普通高等院校规划教材

大学物理简明教程

周笑薇
张遂生 编著

陕西师范大学出版社

大学物理简明教程

编著　周笑薇　张遂生

编者　张红卫　张学克　周金成　姜广智

陕西师范大学出版社

图书代号：JC7N0914

图书在版编目（CIP）数据

大学物理简明教程/ 周笑薇、张遂生编著. 一西安：
陕西师范大学出版社，2007.9
ISBN 978—7—5613—3807—0

I. 大… II. 周… III. 物理学—高等学校—教材 IV.
04

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2007）第 103472 号

大学物理简明教程

周笑薇 张遂生 编著

责任编辑	郭建刚
封面设计	马宁
出版发行	陕西师范大学出版社
社　　址	西安市陕西师大 120 信箱（邮政编码 710062）
网　　址	http://www.snupg.com
经　　销	新华书店
印　　刷	陕西彩云印务有限公司
开　　本	787mm×1092mm 1/16
印　　张	23.25
字　　数	420 千
版　　次	2007 年 9 月第 1 版
印　　次	2007 年 9 月第 1 次
书　　号	ISBN 978—7—5613—3807—0
定　　价	29.50 元

内容简介

本书是依据国家教育部《高等学校非物理专业物理课程教学基本要求》而编写的专科物理教材．本书汲取了国内外同类教材的优点，结合非物理专业专科学生的知识水平和特点，在几位长期讲授《大学物理》课程，有着丰富教学经验教师的倾力协作下编写出来的．全书避开了较高深的数学知识，深入浅出，重在讲解最基本的物理概念和物理思想．教材内容简练，深度广度要求适度，教学体系安排有一定特色．全书内容涉及力学、狭义相对论、电磁学、热学、振动和波、波动光学、量子物理基础．

本书编写了一些课外阅读材料及著名物理学家简介．通过这些材料，介绍与现代高新科技联系紧密的物理前沿知识和物理学的发展历史，以开拓学生视野和激发学生的学习兴趣．

本书可作为高职高专、成人高校的物理教材，也可作为高等院校非物理类专业本科少学时的物理教材．

前　言

物理学是研究物质的基本结构、基本运动形式、相互作用和转化规律的学科。它的基本理论渗透到自然科学的各个领域并应用于生产技术的许多部门，是其他自然科学和工程技术的基础。同时，物理学在其发展中也展现了一系列科学的世界观和方法论，对人类认识和改造物质世界，以及人类的思维方式都有深刻的影响。所以，以物理学基础为内容的大学物理课程，是高等学校理工科学生的一门重要的基础课。该课程在为学生学习其他专业课程打好基础、培养学生良好的科学素质等方面，具有其他学科不能替代的作用。

随着我国高等教育的迅猛发展，教学改革进程的加快，进一步强调加强学生实践能力的培养，教育部要求高职高专院校压缩理论课时，增加实践课时。为了适应这一要求，亟须一套更加适应高职高专学生使用的教材。

本教材是依据教育部《高等学校非物理专业物理课程教学基本要求》、博采众家之长、针对高职高专院校的教学实际，在总结编者长期教学经验的基础上编写的。

本教材具有以下几个特点：

（1）内容精练。本教材内容简明扼要，基本概念、基本规律表述明确，物理图像清晰，重点突出，既便于教，也便于学；

（2）深广度要求适度。本教材重在讲解基本物理理论和物理思想，尽量回避较高深的数学运算，使学生能在较少的学时内学到物理学的精髓。

（3）本书编写了一些学生课外阅读材料和科学家简介，介绍与现代高新科技紧密联系的物理前沿知识和物理学史，以开拓学生视野和激发学生学习的兴趣。

全书约 40 万字，适用于 72—108 学时的教学。

全书由周笑薇、张遂生主编，第一章、第二章、第三章由周金成编写；第五章、第十一章、第十二章由张学克编写；第六章、第七章由张遂生编写；第九章、第十章由张红卫编写；第四章、第十三章、全书阅读材料由周笑薇编写；第八章、第十四章、全书科学家简介、附录部分由姜广智编写。

