

大学物理学

—声像、文字结合教材—

第一册

江苏省教育委员会《大学物理学》编写组编

恽 瑛 夏西平 主编

1993年10月

(第五次印刷)

大 学 物 理 学
—— 声 像 、 文 字 结 合 教 材 ——

第 一 册

江苏省教育委员会《大学物理学》编写组编

许军瑛

夏西平

主编

1988年12月第一次印刷

1989年12月第二次印刷

1991年1月 第三次印刷

1992年12月第四次印刷

本书第一册共五章，质点的运动，运动定理与守恒定律，刚体的运动，机械振动，机械波、文字教材各章^次顺序分别由恽瑛、施志聪、夏西平、马见慈和王兴中编写，由恽瑛、夏西平统稿。本册各章使用的电视插播片由各片负责教师及有关院校电教中心共同完成。本册电视插播片的综合工作由叶善~~书~~负责，文字教材由王兴中协助。全书插图由李士~~滋~~绘制。

为了使读者学习了《大学物理》各部分内容后，对某些部分有稍深入的、进一步的了解，以达到增长知识、扩充视野，~~对~~认识自然现象和自然规律上有所帮助，编写组特邀请了南京大学梁昆森教授为力学部分~~写~~了一篇《力学的“力表象”与“能量表象”》放在第五章后以供学习。

前 言

科学技术的进步与发展,与自然科学的基础教育是相互促进的。现代教育手段(如音像与计算机等)的普及,使之广泛而科学地应用于教学实践中;现代教育理论发展指出,要十分重视学生个体因素的作用,才能使教学有较突破性的变化。凡此种种,都迫切要求改革传统的自然科学基础教学。《大学物理》课程当然也不例外。这种改革,不仅将有益于学生智力的开发和能力的培养,而且将有助于探索教学方法的优化和教学内容的改革。

基于这一教学思想,我们首先在课堂上使用了与讲课内容紧密结合的电视短片(又称插播片),经过几年的实践,收到了良好的效果,也取得了不少经验。在这基础上进而研究、制作了一套现代化教学手段与传统教学有机结合的新型《大学物理》教材。具体地说,编写了一套音像、文字结合教材,再辅之以计算机软件和幻灯图片,从而构成多元的立体式教材。为在改进教学方法、改革教学内容和提高教学质量等诸方向开创一条新的途径。

《大学物理学》——音像、文字结合教材由以下几部分组成:

(1) 文字教材

与传统的文字教材的区别是将电视插播片的教学内容编入教材。作为教材内容的一部分。教材中每一章都列出了与之相配合的插播片的目录和主要内容。章末有相应的思考题。

教材内容确保国家教委制定颁发的课程的基本要求的贯彻落实,并适当拓宽。教材内容取舍的指导思想是:在中学基础上提高;适当压缩经典部分、加强近代和现代物理的内容;注意反映新技术发展与物理学的关系;也努力改进提高书中插图的质量。

教材分为:力学(包括机械振动与机械波)、电磁学各占全课程的四分之一;波动光学统计基础及热力学基础约占四分之一。近代物理约占四分之一。此外,为了加强学生对新知识的了解,扩充视野,特邀请了学部委员冯端教授、南京大学梁昆淼教授、国家教委工科物理课程教学指导委员会副主任吴百诗教授以及在美国作访问研究的宋教博士,分别对嫡、力与能量表象、非线性光学及超导写了四篇专题,以补教材中的不足。

(2) 电视插播片

全书配有与教学内容紧密结合,形成系列、针对性强、简洁明瞭的系列电视插播片70段,约320分钟,每段一般只2—5分钟。其内容取材于各章节的基本物理概念和重要定律,各部分的难点,难以表达的抽象概念立体图形,微观机理和工程技术上的应用等。

除教材的上述主要部分外,还有:

(3) 计算机软件:主要在课外使用,供学生独立上机。配有指导手册,这有利于学生个体因素的发展。全书编制20个软件,针对各部分的内容特点,要求不同,对软件的制作也因之而异。

