

目 录

前言

绪论	1
第一章 力学的基本概念	3
§ 1—1 速度和加速度	3
§ 1—2 牛顿运动定律 单位制	5
§ 1—3 功和能 能量守恒和转换定律	9
§ 1—4 圆周运动	11
§ 1—5 谐振动	14
§ 1—6 波动	18
§ 1—7 超声波及其在农业上的应用	23
第二章 分子运动论	26
§ 2—1 分子运动论的基本概念	26
§ 2—2 物质的三种聚集态	28
§ 2—3 气体实验定律 理想气体状态方程	30
§ 2—4 理想气体的分子模型 压强方程	33
§ 2—5 能量方程	35
§ 2—6 能量按自由度均分定理 理想气体的内能和热容量	38
§ 2—7 气体的输运过程 扩散和内摩擦	43
§ 2—8 液体的表面张力	45
§ 2—9 润湿和不润湿 毛细现象	49
§ 2—10 液体的蒸发 弯曲液面上方的饱和蒸气压 蒸发与凝结	53
§ 2—11 液体的粘滞性 斯托克公式	56
第三章 热辐射与传热学	58
§ 3—1 热辐射	58
§ 3—2 传热学	64
§ 3—3 农业中常见的热辐射和传热学问题	71
第四章 电磁现象的基本规律	81
§ 4—1 电荷 导体和电介质	81
§ 4—2 静电场 电场强度及电势	84
§ 4—3 电容器	89
§ 4—4 电流的基本定律 电动势	92

§ 4—5	磁现象 电流的磁场	95
§ 4—6	运动电荷在磁场中受力 质谱仪	99
§ 4—7	电磁感应现象 感应电动势	102
§ 4—8	交变电磁场 电磁波	105
§ 4—9	交流电的基本概念	107
第五章	晶体管电路基础	115
§ 5—1	半导体的导电特性	115
§ 5—2	PN结 二极管的整流作用	117
§ 5—3	晶体三极管及其放大作用	124
§ 5—4	晶体管振荡器	131
§ 5—5	晶体管电路在农业中的应用	133
第六章	非电量的电测法	136
§ 6—1	非电量的电测法概述	136
§ 6—2	桥式电路与补偿电路	136
§ 6—3	电阻变换器	140
§ 6—4	电容变换器	142
§ 6—5	光电变换器	143
§ 6—6	热电变换器	147
第七章	光度学基础	151
§ 7—1	光通量	151
§ 7—2	发光强度	153
§ 7—3	照度与辐射强度	156
§ 7—4	光度计	160
第八章	光的波动性和粒子性	162
§ 8—1	电磁波谱 红外线与紫外线	162
§ 8—2	光的干涉与衍射	163
§ 8—3	全息术	169
§ 8—4	光的偏振	172
§ 8—5	光的二象性	177
§ 8—6	伦琴射线衍射与物质结构分析	181
§ 8—7	光学显微镜的分辨率	184
§ 8—8	电子显微镜	189
第九章	原子结构 原子与分子光谱	193
§ 9—1	原子光谱 玻尔理论	193
§ 9—2	分子光谱	199
§ 9—3	光谱技术在农业和生物学中的应用概述	201
§ 9—4	光的受激发射——激光	205
第十章	放射性同位素及其在农业中的应用	210

§ 10—1 原子核结构 基本粒子 同位素	211
§ 10—2 人工放射性	215
§ 10—3 放射性强度和射线的探测	218
§ 10—4 放射性同位素在农业中的应用	223
阅读材料 光与植物	230
§ 1 绿色植物中的能量过程	230
§ 2 植物的光照栽培	238
附录	
1. 物理常数表	244
2. 质量换算表	244
3. 长度换算表	245
4. 时间换算表	245
5. 物质密度表	245
(1) 气体的密度	245
(2) 常压下液体的密度	246
(3) 常温常压下固体的密度	246
6. 比热表	246
(1) 气体和蒸气的定压比热 (C_p) 和定容比热 (C_v) ($\text{卡}\cdot\text{克}^{-1}\cdot\text{度}^{-1}$)	246
(2) 固态和液态物质的比热 ($\text{卡}\cdot\text{克}^{-1}\cdot\text{度}^{-1}$)	247
7. 导热系数表	247
8. 介电系数表	248
9. 电阻率表	248

绪 论

物理学是自然科学的基础学科之一，是研究自然界物质运动基本规律的科学。

我们周围所有的客观实在都是物质，整个自然界就是由各种各样运动着的物质组成的。列宁说：“物质是作用于我们的感觉器官而引起感觉的东西；物质是在感觉中被给予我们的客观的实在。”^①物理学中所研究的气体、液体、固体和组成物质的分子、原子、电子以及光和其他电磁辐射等，都是物质存在的形式。

一切物质都在作永恒的不停的运动。恩格斯说：“运动是物质的存在形式、物质的固有属性，它包括宇宙中所发生的一切变化和过程，从简单的位置变动起直到思维止”。^②

物质运动有各种不同的形式。物理学所研究的是最基本、最普遍的运动形式，而化学、生物学等是研究高级的、复杂的运动形式。虽然基本的、普遍的运动形式不能简单地包括或代替高级的、复杂的运动形式（如生物学中研究的生命现象等等），然而物理学所研究的机械运动、分子运动、电磁运动、原子和原子核内部的运动都无一例外地存在于其他复杂运动形式中。物理学所研究的物质运动有极大的普遍性，这使物理学成为科学技术的基础之一。

由于物理学所研究的物质运动规律具有极大的普遍性，因此，它必然与哲学有密切的联系。它以全部成就证明了辩证唯物主义的正确性。学习物理学，对于确立辩证唯物主义世界观关系很大。