由于编者水平所限，书中难免存在缺陷和错误，诚请使用本书的师生批评指正。

编　者

2007 年 4 月

目　录

第一章 质点运动学

自然界的一切物质都在永不停息地运动着，运动形式多种多样．在各种运动形式中，最基本、最直观的是机械运动——物体间或物体各部分之间相对位置随时间变化的运动．如天体的运行，车辆的行驶，液体和气体的流动，甚至人的行走及劳动等都是机械运动．几乎所有的物质运动形式都包含有这种最基本的运动形式．在物理学中，力学是研究机械运动客观规律及其应用的学科．它所讲述的基本概念和规律是学习整个物理学的基础．

经典力学研究的是弱引力场中宏观物体的低速运动．力学的研究和其他学科的一样，采取由现象到本质的步骤，根据其研究范畴的不同，可以把力学分为运动学、动力学和静力学．运动学是研究运动的描述，即物体的位置如何随时间变化；动力学是研究物体的运动和物体相互作用之间的关系，牛顿运动三定律是整个动力学的基础；静力学是研究物体在相互作用下的平衡问题．

本章将讨论运动学中最简单、最基本的内容，即质点运动学，而不涉及物体相互作用和运动之间的关系．为此先定义表征质点运动的物理量：如位置矢量、位移、速度和加速度等，然后运用这些概念并借助于不同的坐标系，讨论质点运动的具体问题．

§1-1 质点运动基本概念

一、质点

物体是研究对象的统称，实际物体总有其大小和形状，而且一般说来，它们在运动中可以同时有旋转、变形等等，物体上各点的运动情况一般各不相同，要描述物体上各点的运动情况实际上是很复杂的．但是，在某些问题中，如果物体的大小和形状在所研究的问题中不起作用或作用很小，就可以忽略物体的大小和形状，而把物体抽象为只有质量的几何点——理想物体，这样理想化的物体模型在力学中称为质点，例如，当我们讨论地球公转问题时，并不涉及地球自转所引起的各部分运动的差别，地球的形状、大小无关紧要，因此可以把地球看作是一个质点；考察一架飞机在空中飞行的航线及飞行速度时，也可以把飞机视为一个质点．实际上所谓的质点是一个从实际中抽象出来的理想模型，即具有质量的点．

应当指出，一个实际的研究对象能否看成是质点，不是依物体的大小而定，而是依问题的性质而定．如在有些问题中，大如恒星亦可视作质点，在另一些问题中小如分子、原子亦须考虑其形状、大小：还有，同一个物体在这个问题中可当作质点，在另一问题中却不能作为质点处理．同样一架飞机，若要考察飞机的运转情况及气流对飞机产生的影响时，

显然不能把飞机看作质点．总之，能否将物体视作质点，要根据问题的性质而定，要看把实际对象抽象为质点时是否能反映运动的主要特征．

质点是力学中最基本、最简单的理想模型，如果在所研究的问题中，物体的大小和形状不能忽略，则可以将物体视为由无限多个可视为质点的质元所组成的质点系．为此，我们还将引入质点系等理想模型，对于其中的每一个质点都可以运用质点运动学的结论．掌握了质点的运动规律，就能用数学方法推导出质点系的运动规律，因此，研究质点的运动是研究更为复杂的运动的基础．实际上，在一定条件下，把实际研究对象抽象化、理想化为某种模型，这种研究方法在物理学中经常采用，它使我们能够把握住事物的主要方面，使我们对事物的认识更深刻、更正确、更全面．

二、参考系

自然界的一切物体都在不停地运动，即使看来“静止”的建筑物如房屋、桥梁等也正随着地球一起运动．地球不但自转，还围绕太阳公转；而太阳系相对于附近恒星说来，正朝着武仙星座运动；太阳又是银河系的成员，而银河系也在旋转着……．这些事实表明，运动是普遍的、绝对的，而“静止”只有相对的意义．