(4) 幻灯片和投影片:要根据课堂教学需要而选取使用,不是贪多求全,盲目陈列。

(5) 教师辅助手册:为便于教师使用插播片。

学生辅助手册，向学生指明如何从插播片中学到更多内容，有利于他们复习思考。这一部分将以附录形式置于书尾。

必须指出，插播片的使用是一种重要的教学辅助手段，它不能用来替代课堂教学。插播片的使用应该与课堂讲授是有机结合的。并在讲授中注意形象信息与词语信息的相互配合，抽象思维 and 形象思维的交互作用，使插播片更好地发挥“时间、空间、动态、信息”上的优越性，以得到良好的教学效果。

这套教材自1987年开始以来就在江苏省教育委员会的领导与关怀下进行的，工作中并得到省教委高教处邱坤荣处长的具体指导与帮助。国家教委高教司、电教司对这项工作给予了大力支持，联合国教科文组织（UNESCO）对此给以资助。这才使这套新型的教材得以逐步成熟。

《大学物理学》——声像、文字结合教材在正式出版前已印刷过四次，除在编写组所在的七所院校中试用外，还在武汉测绘科技大学、中国矿业大学、南京工程兵工程学院、常州技术师范学院、苏州丝绸工学院、华南理工大学、东北工学院、南京林业大学、江南大学、郑州轻工业学院、南昌航空工业学院、空军勤务学院、中国计量学院、浙江丝绸工学院、长沙铁道学院、大庆石油学院等全国16所高等院校中试用。有关教师提出许多宝贵意见及建议，对进一步修改教材是十分有益的。特表深切的谢意！

本书由西安交通大学吴百诗教授（主审）、西北工业大学徐绪笃教授、浙江丝绸工学院吴颐教授审查，他们的热忱、细致、认真、审稿工作，对提高本教材的质量，起了重要的作用。对此，编写组表示由衷的感谢！

本书也曾得到梁品森教授的具体指导并提出修改意见。在此表示竭诚的感谢。

由于整个工作还是初步尝试，缺点、错误在所难免，恳请读者提出批评和意见。

江苏省教委《大学物理学》编写组

1992.9

《大学物理学》——声象、文字结合教材

编写组成员

东南大学	恽瑛	叶善文	周永平	蒋福明	马见慈	王克里
空军气象学院	夏西平	陆起图				
南京通信工程学院	吴曾谟	张未央				
南京航空学院	王兴中					
南京化工学院	孟宪显	施志聪				
河海大学	顾定安	戴畅				
扬州工学院	李寿松					

第一篇 力学

十七世纪前后几位有影响的科学家及其在科学上、物理学上的主要贡献

科学家姓名	出生——逝世年代	国 别	主要贡献
吉 伯 Galbert	1540—1605	英 国	用实验方法探索自然的倡导者
培 根 F. Bacon	1561—1626	英 国	实验科学的先驱，1620年出版了《学术的伟大复兴》，完成了其中两部分：《论科学的价值和发展》和《新工具论》，提出归纳逻辑法。
伽利略 G. Galilei	1564—1642	意大利	发展了日心说，证明了哥白尼日心说的正确性；力学中的斜面实验结论构成牛顿运动三定律的基础。是实验物理的开创者。
开普勒 J. Kepler	1571—1630	德 国	开普勒行星运动三定律
笛卡尔 R. Descarte	1596—1650	法 国	近代唯物论的代表，倡导科学研究中的演绎法。
玻义耳 R. Boyler	1627—1691	英 国	提出液体压力的正确观念，并最先开展了气体力学的研究。
帕斯卡 B. Pascal	1623—1662	法 国	主要提出了密闭流体能传递压强的定律
惠更斯 C. Huygens	1629—1695	荷 兰	光学、力学方面均有贡献，发现了弹簧摆的摆长与摆动周期的关系；提出了向心力定律，证明 $a_n = v^2 / R$
胡 克 R. Hooke	1635—1703	英 国	发现固体形变与应力 关系的弹性定律；试图找出引力与距离关系。