现代物理学的发展，证实了辩证唯物主义关于物质的统一性及其客观规律性的原理。例如，物理学中关于物质结构和光的本性的认识的发展，愈来愈深刻地说明了世界的物质性和它的规律的可认识性。原子结构理论和元素的衰变，一方面揭示了各元素之间的相互联系；另一方面也充分说明了一切物质都在不停地运动变化着。麦克斯韦的电磁理论，指出了电现象、磁现象和光现象之间的密切联系，各种物质的物理性质的变化（如气、液、固聚集态的变化，元素性质随原子序数或核电荷数的变化，辐射性质随波长的变化等等），都离不开量变到质变的基本法则……。总之，无数物理学的例子，都给辩证唯物主义哲学提供了有力的科学论据。

学习物理学，必须贯彻理论联系实际的原则。一方面，必须反对理论和实践相脱节的现象。事实上，科学脱离了实践，就失去了生命力，成为空洞僵死的东西；另一方面，轻视理论的作用也是错误的。自然科学的历史证明，理论是经过更广泛而深刻的概括与抽象

^① 列宁：《唯物主义与经验批判主义》，人民出版社，1957年版，第139页。

^② 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1962年版，第46页。

提炼出来的理性认识，它使我们对事物的认识更加全面，更为系统，因而也更有可能是去掌握事物的本质，而不为其表面现象所迷惑。脱离实际的理论是空洞的理论，而缺乏理论指导的实践则是盲目的实践。它们之间的关系是相辅相成的，不可偏废。

物理学和其他自然科学一样，是由于生产和科学实验的需要而产生和发展起来的。反过来，物理学本身的发展，又大大推动了生产和科学技术的发展。如果仔细考察一下现代的科学技术，就可发现，它的很大部分发源于物理学的实际应用。

物理学和农业科学技术的关系也十分密切。现代物理学的成就，已越来越多的应用到农业科学技术中去，其深度和广度都是前所未有的。目前，物理学和农业的关系主要表现在以下几方面：

(1) 农作物生长在土壤及近地面大气中，其中的物理因素，如太阳辐射、温度、湿度、空气以及土壤的物理性质等等，是影响农作物生长发育的基本外界环境因素。运用物理学的原理和方法，研究和改造这些外界环境因素，使之更有利于农作物生长发育，对于加速农业的发展关系很大。

(2) 近年来，大量新兴的科学技术被引进农业科学技术中来。如电离辐射、超声波、电子技术、计算技术、微波技术、激光技术、红外遥感技术和光电技术等。它们在农作物生长环境因素的检测、分析研究和控制；农作物果树、蔬菜和家畜的品种选育；产量的预测预报；病虫害的预测预报及防治；农、畜产品加工，农、畜产品贮藏中的灭菌、灭虫及仓库环境条件的检测与控制；农、畜产品品质分析；家畜疾病防治；农田水利和土壤改良以及农业机械等各方面的应用越来越广泛。而在农业生产和农业科学中应用这些新技术，必须具备一定的物理学基础。

(3) 作为农业科学技术的理论基础的生物科学，近年来有了突飞猛进的发展。生物科学和物理学的紧密结合和互相渗透，产生了一系列新兴的边缘学科，如分子生物学、分子遗传学、量子生物学、仿生学等等。其特点：一方面是不断向微观世界前进；另一方面则是实验方法和手段的现代化。广泛采用如电子计算机、电子显微镜、超速离心机、光谱和色谱仪器、质谱仪、顺磁共振波谱仪等现代化实验工具和仪器。而研究和掌握现代生物学的理论和实验技术，必须有坚实的物理学基础。可以断言，建设现代化的大农业，离开现代生物科学的发展是不可能的，而生物科学的发展，离开物理学也是不可能的。

现在，我国的社会主义革命和社会主义建设，已经进入了新的历史发展时期。我国的工人、农民和知识分子，面临着在本世纪内把我国建设成为社会主义现代化强国、赶超世界先进水平的历史任务。完成这一历史任务，不仅要有正确的路线和政策，而且要造就一大批又红又专的科学技术人材。作为农业科学技术工作者，必须充分认识现代农业科学技术对于巩固无产阶级专政、建设社会主义强国的重要性，充分认识发展我国农业科学技术的迫切性，努力为我国的农业现代化作出贡献。只要我们在党的领导下，坚持又红又专的方向，团结一致，艰苦奋斗，就一定能在本世纪内把我国建设成为农业、工业、国防和科学技术现代化的伟大的社会主义强国。

第一章 力学的基本概念

§ 1—1 速度和加速度

物体作直线运动的速度和加速度，中学已经讲过。现在把这两个概念推广到曲线运动中去。

在讨论曲线运动之前，先引入质点概念。由于物体具有大小和形状，物体上各点的运动情况，一般是各不相同的。例如转动物体上的各点，其位移、速度、加速度等各不相同。当研究这类问题时，必须考虑到物体的形状和大小。但在以下两种情况下，为了使讨论的问题简化，往往忽略物体的大小和形状，而把它看成是一个质点。

(1) 当物体作平移运动时，由于物体上每点的运动状态完全一样，我们只要研究了物体上一个点的运动，便可以知道整个物体的运动情况。

(2) 物体的大小与问题中的其他量比较起来，小到可以忽略不计。

因此，一个物体是否可以当作质点，完全决定于问题的性质。下面我们讨论的物体的平动，就可以简化为质点的运动。

设质点在曲线上运动时（图1—1），在某一时刻 t 的位置是 P ，经过一段时间 Δt 后，质点沿曲线运动到另一位置 Q ， PQ 叫做质点在 Δt 时间内的位移。位移是矢量，它的大小规定为起点到终点间的直线距离，它的方向规定为这段直线上从起点到终点的方向。

在曲线运动中，位移与轨道一般是不相同的，前者是起点与终点间的直线，后者是曲线的弧长。但当时间 Δt 为无限小时，位移与弧长都是无限小值，这时位移和轨道就可以认为是一致的。因此任何曲线运动可以看作由无数极短的直线运动所组成，而直线运动中速度的概念就可以用到曲线运动中来。