虽然运动具有绝对性，但是，对运动情况的具体描述则具有相对性．例如，在水平匀速前进的火车中，一乘客竖直向上抛出一个小球．车上乘客观察到这小球是沿直线运动，而地面上的人观察到的却是小球沿一条抛物线运动．这是因为车上乘客选择车厢为标准，而地面上的人以地面为标准，从而得出不同结论．一个运动相对于不同的标准具有不同的运动描述，这就叫做运动描述的相对性．

由于机械运动具有相对性，因此，描述一个运动时，就必须选择其他物体作标准．描述运动时选作标准的物体（一个不变形的物体，或保持相对静止的几个物体），称为参考系．

在研究运动学问题时，参考系可以任意选择，看问题的性质和计算的方便而定．例如，描述太阳系行星运动时，如果使用太阳参考系，则行星作椭圆运动；但是，如果用地球参照系，它们将作复杂的曲线运动．因此，以太阳参考系描述行星的运动比较简单方便．而在描述地球上的物体运动时，常选择地球为参考系．

§1–2　描述质点运动的物理量

一、位置矢量　运动方程

1．位置矢量

要讨论质点位置随时间的变化，先要确切地描述质点的位置．为了同时给出质点相对于参考点的距离和方位，可以引入一个矢量来描述．如图 1-1 所示，由参考系上的坐标原点引向质点 P 所在位置引一矢量 OP，称为质点的位置矢量．通常以 $\boldsymbol{r}$ 表示．在国际单位制（SI）中，位置矢量大小的单位为米（m）．

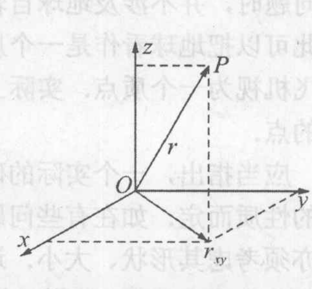

图 1-1

位置矢量的数学表示用直角坐标系 $O\text{-}xyz$ 中三个互相正交的分量来表示，如图 1-1 所示．若 P 点的位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 在 x，

y，z 轴上的分量（即坐标）分别为 x，y，z，则位置矢量的坐标表达式为：

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

式中 $\boldsymbol{i}$，$\boldsymbol{j}$，$\boldsymbol{k}$ 分别表示沿 x，y，z 轴正方向的单位矢量．x，y，z 称作质点的位置坐标，也可用来描述质点的位置，与用位置矢量来描述是一致的．

位置矢量的大小（即 r 的模）为

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

位置矢量的方向，可由其方向余弦确定：

$$\cos\alpha = \frac{x}{r}$$

$$\cos\beta = \frac{y}{r}$$

$$\cos\gamma = \frac{z}{r}$$

式中 α，β，γ 分别表示 $\boldsymbol{r}$ 与 x，y，z 轴正方向之间的夹角（取小于 180° 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

在质点运动过程中，它的位置矢量随时间改变，每一时刻均有一定的位置矢量与之对应，如图 1-2 所示，即位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 为时间 t 的函数

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

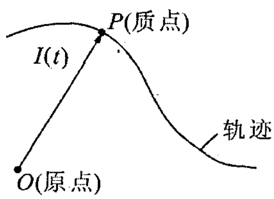

图 1-2

上式称作质点的运动方程．它给出了任意时刻质点的位置．下面讲了速度与加速度后，我们将看到，如已知质点的运动方程，就可以确定质点在任一时刻的速度和加速度，即掌握了质点运动的全部情况．因此，求出运动方程是质点运动学的中心问题．

运动方程在直角坐标系 $O\text{-}xyz$ 中的坐标表达式为

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t) = x(t)\boldsymbol{i} + y(t)\boldsymbol{j} + z(t)\boldsymbol{k} \qquad (1\text{-}2)$$

质点运动时，坐标 x，y，z 都是时间 t 的函数，所以运动方程在直角坐标系中也可写成

$$\left.\begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t) \end{aligned}\right\} \qquad (1\text{-}3)$$

称为质点运动方程的分量式.