牛 顿 I. Newton	1642—1727	英 国	万有引力定律。系统总结了三条运动基本定律。出版《自然哲学的数学原理》一书。
------------------	-----------	-----	---------------------------------------



伽
利
略



牛
顿

大学物理学

— 声像。文字结合教材 —

第一册

第一篇 力学

目 录

第一章 质点的运动

- § 1—1 描述质点机械运动的状态参量
- § 1—2 运动方程及图线,运动叠加原理
- § 1—3 圆周运动,切向加速度和法向加速度
- § 1—4 质点运动的角量描述 角量与线量的关系
- § 1—5 牛顿运动定律概述
- § 1—6 相对运动 力学相对性原理
- § 1—7 国际单位制 (SI) 和量纲,牛顿运动定律的应用
- § 1—8 非惯性系的力学定律 惯性力

思考题

习 题

第二章 运动定理与守恒定律

- § 2—1 变力的功 动能定理
- § 2—2 保守力 势能
- § 2—3 机械能守恒定律 能量 守恒定律
- § 2—4 动量定理 动量守恒定律
- § 2—5 质心 质心运动定律
- § 2—6 变质量物体的运动
- § 2—7 质点角动量守恒定律
- § 2—8 守恒定律的意义与应用

思考题

习 题

第三章 刚体的运动

- § 3—1 刚体的定轴转动定律

- § 3—2 刚体的定轴转动定律的应用
- § 3—3 刚体的角动量 角动量守恒定律
- § 3—4 刚体 定轴转动 的动能定理
- * § 3—5 (进动) 旋进
- § 3—6 刚体的平面平行运动 

思考题

习 题

第四章 机械振动

- § 4—1 简谐振动
- § 4—2 简谐 振动的相位和初相位
- § 4—3 阻尼振动 受迫振动 共振
- § 4—4 同方向简谐振动的合成
- § 4—5 相互垂直的简谐振动的合成
- § 4—6 一般振动的分解 谐振分析

思考题

习 题

第五章 机械波

- § 5—1 机械波及其特性
- § 5—2  简谐波的表达式
- § 5—3 波动方程
- § 5—4 波的能量 能流 能流密度
- § 5—5 惠更斯原理 波的衍射
- § 5—6 波的叠加和分解
- § 5—7 波的干涉
- § 5—8 驻波
- § 5—9 多普勒效应

思考题

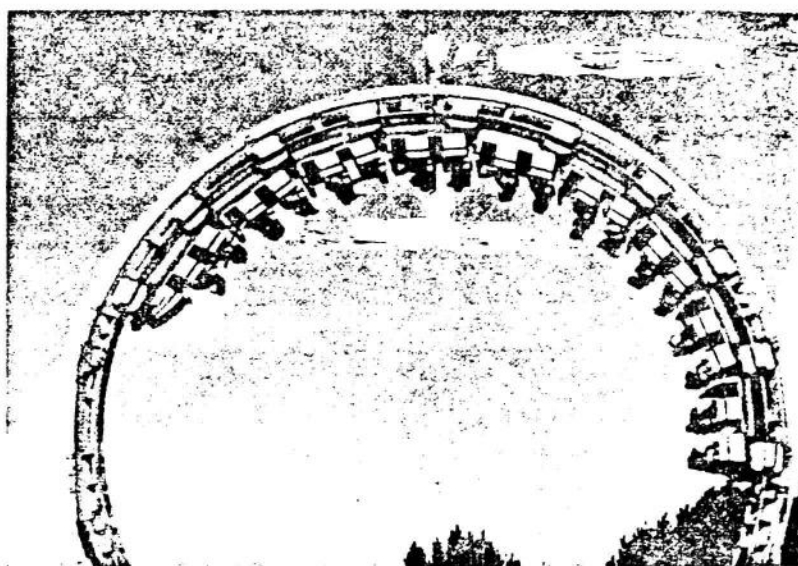
习 题

专 题 力学的“力表象”与“能量表象”