在如图 1—1 所示的曲线运动中，质点在时间 Δt 内的平均速度为 $\vec{v}_{\text{平均}} = \frac{\vec{\Delta s}}{\Delta t}$ ，它的方向

和位移 $\vec{\Delta s}$ 的方向一致。当时间 Δt 趋近于零时， Q 点和 P 点无限靠近，这时平均速度 $\vec{v}_{\text{平均}}$ 的极限值，便是质点在时刻 t 或在位置 P 时的瞬时速度，用数学公式表示如下：

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{\Delta s}}{\Delta t} \quad (1-1)$$

这时位移的方向和曲线上 P 点的切线方向一致，因此质点在位置 P 时

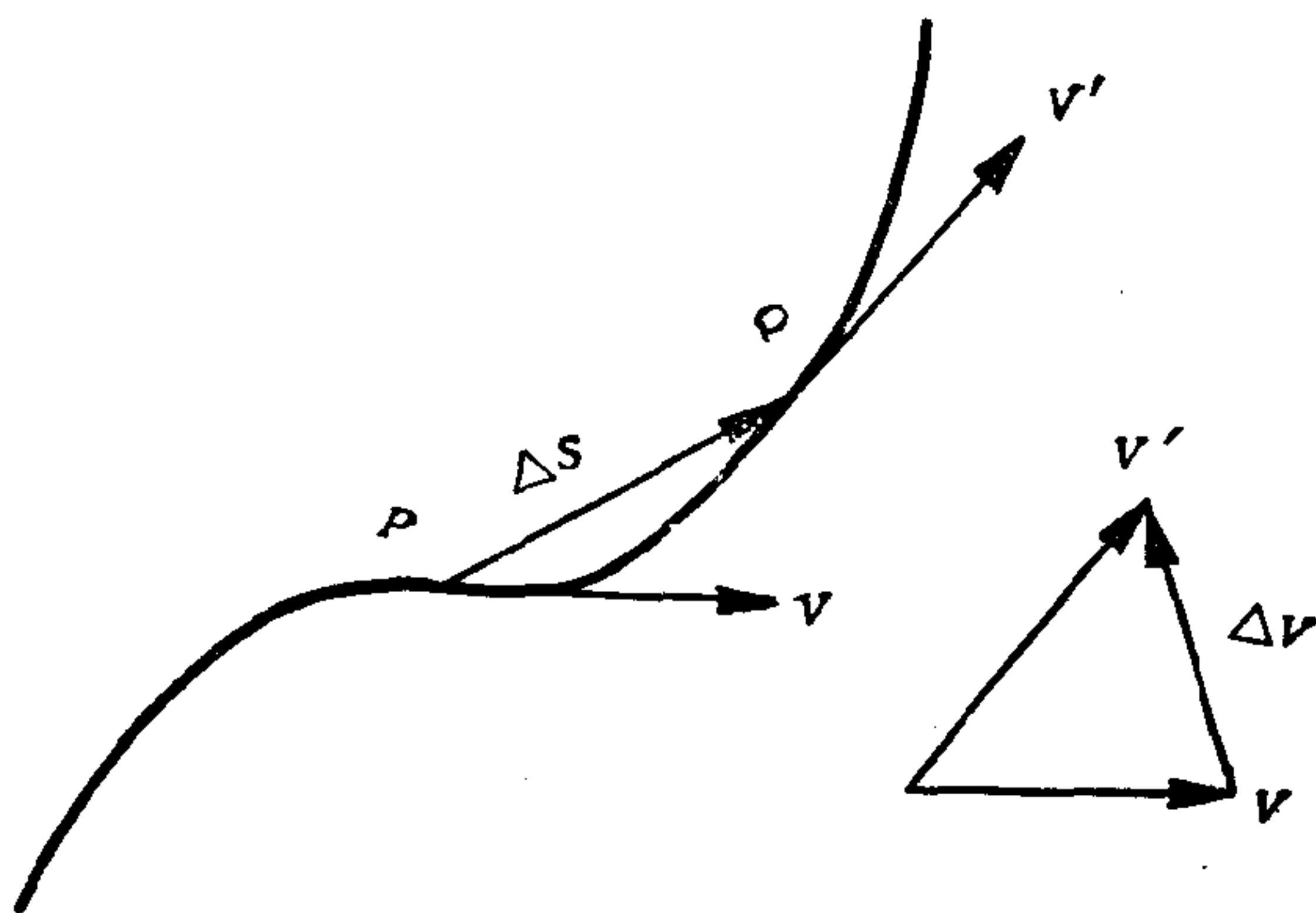


图 1—1 曲线运动

的瞬时速度的方向就是 P 点切线的方向。

质点作曲线运动时，速度的方向随时都在改变，速度的大小也可能在改变。设质点在 P 点时的速度为 \vec{v} ，在 Q 点时的速度为 \vec{v}' （图 1—1），由 P 点运动到 Q 点所经历的时间为 Δt ，则 \vec{v}' 和 \vec{v} 的矢量差 $\Delta\vec{v}$ 就是质点在 Δt 时间内速度的改变量。 $\Delta\vec{v}$ 与 Δt 之比就叫做质点在 P 、 Q 两点之间的平均加速度 $\vec{a}_{\text{平均}}$ 。用公式表示就是：

$$\vec{a}_{\text{平均}} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

当 Δt 趋近于 0 时，平均加速度就趋于一个极限值，这个极限值就是质点在 P 点时的瞬时加速度 \vec{a} ：

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \quad (1-2)$$

可以看出，瞬时加速度的方向就是 $\Delta\vec{v}$ （叫做速度增量）的方向。因为在曲线运动中速度矢量的方向随时都在变化着， $\Delta\vec{v}$ 的方向不会平行于 \vec{v} 的方向，所以瞬时加速度的方向也不和速度 \vec{v} 平行。