当质点被限制在一平面内运动，例如在 xy 平面内运动时，称为二维运动，其运动方程的分量式为：

$$\left.\begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \end{aligned}\right\} \tag{1-4}$$

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

$$x = x(t) \tag{1-5}$$

3．轨迹方程

质点在所选定的参考系中运动时，在空间所经过的路径称为质点的运动轨迹或轨道. 如图 1-3 所示. 轨迹曲线可用数学形式表示，由式（1-3）消去时间参量 t，即可得到质点运动的轨迹方程,例如，已知一质点的运动方程为：

$$\boldsymbol{r} = R\cos\omega t\boldsymbol{i} + R\sin\omega t\boldsymbol{j}$$

式中，R、ω 均为常量，可得其分量式为：

$$\left.\begin{aligned} x &= R\cos\omega t \\ y &= \sin\omega t \\ z &= 0 \end{aligned}\right\}$$

消去时间参量 t 即得质点的轨迹方程

$$x^2 + y^2 = R^2$$

这是在 O-xy 平面内，以坐标原点为圆心，以 R 为半径的圆周运动.

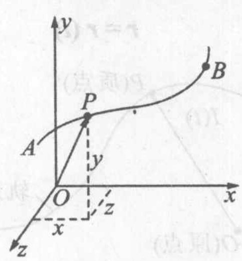

图 1-3

例题 1–1　已知一质点的运动方程为

$$\boldsymbol{r}(t) = at\boldsymbol{i} + (bt - ct^2)\boldsymbol{j}$$

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

$$\begin{cases} x = at \\ y = bt - ct^2 \\ z = 0 \end{cases}$$

所以它在 O-xy 平面上运动，从第一式和第二式中消去 t，便得

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

此即该质点的轨迹方程，为 O-xy 平面上的经过原点的抛物线．

例题 1-2　已知一质点的运动方程为

$$\begin{cases}x=3\sin\dfrac{\pi}{2}t\\ y=3\cos\dfrac{\pi}{2}t\end{cases}$$

式中时间和坐标值均采用国际单位制．求：

（1）t=1s 和 t=2s 时质点的位置；

（2）质点的运动轨迹．

解　（1）质点在 O-xy 平面上作二维运动．

t=1s 时，

$$\begin{cases}x=3\sin\dfrac{\pi}{2}t=3(\mathrm{m})\\ y=3\cos\dfrac{\pi}{2}t=0\end{cases}$$

t=2s 时

$$\begin{cases}x=3\sin\pi t=0\\ y=3\cos\pi t=-3(\mathrm{m})\end{cases}$$

（2）由所给的运动方程消去时间 t，得

$$x^2+y^2=9$$

这表明该质点的轨迹是以原点 O 为圆心，半径等于 3m，在 O-xy 平面上的圆．

二、位移和路程

1．位移

为了描述质点在一定时间间隔内位置的变动，我们引入位移矢量．参照图 1-4，一运动着的质点，其位置在轨道上连续变化，设 t 时刻质点位于 P 点，$t+\Delta t$ 时刻到达 Q 点，$\boldsymbol{r}(t)$ 和 $\boldsymbol{r}(t+\Delta t)$ 分别表示时刻 t 和 $t+\Delta t$ 的位置矢量．自质点初始位置引向 Δt 时间后末位置的矢量 $\Delta\boldsymbol{r}$ 称作质点在这段时间间隔内的位移．由图可以看出，位移也就等于质点在这段时间内位置矢量的增量．

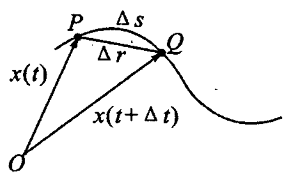

图 1-4

$$\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}(t+\Delta t)-\boldsymbol{r}(t)\tag{1-6}$$