梁昆森

第一章 质点的运动

- § 1—1 描述质点机械运动的状态参量
§ 1—2 运动方程及图线 运动叠加原理
§ 1—3 圆周运动 切向加速度和法向加速度
§ 1—4 质点运动的角量描述 角量及线量的关系
§ 1—5 牛顿运动定律概述
§ 1—6 相对运动 力学相对性原理
§ 1—7 国际单位制(SI)和量纲 牛顿运动定律的应用
§ 1—8 非惯性系中的力学定律 惯性力



在游乐公园内的竖直圆形轨道游戏旋转车

本章主要内容

物体在空间的位置随时间变化的运动，称为机械运动。^{kin}机械运动是自然界中最基本，又是十分重要的运动形式。力学是研究物体机械运动规律的学科。^{dyn}

本章讨论质点的运动规律，分为运动学和动力学两部分。运动学部分，研究对质点机械运动的描述，着重分析质点运动的状态及状态的变化，而不追究各类运动的原因，并应用矢量代数和微积分方法研究其运动规律。动力学部分则研究质点在其它物体作用下的运动规律，深入讨论作为经典力学基础的牛顿运动三定律，并能运用它分析研究几种基本运动，如变速直线运动，圆周运动，一般曲线运动等的运动规律及其特征。

本章电视插播片片名及内容

序 号	片 名	内 容
1—1	运动叠加原理	以抛体运动为例，用矢量表达式 $\vec{r} = \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{g} t^2$ 形象地阐述其物理意义。以“百发百中”实例，帮助学生正确理解运动叠加原理或运动的独立性。
1—2	自然坐标系	从实例出发，用图线说明自然坐标系的意义与作用及其优点，介绍作曲线运动的质点在自然坐标系中的速度与加速度的表达方式，指出采用自然坐标的优点。
1—3	角速度矢量	通过实验演示，说明角速度具有矢量性；演示了一个质点（或物体）同时参与两个运动时，两个角速度的合成遵循平行四边形法则。
1—4	相对运动	通过高射炮射击飞机的模拟试验，和在匀速前进的小车中上抛小球的例子，正确理解相对运动。
1—5	直线加速系统中的惯性力	用玩具小车加速运动时，车上小球对车、对地的不同运动情况，分析说明在非惯性系中引入惯性力的意义。
1—6	惯性离心力	在旋转平台参考系中的相对静止小球——弹簧系统中，用弹簧的伸长情况来演示转动非惯性系中的惯性离心现象，说明引入惯性离心力的作用。

§ 1-1 描述质点机械运动的状态参量

在说明状态参量的物理意义之前，我们介绍以下几个概念。

质点模型 在物理学中，为了突出问题的本质，对所研究的对象，常要抽象为一定的物理模型，如力学中的质点模型，刚体模型，谐振子模型等等。物体是具有一定大小和形状的，但当所研究物体的大小和形状比所考察运动的线度小得很多而可忽略不计时，就可不计物体各部分运动状况的差别，把整个物体看作一个点，这样的物体称为质点。它的特点是具有质量以及在空间占有位置。质点是一种理想模型。物体是否可视作质点，按所讨论问题的具体情况而定，如研究地球绕太阳的公转时，就可把地球当作质点处理；而研究地球的自转运动时，就不能再把它作为质点看待了。又如分子和原子的线度虽然很小，但研究分子内部振动和转动时，同样不能把它们看为质点。

参考系 质点作机械运动时，它的位置不断地在空间变动，而位置只有相对于某个事先选定的其他物体而言，才有明确的意义。这某个其他物体（或几个物体组成的物体群），称为参考系。人们只能用参考系来确定质点的位置。我们常用地球作为参考系。对同一个质点运动的描述，相对于不同的参考系是不同的。

至于要定量描述质点在某一时刻的位置，还需要在参考系（如地面）上建立适当的坐标系，常用的是笛卡尔坐标系，或称直角坐标系，如图 1-1 所示，O—XYZ 即为笛卡尔坐标系，但有时也用极坐标系或其它坐标系。