在直线运动中， \vec{v} 、 \vec{v}' 和 $\Delta\vec{v}$ 都在同一直线上，加速度的方向和速度的方向相同（或相反），加速度的作用仅仅是改变速度的大小。当质点作曲线运动时，情形就不同了。根据上面的分析，在曲线运动中加速度的方向和速度的方向是不一致的。图 1—2 表示质点在曲线上 P 点的速度和加速度。应用矢量分解的方法，我们可以把加速度 a 分解为两个互相垂直的分矢量。其一沿曲线在 P 点的切线方向，用 \vec{a}_t 表示，叫切向加速度，它与速度 \vec{v} 的方向相同，

其作用与直线运动中加速度的作用一样，只改变速度的大小。另一个分量沿曲线在 P 点的法线方向，用 \vec{a}_n 表示，叫法向加速度，它与速度 \vec{v} 的方向垂直，其作用是改变速度的方向。

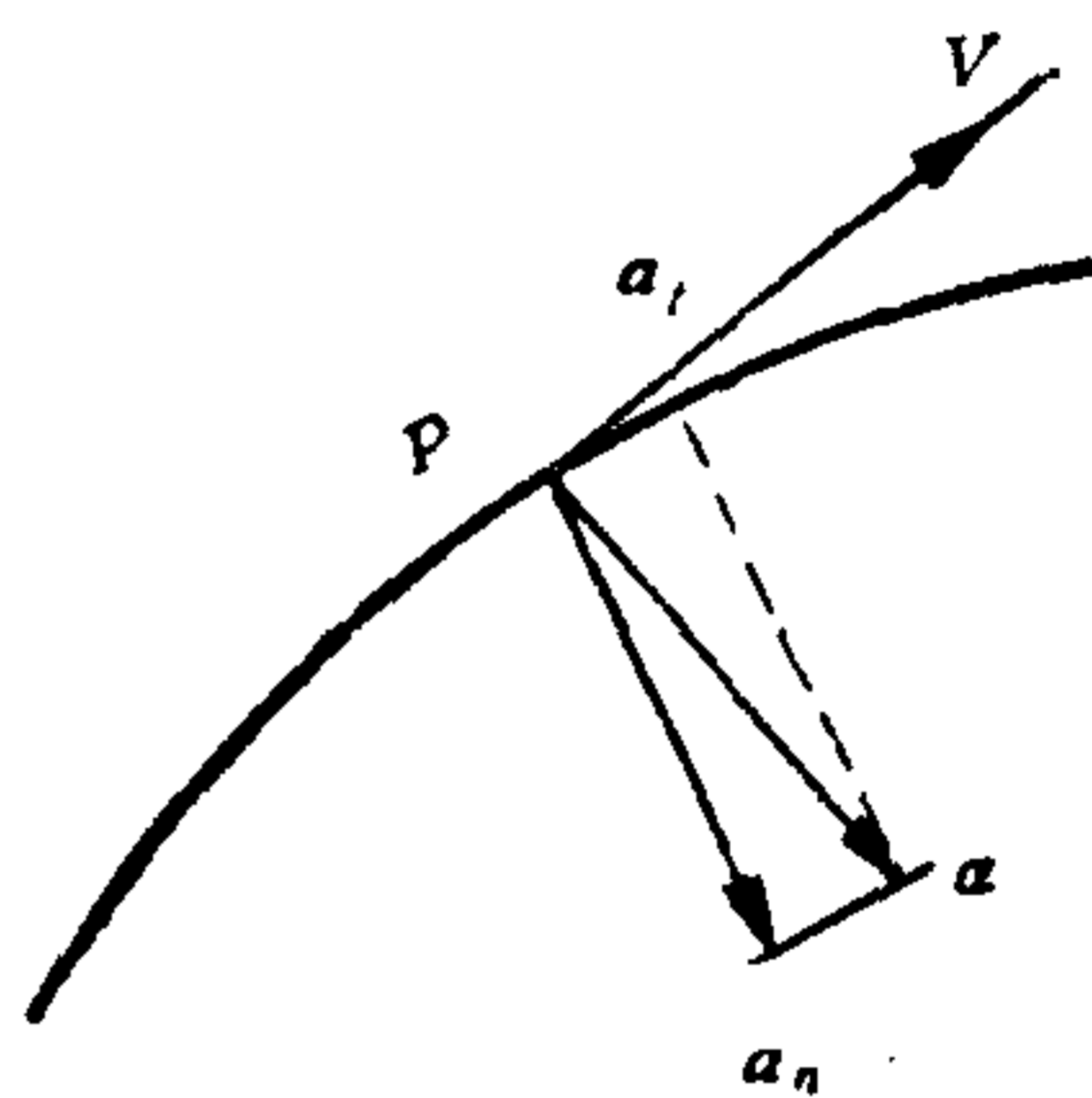


图 1—2 曲线运动的加速度

由微分学知道， $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{s}}{\Delta t}$ 就是位移 \vec{s} 对于时间 t 的导数，因此，瞬时速度 \vec{v} 就是位移对时间的导数，

用数学公式表示：

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{s}}{\Delta t} = \frac{d\vec{s}}{dt} \quad (1-1a)$$

同样，瞬时加速度 \vec{a} ，是速度对于时间的导数，即：

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

因为 $\vec{v} = \frac{d\vec{s}}{dt}$ ，所以

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{s}}{dt^2} \quad (1-2b)$$

即加速度等于位移对时间的二阶导数。

§ 1—2 牛顿运动定律 单位制

研究机械运动改变的原因及其基本规律，是分析一切力学问题的基础。牛顿总结了前人的知识，对机械运动进行了深入的研究，在1686年提出了三条运动定律。这些定律不仅是质点运动的基本定律，而且从它可以导出固体、流体等的运动定律，从而建立起整个经典力学系统。因此，在经典力学范围内，牛顿运动定律是一切物质的机械运动的基本定律。