写出Δt始末的位置矢量在直角坐标系中的正交分解式：

$$\boldsymbol{r}(t+\Delta t)=x(t+\Delta t)\boldsymbol{i}+y(t+\Delta t)\boldsymbol{j}+z(t+\Delta t)\boldsymbol{k}$$

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

二式相减得位移

$$\begin{aligned}\Delta\boldsymbol{r}&=\left[x(t+\Delta t)-x(t)\right]\boldsymbol{i}+\left[y(t+\Delta t)-y(t)\right]\boldsymbol{j}+\left[z(t+\Delta t)-z(t)\right]\boldsymbol{k}\\&=\Delta x\boldsymbol{i}+\Delta y\boldsymbol{j}+\Delta z\boldsymbol{k}\end{aligned}\tag{1-7}$$

这是位移在直角坐标系中的正交分解式，它表明位移可由位置坐标的增量来决定.

2．路程

位移给出了质点在一段时间内位置变动的总效果，但并未给出质点是沿什么路径由起点运动到终点的．而质点沿路径运动的描述则需要另外一个物理量——路程来描述．路程是质点沿轨迹运动所经历的路径长度．它与位移是两个截然不同的概念，位移是矢量，而路程是正的标量．通常情况下，路程不等于位移的大小．如图 1-4 所示，$\Delta s\neq\left|\Delta\boldsymbol{r}\right|$．因此一定要认清质点在一段时间内的位移$\Delta\boldsymbol{r}$和所经过的路程$\Delta s$这二者的区别．例如长跑运动员绕 400 m 跑道跑了 25 圈，他跑过的路程是 10000 m，但位移却是零.

三、速度

为了描述质点运动的快慢和方向，我们引入速度这一物理量.

1．平均速度

质点在 t 时刻到 t+．t 时刻这段时间间隔内的位移是$\Delta\boldsymbol{r}$，我们可以用位移$\Delta\vec{r}$除以发生这段位移的时间间隔．t，即单位时间内的位移$\dfrac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}$来近似地描述 t 时刻附近质点运动的快慢和方向．质点位移$\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}(t+\Delta t)-\boldsymbol{r}(t)$与发生这一位移的时间间隔$\Delta t$之比，称作质点在这段时间内的平均速度，记作$\overline{v}$，

$$\overline{v}=\frac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}=\frac{\boldsymbol{r}(t+\Delta t)-\boldsymbol{r}(t)}{\Delta t}\tag{1-8}$$

在描述质点运动时，通常还用到速率的概念．若在Δt时间间隔内，质点通过的路程为Δs，则路程Δs与时间间隔Δt的比值就叫做该时间间隔内的平均速率，可表示为：

$$\overline{v}=\frac{\Delta s}{\Delta t}\tag{1-9}$$

显然，一般情况下平均速度的大小不等于平均速率，这是因为位移的大小一般不等于路程．所以，平均速率与平均速度是两个不同的概念，而且二者的物理意义也不相同．平均速度描述质点位置变化的平均快慢程度和方向，平均速率描述质点沿轨迹移动的平均快慢程度，切不可把二者混淆.

2．瞬时速度

平均速度仅仅描述一段时间时间内或某一段位移上位置总变化的方向和平均快慢程度，却不能精确地描述质点在这段时间间隔内每一时刻质点运动的快慢程度和运动方向的改变的详细情况．由平均速度的定义可知，Δt取得越短，平均速度就越接近时刻 t 质点运

动的快慢程度和方向．就越能反映该时刻质点运动的实际情况．当 $\Delta t\to 0$，$\dfrac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}$ 趋近于一个确定的极限矢量，这个极限矢量确切地描述了质点在 t 时刻运动的快慢和方向，这就是质点在 t 时刻的瞬时速度，它等于 t 时刻至 $t+\Delta t$ 时刻这一段时间间隔内平均速度 $\dfrac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}$ 在 $\Delta t\to 0$ 时的极限，用 $\boldsymbol{v}$ 表示，即：

$$\boldsymbol{v}=\lim_{\Delta t\to 0}\bar{\boldsymbol{v}}=\frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} \tag{1-10}$$