凡质点运动的轨迹是直线，称为质点作直线运动；而其轨迹是曲线时，则称为质点作曲线运动。读者已在中学学习过多种直线运动，如匀速直线运动，匀变速直线运动；本章着重研究质点的曲线运动。

一、位置矢量 $\vec{r}$ 与速度矢量 $\vec{v}$

在质点运动学中，首先要研究质点的空间位置与时间的关系，为此先介绍两个物理量：位置矢量 $\vec{r}$ 与速度矢量 $\vec{v}$ 。

设质点在 O—XYZ 坐标系中运动，其轨迹为 AB 曲线。在某一时刻 t ，质点位于 P 点，从坐标原点 O 到 P 点引一矢量 $\vec{r}$ ，此矢量称为质点在该时刻 t 的位置矢量，如图 1-1 所示。 $\vec{r}$ 的大小为 O 点到 P 点的距离，以 $\vec{r}$ 的模 $|\vec{r}|$ 表示； $\vec{r}$ 的方向则以 $\vec{OP}$ 相对于坐标轴 X、Y、Z 的方位表示，即由位置矢量 $\vec{r}$ 与三个坐标轴的夹角 α 、 β 、 γ 表示。方位和距离一旦确定，P 点的位置也就确定了。在直角坐标系中，位置矢量 $\vec{r}$ 可表示为

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

式中 x 、 y 、 z 是 $\vec{r}$ 分别沿三个坐标轴的投影， $\hat{i}$ 、 $\hat{j}$ 、 $\hat{k}$ 分别是 X、Y、Z 三个轴上的单位矢量。由此， $\vec{r}$ 的大小可以 x 、 y 、 z 表示。

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

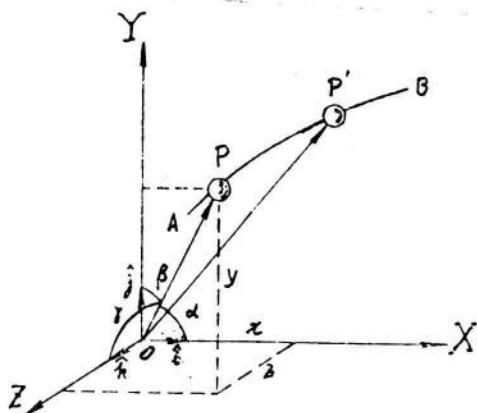


图 1-1 质点 P 在 O—XYZ 坐标系中沿曲线 A B 运动

$\vec{r}$ 的方向则可以 α 、 β 、 γ 表示

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

质点运动时，它的位置矢量是随时间变化的，可用函数形式表示：

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

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

如质点只在 O—XY 平面内运动，则其位置矢量可写成

$$\vec{r}(t) = x(t)\hat{i} + y(t)\hat{j} \quad (1-2a)$$

$\vec{r}$ 的大小与方向分别为

$$|\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2} \quad \alpha = \arccos \frac{x}{r}, \quad \beta = \arccos \frac{y}{r}$$

本书在许多情况下只讨论质点在平面内的运动。

由以上讨论可知，位置矢量 $\vec{r}(t)$ 的函数形式能详尽地描述质点在运动中任一时刻的位置，故而式 (1-1) 和式 (1-2) 是很重要的，在下一节 (§ 1-2) 中还将作较详尽的讨论。

4. 移 $\Delta \vec{r}$ 如图 1-2 所示，质点在 O—XY 平面内运动的轨迹为 A B 曲线。设质点在 t 时刻位于 P 点，在 $t + \Delta t$ 时刻位于 P' 点，其相应的位置矢量分别为 $\vec{r}$ 与 $\vec{r}'$ ，则从 $t - t + \Delta t$ 时间间隔内位置矢量的增量为

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}' - \vec{r} \quad (1-3)$$

这一增量 $\Delta \vec{r}$ 称为质点在 $t - t + \Delta t$ 时间间隔内的位移。请读者注意，此处必须说明是指 $t - t + \Delta t$ 时间间隔内，而不是 Δt 时间间隔内的位移。

位移 $\Delta \vec{r}$ 是矢量差， Δr 是标量差。

在一般情况下， $|\Delta \vec{r}|$ 不等于 Δr 。

速度矢量 $\vec{v}$ 为研究质点运动的
.....