牛顿第一运动定律 任何物体都保持静止或匀速直线运动状态，直到其他物体的作用迫使它改变这种状态为止。

第一运动定律说明当一个物体和周围其他物体没有相互作用时，该物体的运动情况。“物体保持静止或匀速直线运动状态”，这就是说物体保持它的运动速度不变。因此，第一定律揭示了这样一件客观事实，就是一切物体都有一种保持运动速度不变的特性。物体的这一特性，叫做惯性。第一定律因而也叫做惯性定律。

第一定律的重要意义，还在于它给出了力的科学的定义。力的最初概念是从生产和生活经验中得出来的，人们从推、拉、举、抛等肌肉感觉中获得了力的认识，以后渐渐认识到物体之间也存在着力的作用。第一定律明确告诉我们，力是物体间的一种相互作用，由于这种作用，物体会改变速度，即获得加速度。

第一定律不能用直接的实验方法来验证，因为在我们周围的实际环境中，要使一物体完全不受其他物体的作用是不可能的。但是由牛顿第一定律所导出的一切推论，都和实验的结果符合，因此也就间接地验证了牛顿第一运动定律的正确性。

牛顿第二运动定律 物体受到外力作用时，它所获得的加速度与外力的合力的大小成正比，且沿着合力的方向，而与物体的质量成反比。

第二定律说明一个物体在受到其他物体的作用力时，该物体的运动情况。它对第一定律中“作用”和“惯性”两概念，从质的认识进一步作了量的陈述，引入了与这两个概念有关的物理量——力和质量，并确定了力、质量和加速度之间的关系。

实验表明：物体受到外力 \vec{f} （也可以是几个外力的合力）作用时，物体所获得的加速度 \vec{a} 的大小和外力 \vec{f} 的大小成正比；而与物体的质量 m 成反比，加速度 \vec{a} 的方向和外力 \vec{f} 的方向相同，即：

$$\vec{a} \propto \frac{\vec{f}}{m}, \text{ 或 } \vec{f} \propto m\vec{a}$$

写成等式，得到：

$$\vec{f} = k m \vec{a}$$

式中比例系数 k 决定于力、质量和加速度的单位，如果选用适当的单位。使 $k=1$ ，则上式简化为：

$$\vec{f} = m\vec{a} \quad (1-3)$$

从式(1-3)可以看出,如果 \vec{f} 是一个不变的常量,那么 \vec{a} 也是个常量,也就是说,在一个不变的常力作用下,物体将做匀变速运动。如果 \vec{f} 等于0,则 \vec{a} 也等于0,物体将保持它的运动速度不变。因此,当作用在物体上的合外力为零时,物体将保持它的静止状态,或是沿一直线做匀速运动,也就是说,物体处于平衡状态。

牛顿第三运动定律 当物体A以力 \vec{f}_1 作用在物体B上时,物体B也必定同时以力 \vec{f}_2 作用在物体A上; \vec{f}_1 和 \vec{f}_2 在一条直线上,大小相等而方向相反(图1-3)。

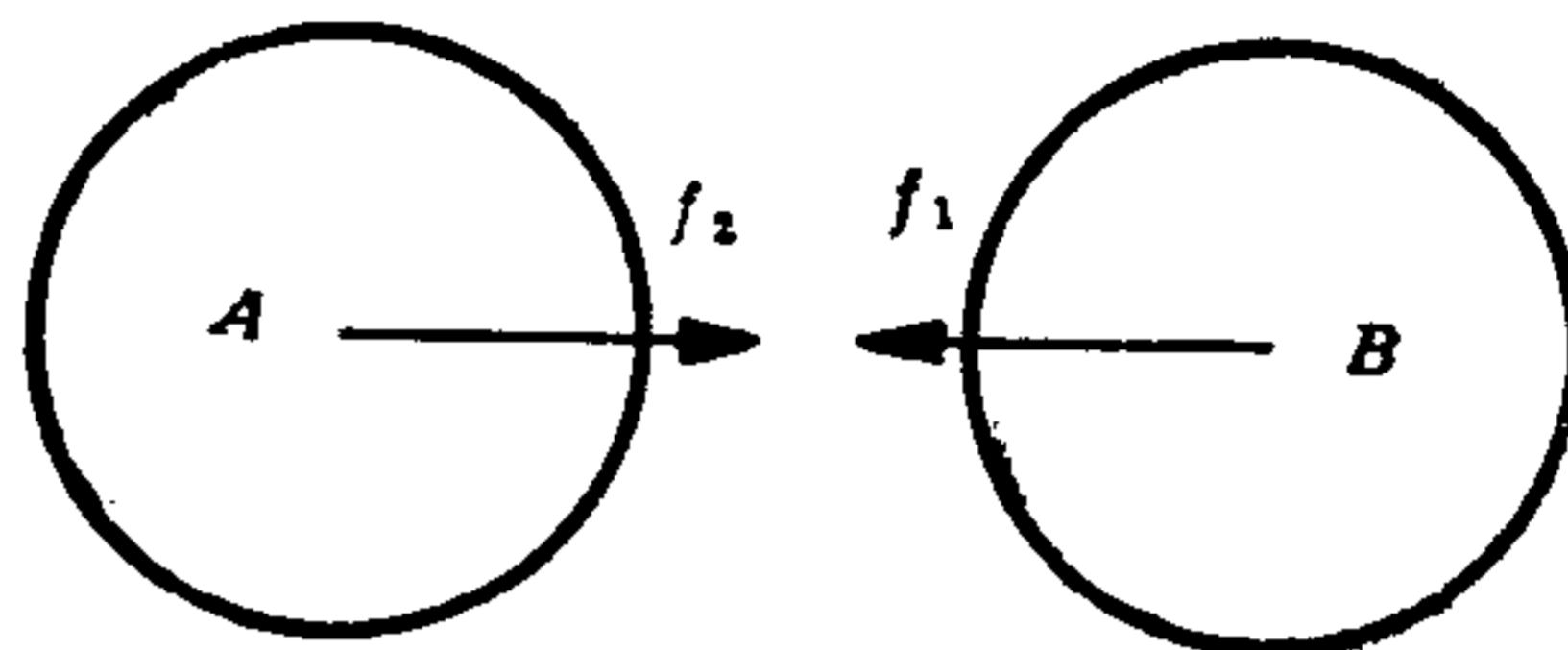


图1-3 作用力与反作用力

\vec{f}_1 和 \vec{f}_2 中一个称为作用力,则另一个称为反作用力。所以第三定律也可写作:

作用力与反作用力在同一直线上,大小相等而方向相反,分别作用在两个物体上。

用公式表示就是:

$$\vec{f}_1 = -\vec{f}_2 \quad (1-4)$$

第三定律所指的“作用力”和“反作用力”是作用在不同物体上的,所以尽管二者大小相等,方向相反,但这两个力不能互相抵消。以人推车为例,如图1-4a所示,人用力 \vec{f}_1 推车,同时车也以力 \vec{f}_2 作用在人的手上,这两个力大小相等而方向相反,但分别作用在车和人身上,所以二者不能互相抵消。作用力和反作用力是同时存在,又同时消失的,它们是互为存在的条件。但是为什么人能把车推动,车却不能把人推走呢?我们分析一个物体的运动速度是否

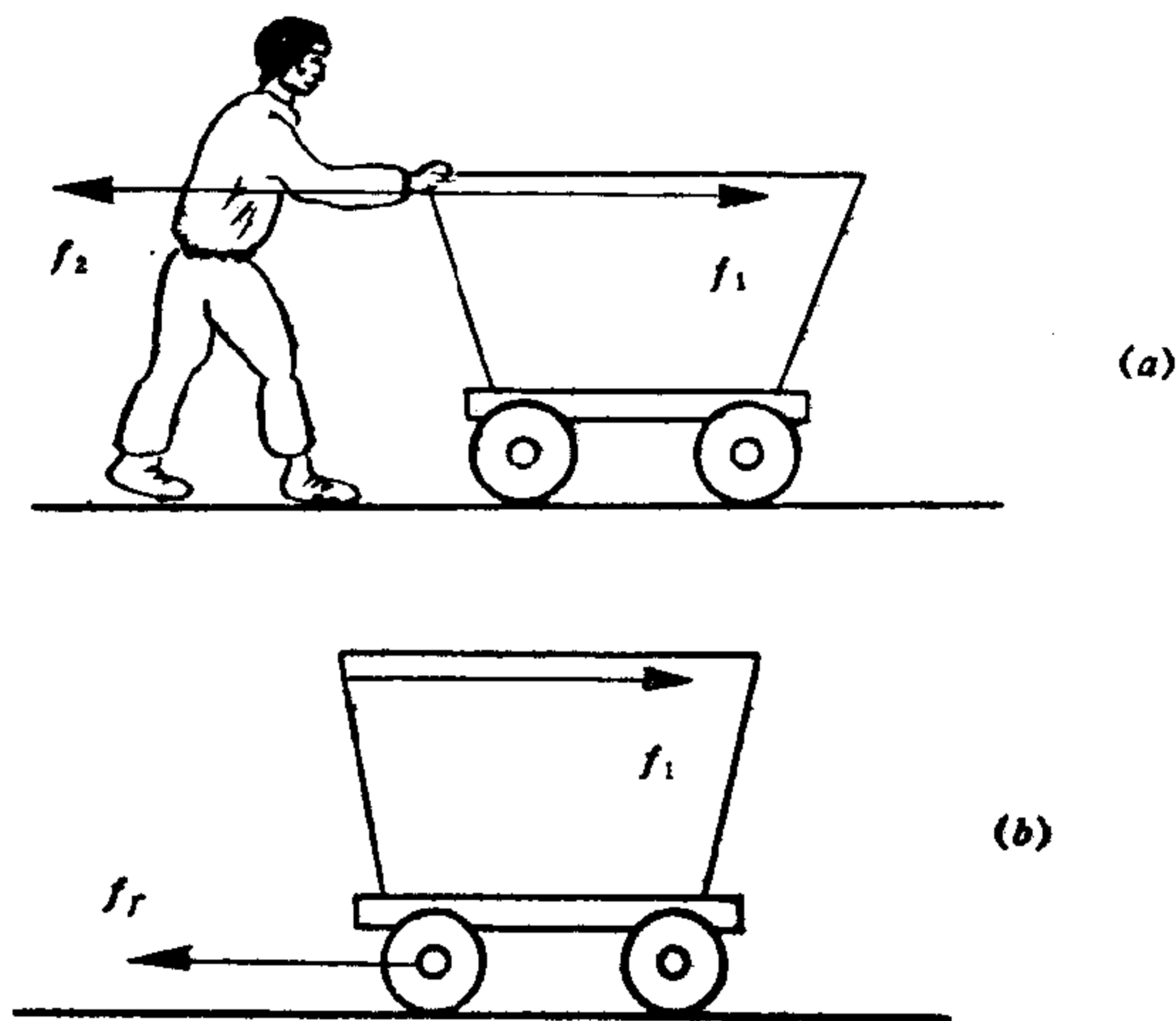


图1-4

改变,根据牛顿第二运动定律,要看这个物体所受合外力的大小。如图1-4b所示,此时车在水平方向受到两个力的作用,人推车的力 \vec{f}_1 和地面对车的摩擦力 \vec{f}_r ,如果 $\vec{f}_1 > \vec{f}_r$,车就会加速前进; $\vec{f}_1 = \vec{f}_r$ 时,车保持原来运动状态不变。对于人的运动状态的讨论,也同样要分析人在水平方向受到的地面摩擦力和车推人的力 \vec{f}_2 的关系,这里不再赘述。

作用力和反作用力还有一个特点,就是每一对作用力和反作用力总是属于同一性质的力,如果作用力是万有引力,反作用力也是万有引力;作用力是摩擦力,反作用力也是摩擦力。图1-4a中所讨论的一对作用力和反作用力 \vec{f}_1 和 \vec{f}_2 都是弹性力。