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，记作

$$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t} \tag{1-11}$$

速度矢量的方向，沿平均速度的极限方向，即位移 $\Delta \boldsymbol{r}$ 的极限方向．当 $\Delta t\to 0$ 时，位移 $\Delta \boldsymbol{r}$ 趋于轨道的切线方向．如图 1-5 所示．因此，质点在任一时刻的瞬时速度的方向和这个时刻质点所在处的轨道曲线相切并指向质点前进的方向．

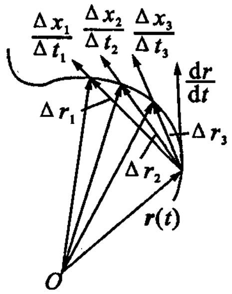

图 1-5

为描述质点沿轨迹移动的瞬时情况，引入瞬时速率的概念．同定义速度一样，当 $\Delta t\to 0$ 时，平均速率的极限叫做质点在 t 时刻的瞬时速率，简称速率．速率和速度也是两个不同的概念，但是，$\Delta t\to 0$ 时，弦线长 $\Delta \boldsymbol{r}$ 无限接近于对应的路程 Δs，故瞬时速率可以表示为

$$v=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta s}{\Delta t}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{|\Delta \boldsymbol{r}|}{\Delta t}=|\vec{v}| \tag{1-12}$$

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．速度和速率的单位同为米・秒$^{-1}$（$\mathrm{m\cdot s^{-1}}$）．

3．速度在直角坐标系中的表示

瞬时速度 $\vec{v}$ 在直角坐标系 $O\text{-}xyz$ 中的正交分解式为

$$\boldsymbol{v}=v_x\boldsymbol{i}+v_y\boldsymbol{j}+v_z\boldsymbol{k}$$

将（1-2）式对时间求导，得

$$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k} \tag{1-13}$$

与前式对比，得

$$\begin{cases} v_x = \dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} \\ v_y = \dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t} \\ v_z = \dfrac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t} \end{cases}$$

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，可取正值也可取负值.

瞬时速度的大小和方向余弦可表示如下：

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

$$\begin{cases} \cos\alpha_v = \dfrac{v_x}{v} \\ \cos\beta_v = \dfrac{v_y}{v} \\ \cos\gamma_v = \dfrac{v_z}{v} \end{cases}$$

例题 1-3 已知一质点沿 x 轴运动，其运动方程为

$$x = A\cos(\omega t + \varphi)$$

A，ω，φ 为常数，求该质点的速度.

解 根据速度的定义，通过对质点的运动方程的微分运算即可求出它的速度.

根据式速度分量式，该质点的速度为

$$\begin{aligned} \boldsymbol{v} &= \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}A\cos(\omega t + \varphi)}{\mathrm{d}t} \\ &= -A\omega\sin(\omega t + \varphi) \end{aligned}$$

这个结果说明，质点的速度按正弦规律做周期性的变化，可正可负. 若速度为正，则其方向沿 x 轴正方向；若速度为负，则其方向沿 x 轴负方向. 所以，质点将在 x 轴上往复运动. 这种按正弦或余弦规律的往复运动，称之为简谐振动. 我们将在后面的章节中介绍这种运动.

四、加速度

质点运动时，瞬时速度大小和方向都可能变化，为了描述各个时刻速度矢量随时间变化的情况，我们引入加速度的概念.

1. 加速度

（1）平均加速度

设质点在 t 时刻的速度为 $\boldsymbol{v}(t)$，经 Δt 后速度变为 $\boldsymbol{v}(t+\Delta t)$，如图 1-6 所示，速度增量为：