变化，就要讨论质点的位移与所经历的时间长短之间的比值，即

$$\vec{v} = \Delta \vec{r} / \Delta t$$

$\vec{v}$ 称为在 $t - t + \Delta t$ 时间间隔内的平均速度。平均速度也是矢量，它的方向与位移 $\Delta \vec{r}$ 的方向相同，即沿图 1-2 中 $\vec{PP'}$ 的割线方向。

平均速度只是粗略地描述了质点在 $t - t + \Delta t$ 内运动的快慢和方向，它认为质点是以不变的快慢和方向实现在这段时间内的运动的，而未能描述在此时间间隔内质点运动快慢及方向上的细致情况。要精确地描述质点的运动状态，就要将时间 Δt 无限减小，并使之趋近于零，即 $\Delta t \rightarrow 0$ 。这样质点的平均速度 $\Delta \vec{r} / \Delta t$ 就会趋于某一确定的极限矢量，即

$$\begin{aligned} \vec{v} &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (\Delta \vec{r} / \Delta t) \\ &= \frac{d\vec{r}}{dt} \end{aligned} \quad (1-4)$$

$\vec{v}$ 称为质点在 t 时刻或某一位置 P 的瞬时速度，简称速度。式 (1-4) 表明速度等于位置矢量对时间的一阶导数。

如图 1-3 所示，当 $\Delta t \rightarrow 0$ ， P' 点由 $P_1, P_2, \dots$ 向 P 点靠拢，位移 $\Delta \vec{r}$ 将变得和轨迹上 P 点处的切线重合并指向运动的方向。所以， t 时刻质点的速度方向是该时刻运动轨迹在质点所在处的切线上，并指向质点运动的方向，即前进的一侧。简言之，速度沿轨迹的切线方向，速度的方向与运动的方向一致。

由此可见，质点作机械运动时的运动状态，即在任一时刻的位置及运动的快慢、方向，应由该时刻的位置矢量 $\vec{r}$ 及速度 $\vec{v}$ 两物理量来描述。 $\vec{r}$ 、 $\vec{v}$ 称为质点运动的状态参量。

瞬时速度的大小称为瞬时速率，简称速率，以 $|\vec{v}|$ 表示。速率是一标量。需要指出的

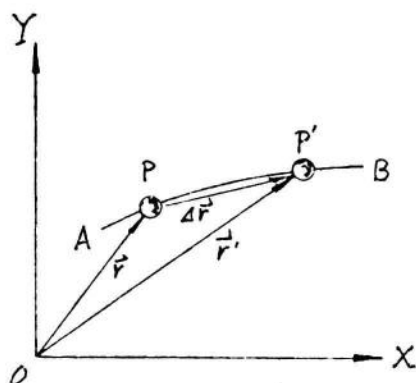


图 1-2 质点的位置矢量 $\vec{r}$ 、 $\vec{r'}$ 和位移 $\Delta \vec{r}$

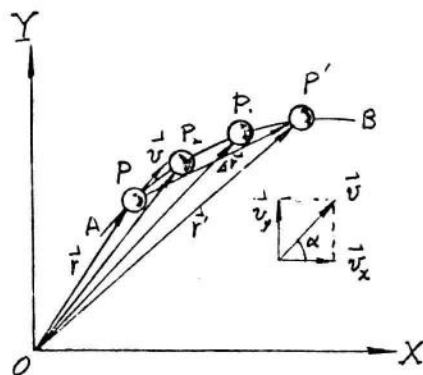


图 1-3 质点在 P 点时的瞬时速度 $\vec{v}$

是

$$\vec{v} = d\vec{r}/dt, \quad \text{但 } \vec{v} \neq dr/dt$$

$$|\vec{v}| = |d\vec{r}/dt|, \quad \text{但 } |\vec{v}| \neq dr/dt$$

速度 $\vec{v}$ 是矢量, 如质点在平面内运动, 由于

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

故速度为

$$\left. \begin{aligned} \vec{v} &= \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\hat{i} + \frac{dy}{dt}\hat{j} \\ \vec{v} &= v_x\hat{i} + v_y\hat{j} \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

