产、工程技术及高新技术领域中应用十分广泛。了解物体的运动形式、运动规律及其应用,意义重大。本章主要介绍质点运动学的基本规律及其应用。

基本要求

1. 正确理解描述质点运动的基本物理量的物理意义;
2. 掌握几种基本的运动形式及其规律;
3. 知道质点运动的实际应用。

1.1 描述质点运动的基本物理量

运动物体什么时刻处在什么位置?运动的基本规律是什么?运动的快慢程度如何?运动状态变化的快慢程度如何?这些问题是描述质点运动的基本问题。

描述质点运动的基本物理量有:位置矢量、位移矢量、速度和加速度。

1.1.1 位置矢量

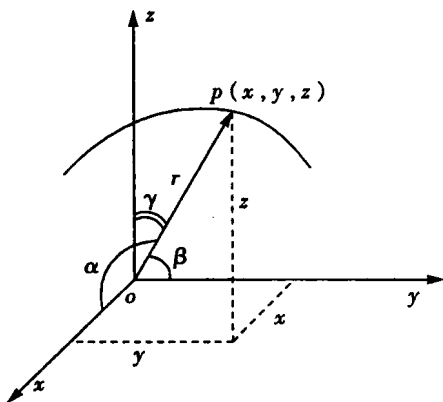


图 1-1 质点的位置矢量

1. 位置矢量(又称位矢)

描述质点空间位置的物理量。

在坐标系原点确定后,质点在某一时刻的空间位置可以用以原点 o 为起点,以质点所在位置 p 为终点的有向线段 $\vec{op}$ 来确定。这个有向线段就叫做位置矢量,用 r 来表示,如图 1-1 所示

$$r = \vec{op}$$

在国际单位制中,位置矢量的单位为米(m)。

在采用直角坐标系时,规定 i, j, k 分别表示沿 x, y, z 轴正方向的单位矢量,则位置矢量可表示为

$$r = x i + y j + z k \quad (1.1)$$

式中 x, y, z 即为质点的直角坐标。位置矢量的大小(即 r 的模)为

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

位置矢量的方向,可由其方向余弦确定

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

式中 α, β, γ 分别表示 $\mathbf{r}$ 与 x, y, z 轴正方向之间的夹角(取小于 180° 的值),它们满足以下关系式

$$\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1$$

故三个方向余弦中只有两个是独立的。

2. 运动方程

描述质点运动规律的方程。

当质点运动时,其位置矢量是时间的函数。质点的位置矢量随时间变化的函数式称为质点的运动方程。

运动方程的矢量式

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1.2a)$$

运动方程的标量式(在直角坐标系中)

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases} \quad (1.2b)$$

运动方程在质点运动学中处于核心地位。当我们给出了速度与加速度的定义之后,我们将进一步认识到,知道了质点的运动方程,就可以确定质点在任一时刻的位置、位移、速度和加速度,也就掌握了质点运动的全部情况。因此,运动方程是质点运动学的核心。

当质点被限制在一平面内运动(称为二维运动),例如在 xy 平面内运动时,其运动方程为

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \end{cases} \quad (1.2c)$$

当质点被限制在一直线上运动(称为一维运动),例如在 x 轴上运动时,其运动方程为

$$x = x(t) \quad (1.2d)$$

3. 轨迹

质点运动时,在空间所经过点的空间轨迹称为质点运动的轨迹。轨迹可用数学形式表示,以质点在平面上的运动为例,将运动方程(1.2c)消去时间 t ,就得到质点运动的轨迹方程,即

$$y = y(x) \quad (1.3)$$

例 1.1 已知一质点的运动方程为 $\mathbf{r}(t) = at\mathbf{i} + (bt - ct^2)\mathbf{j}$, a, b, c 为常数,求该质点的轨迹。

解 该质点的运动方程在直角坐标系中的表达式为

$$\begin{cases} x = at \\ y = bt - ct^2 \end{cases}$$

所以它在 xoy 平面上运动,从上述两式中消去 t ,使得

$$y = \frac{b}{a}x - \frac{c}{a^2}x^2$$

这就是该质点的轨迹方程,它是在 xoy 平面上的经过原点 O 的抛物线。

例 1.2 已知一质点的运动方程为

$$x = 5 \sin \frac{\pi}{4} t$$

$$y = 5 \cos \frac{\pi}{4} t$$

式中时间和坐标值均采用国际单位制。求：

(1) $t = 2\text{ s}$ 和 $t = 4\text{ s}$ 时质点的位置；

(2) 质点的运动轨迹。

解 (1) 质点在 xoy 平面上做二维运动

$$\text{当 } t = 2\text{ s 时, } x = 5 \sin \frac{\pi}{2} = 5\text{ m}$$

$$y = 5 \cos \frac{\pi}{2} = 0\text{ m}$$

$$\text{当 } t = 4\text{ s 时, } x = 5 \sin \pi = 0\text{ m}$$

$$y = 5 \cos \pi = -5\text{ m}$$

(2) 由所给的运动方程消去时间 t , 得

$$x^2 + y^2 = 25$$

这表明该质点的轨迹是以原点 o 为圆心, 半径等于 5 m , 在 xoy 平面上的圆。

1.1.2 位移矢量

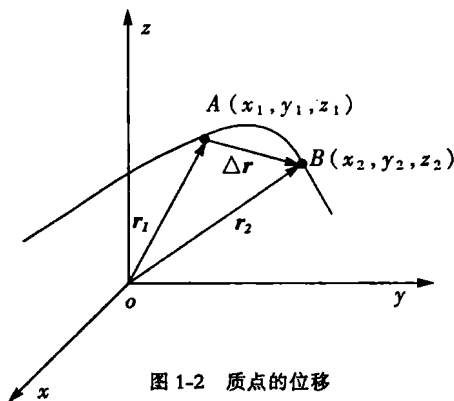


图 1-2 质点的位移

1. 位移

描述质点位置变化及方向的物理量。

如图 1-2 所示, 设 t 时刻质点位于 A 点, 位矢 r_1 , $t + \Delta t$ 时刻到达 B 点, 位矢 r_2 。由图 1-2 可以看出, 质点在 Δt 时间内的位移 Δr 等于质点在这段时间内位置矢量的增量