第三定律也是从大量事实总结出来的规律,它在生产上、技术上和日常生活中经常遇到,并且得到广泛的应用。例如我们走路、拖拉机向前开行,都是利用地面的反作用力来实现的;轮船和飞机的前进,是靠水和空气的反作用力推动的。

冲量和动量 从牛顿第二定律可以导出冲量和动量两个重要概念，以及二者的关系。

设有一个大小和方向都不改变的力 \vec{f} 作用在质量为 m 的物体上，在力 \vec{f} 作用的时间 Δt 内，物体的速度由 \vec{v}_0 改变为 \vec{v} ，则物体的加速度：

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t}$$

将此式代入牛顿第二定律中，可得：

$$\vec{f} = m\vec{a} = \frac{m\vec{v} - m\vec{v}_0}{\Delta t}$$

或：

$$\vec{f}\Delta t = m\vec{v} - m\vec{v}_0 \quad (1-5)$$

上式中左边一项是力和时间的乘积，叫做冲量。冲量是一个矢量，它的方向和力的方向相同。式的右边两项都是质量和速度的乘积，叫做动量。动量也是一个矢量，它的方向与速度的方向相同。 $m\vec{v}_0$ 是物体的初动量， $m\vec{v}$ 是物体的末动量，所以 $(m\vec{v} - m\vec{v}_0)$ 就是物体在 Δt 时间内动量的增量。式 (1-5) 的结果说明，物体所受外力的冲量等于物体动量的增量。这就是动量原理。

应用动量原理和牛顿第三定律来研究物体相互作用时动量变化的情况，可以导出物理学中最重要的定律之一——动量守恒定律。

为简便起见，我们讨论两个物体的相互作用（除相互作用外，不再受其他外力作用），并且假设这两个物体在相互作用前后都是沿着同一直线运动的。设两物体的质量分别为 m_1 和 m_2 ，相互作用前和相互作用后的速度分别为 \vec{v}_{10} 、 \vec{v}_{20} 和 \vec{v}_1 、 \vec{v}_2 ，在相互作用时间 Δt 内平均作用力各为 \vec{f}_1 和 \vec{f}_2 （图1-5）。对两个物体分别应用动量原理，得到：

$$\vec{f}_1\Delta t = m_1\vec{v}_1 - m_1\vec{v}_{10}$$

$$\vec{f}_2\Delta t = m_2\vec{v}_2 - m_2\vec{v}_{20}$$

根据牛顿第三定律，

$$\vec{f}_1 = -\vec{f}_2, \text{ 把上两式相加，得：}$$

$$m_1\vec{v}_1 - m_1\vec{v}_{10} + m_2\vec{v}_2 - m_2\vec{v}_{20} = 0$$

$$\text{即： } m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}_{10} + m_2\vec{v}_{20}$$