式中 v_x 、 v_y 分别为 $\vec{v}$ 在X、Y轴上的投影, 即

$$v_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta x / \Delta t = dx/dt$$

$$v_y = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta y / \Delta t = dy/dt$$

或用矢量式表示为

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y \quad (1-5a)$$

此时 $\vec{v}_x$ 、 $\vec{v}_y$ 分别为 $\vec{v}$ 的分矢量, 速度 $\vec{v}$ 的大小和方向分别为

$$|\vec{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(dx/dt)^2 + (dy/dt)^2}$$

$$\alpha = \arctg v_y / v_x$$

α 为 $\vec{v}$ 与X轴之间的夹角, 参见图1-3。

本书中物理量的单位, 采用国际单位制, 即SI(见§1-7)。在SI中, 速度与速率的单位为 $m \cdot s^{-1}$ 。

表1-1 表示几种运动物体速度的量级 (单位: $m \cdot s^{-1}$)

我国地区山脉隆起	$\sim 5 \times 10^{-11}$	声速 (20°C. 空气中)	344
龟的爬行	$\sim 2 \times 10^{-2}$	子弹的速度	$\sim 10^3$
人的步行	~ 1.3	第一宇宙速度	7.9×10^3
雨滴的终端速度	~ 2.7	第二宇宙速度	1.1×10^4
在校园内骑自行车	~ 5.56	地球绕太阳公转的平均速度	$\sim 3 \times 10^4$
兔子快跑	~ 18	太阳在银河系中运动的平均速度	$\sim 3 \times 10^5$
电车疾行	~ 22	真空中光速 (近似值)	3.0×10^8

一、加速度 $\vec{a}$

在曲线运动中, 质点运动速度通常是随时间变化的, 即速度的大小和方向是时间的函数, 如图1-4所示。质点在O—XY平面内运动, $\vec{v}$ 与 $\vec{v}'$ 分别为质点于 t 与 $t + \Delta t$ 时刻 (通过曲线轨迹上P与P'两点时) 的速度, 则在 $t - t + \Delta t$ 时间间隔内速度的增量为末速度与初速度之差, 即

$$\Delta \vec{v} = \vec{v}' - \vec{v}$$

平均加速度 $\vec{a}$ 定义为在这时间间隔内速度增量 $\Delta \vec{v}$ 与所经历的时间之比, 即

$$\vec{a} = \Delta \vec{v} / \Delta t$$

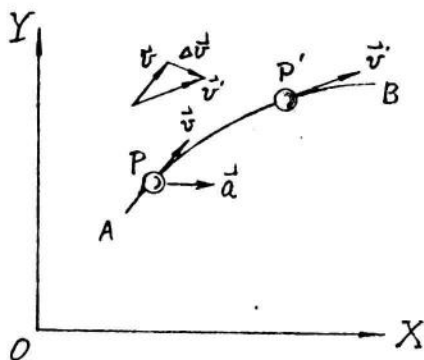


图1-4 质点的加速度 $\vec{a}$

平均加速度 $\vec{a}$ 是矢量, 其方向与速度增量 $\Delta \vec{v}$ 方向相同, 而一般与 $\vec{v}$ 及 $\vec{v}'$ 方向并不相同。然而, 平均加速度只能描述在这一时间间隔内速度变化的粗略情况, 如要说明某一时刻速度变化的快慢与方向, 应取平均加速度的极限值。