$$\Delta r = r_2 - r_1 \quad (1.4a)$$

在直角坐标系中, 若

$$r_2 = x_2 i + y_2 j + z_2 k$$

$$r_1 = x_1 i + y_1 j + z_1 k$$

则位移为

$$\begin{aligned} \Delta r &= (x_2 - x_1) i + (y_2 - y_1) j + (z_2 - z_1) k \\ &= \Delta x i + \Delta y j + \Delta z k \end{aligned} \quad (1.4b)$$

位移的单位和位置矢量的单位一样, 也是米(m)。

2. 路程

路程是质点运动的实际路径的大小。路程的单位也是米(m)。

位移和路程是两个不同的概念, 二者既有区别又有联系: 位移是矢量, 而路程是正的标量; 位移只取决于起点和终点, 而路程则取决于质点所经过的实际路径, 二者在量值上一般不等, 但在特殊情况下, 即当质点沿直线且始终沿一个方向运动时, 位移的大小等于路程。

■ 1.1.3 速度

1. 速度

描述质点运动快慢及其方向的物理量。

设质点在时间 Δt 内的位移为 $\Delta \mathbf{r}$, 则位移与相应的时间 Δt 的比值, 称做质点在这段时间内的平均速度, 记作 $\bar{\mathbf{v}}$

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

平均速度的方向与质点在时间 Δt 内的位移方向相同。

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 平均速度的极限称为质点在 t 时刻的瞬时速度, 用 $\mathbf{v}$ 表示

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{\mathbf{v}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1.5a)$$

即质点的瞬时速度等于位置矢量对时间的变化率或一阶导数。

瞬时速度的方向由位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的极限方向决定, 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 位移 $\Delta \mathbf{r}$ 趋于轨道的切线方向。因此, 质点在任一时刻的瞬时速度的方向总是和这个时刻质点所在点的轨道曲线相切并指向质点前进的方向。

瞬时速度在直角坐标系中的分量式为

$$\begin{aligned} \mathbf{v} &= \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt} \mathbf{i} + \frac{dy}{dt} \mathbf{j} + \frac{dz}{dt} \mathbf{k} \\ &= v_x \mathbf{i} + v_y \mathbf{j} + v_z \mathbf{k} \end{aligned} \quad (1.5b)$$

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

即瞬时速度矢量的投影等于位置坐标对时间的一阶导数。 v_x, v_y, v_z 为代数量, 可取正值也可以取负值。

瞬时速度的大小为

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

方向可用方向余弦表示为

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

2. 速率

描述质点运动快慢的物理量。

质点经过的路程 Δs 与经过这段路程所用时间 Δt 之比, 称做这段时间的平均速率。用 $\bar{v}$ 表示, 即

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 平均速率的极限称为质点在 t 时刻的瞬时速率, 简称速率, 用 v 表示, 即

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1.6)$$

瞬时速率是标量, 它反映质点在该时刻运动的快慢, 其量值等于该时刻速度的大小。在国际单位制中, 速度和速率的单位同为米/秒(m/s), 读作米每秒。

1.1.4 加速度

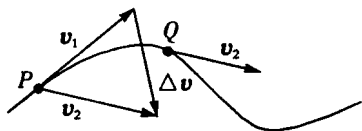


图 1-3 速度的增量

1. 加速度

描述质点运动速度变化快慢及其方向的物理量。

设在时刻 t 到 $t+\Delta t$ 的过程中,质点运动的速度由 v_1 变为 v_2 ,如图 1-3 所示,则质点在时间 Δt 内速度的增量 $\Delta v = v_2 - v_1$ 与发生这一增量所用时间 Δt 的比值

$\frac{\Delta v}{\Delta t}$,称为运动质点在 Δt 时间内的平均加速度,用 $\bar{a}$ 表示

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

平均加速度的方向与 Δt 时间内速度增量 Δv 的方向相同,其大小反映在 Δt 时间内速度矢量的平均变化率。

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,平均加速度的极限称为 t 时刻的瞬时加速度,简称加速度,记作 a

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad (1.7a)$$

即质点的瞬时加速度等于速度矢量对时间的变化率或一阶导数。又因

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt}$$

故得

$$a = \frac{d^2 r}{dt^2} \quad (1.7b)$$

即瞬时加速度等于位置矢量对时间的二阶导数。

加速度是矢量,加速度的方向为 Δv 的极限方向。在一般情形下, Δv 的极限方向与速度 v 的方向并不一致,因而 a 的方向与 v 的方向不一致。

在直角坐标系中,加速度可以表示为

$$\begin{aligned} a &= \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2} i + \frac{d^2 y}{dt^2} j + \frac{d^2 z}{dt^2} k \\ &= \frac{dv_x}{dt} i + \frac{dv_y}{dt} j + \frac{dv_z}{dt} k \\ &= a_x i + a_y j + a_z k \end{aligned} \quad (1.7c)$$

其中 a_x, a_y, a_z 分别表示 a 在 x, y, z 轴上的投影,则

$$\begin{cases} a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2} \\ a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2 y}{dt^2} \\ a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2 z}{dt^2} \end{cases} \quad (1.7d)$$

即瞬时加速度在坐标轴上的投影等于位置坐标对时间的二阶导数。

加速度的大小为

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