上式等号左边是相互作用后两物体的动量和，右边是相互作用前两物体的动量和，因此上述等式说明这两个物体在相互作用前后的总动量保持不变。

在一般情况下，物体所受冲量和物体的动量不在同一直线上，但是应用同样的办法可以证明上述结果仍是正确的，也就是说，可以得到一个普遍公式：

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = \text{恒量} \quad (1-6)$$

这个结果可以推广到由任何几个物体所组成的系统，这时要注意分别系统的内力和外力。我们把系统内各个物体间的相互作用力叫做内力，把系统以外其他物体与系统内任何

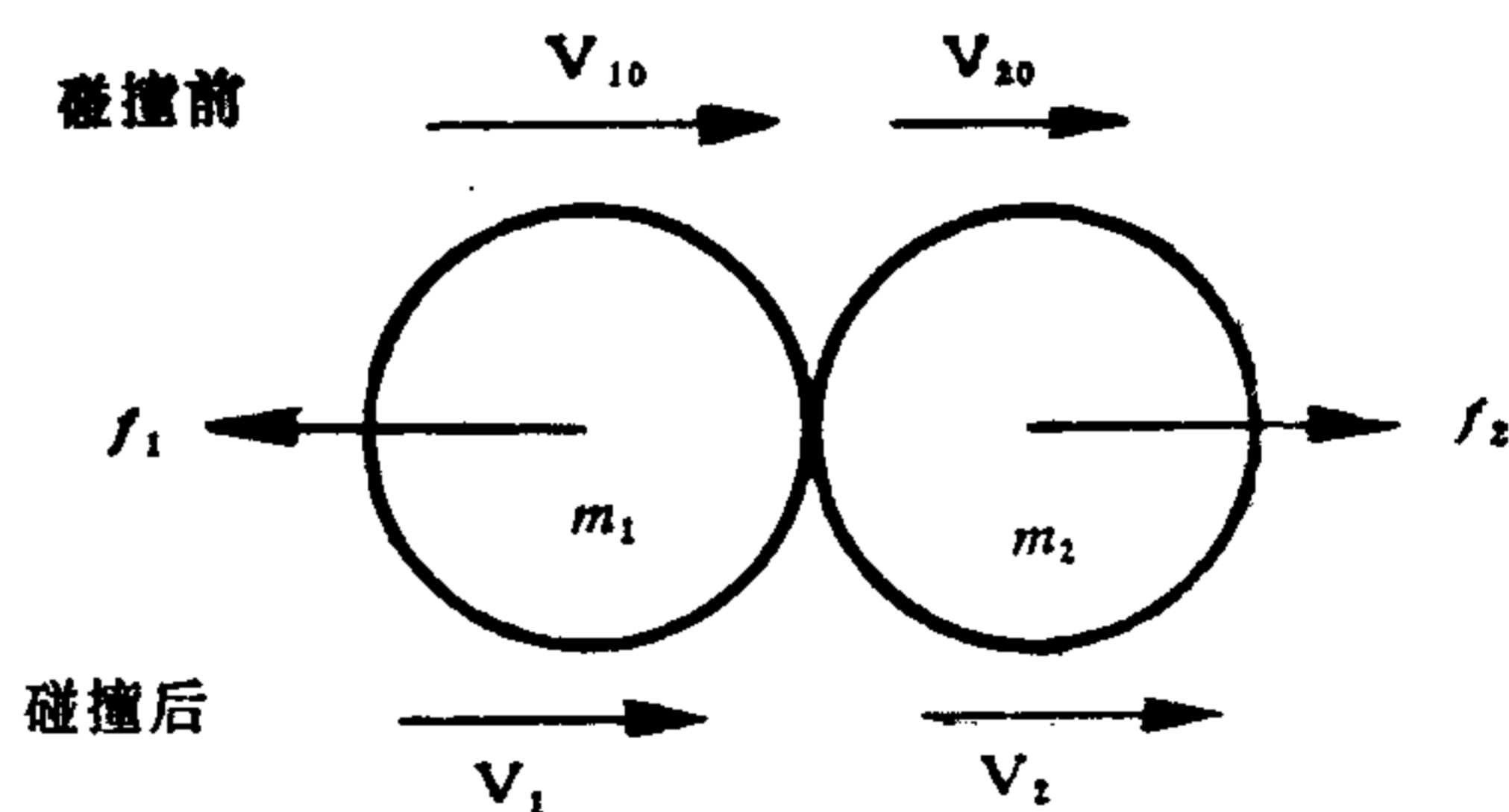


图 1-5 动量守恒定理

一个物体之间的作用力叫做外力。因此上述推广结果是：

如果系统内各物体所受合外力为零，那么系统的合动量保持不变。这就是动量守恒定律。

射击时，枪身的后座是动量守恒的一个例子；炸弹在空中爆炸时，各碎片向各方向飞开，在爆炸后瞬间，各碎片的总动量等于炸弹在爆炸前瞬间的动量。现代的喷气式飞机和火箭就是根据动量守恒定律制成的。

动量原理和动量守恒定律，不仅在工程技术上得到广泛应用，它还适用于分子、原子、电子等微粒的运动。在微观系统中，牛顿运动定律一般已不再适用，因此动量原理和动量守恒定律比运动定律具有更大的普遍性。

单位制 物理量可以分为基本量和导出量，一般来说，各个物理量之间常常存在着一定的联系，因此我们只要选定几个量，就可以通过定义或定律推导出其他各量，这样选定的几个量称为基本量，其他从基本量导出的量称为导出量。物理学中常用长度、质量和时间作为基本量，而首先定出它们的单位，于是其他所有导出量的单位也就容易确定了。

最常用的单位制有两种：厘米、克、秒制（C.G.S制）和米、公斤、秒制（M.K.S制）。

在C.G.S制中，规定长度用“厘米”，质量用“克”，时间用“秒”为单位，应用牛顿第二定律 $\vec{f} = m\vec{a}$ 来导出力的单位。

设 $m = 1$ 克 $a = 1$ 厘米/秒²，代入上式求得：

$$f = ma = 1 \left(\frac{\text{克} \cdot \text{厘米}}{\text{秒}^2} \right)$$

力的这个单位叫做达因。也就是说，1达因的力是这样大的力，当它作用在质量为1克的物体上时，可以使它得到1厘米/秒²的加速度。

在M.K.S制中，规定长度用“米”，质量用“公斤”，时间用“秒”为单位，导出力的单位叫做牛顿。1牛顿的力是这样大的力，它可以使质量为1公斤的物体获得1米/秒²的加速度。很容易求出“牛顿”和“达因”这两个单位的关系：

$$\begin{aligned} 1 \text{ 牛顿} &= 1 \text{ 公斤} \times 1 \text{ 米/秒}^2 \\ &= 1,000 \text{ 克} \times 100 \text{ 厘米/秒}^2 \\ &= 10^5 \text{ 达因} \end{aligned}$$

此外，工程上还经常采用“公斤（力）”作力的单位，它与上述力的单位之间的换算关系是：

$$\begin{aligned} 1 \text{ 公斤（力）} &= 9.8 \text{ 牛顿} \\ &= 9.8 \times 10^5 \text{ 达因} \end{aligned}$$

随着科学技术的发展，牛顿力学表现出了一定的局限性。当所研究物体的运动速度可以和光速相比时，牛顿力学显得无能为力。因此爱因斯坦修正了牛顿力学中关于空间、时间、质量等基本概念，创立了相对论力学，而使牛顿力学成为它的一个特殊情形。在处理原子内部基本质点的运动时，牛顿力学也

丧失了作用，于是在普朗克、波尔、海森堡、薛定谔、狄喇克等人长期的研究下，创立了量子力学。相对论力学和量子力学虽然指出了牛顿力学的局限性，但是，这并不意味着牛顿力学被推翻。因为牛顿力学是它以后一切物理学所赖以建立的基础，而且在处理速度较小的宏观物体的运动时——这类问题的范围是很广泛的——牛顿力学仍然是高度精确的。

§ 1-3 功和能 能量守恒和转换定律

我们知道，当物体在恒力 f 作用下运动时，如果物体的位移是 S ，力和位移间的夹角是 θ ，那么，力所作的功

$$A = f \cdot S \cos \theta \quad (1-7)$$

功是一个标量，但它有正负之分。因为 $\cos \theta$ 有正有负 ($\theta < \frac{\pi}{2}$ 时为正， $\theta > \frac{\pi}{2}$ 时为负)，

当 $\theta = \frac{\pi}{2}$ 时，亦即力和物体的位移互相垂直，这时力不作功。

如果 f 是变力或者力和位移的夹角在运动过程中有变化，那么我们将全部路程分成许多极小的位移，如图 1-6 所示的 ΔS_i ，使在每段位移中力的大小和方向都可看作不变。在这种情况下，力在第 i 段位移中的功是

$$\Delta A_i = f_i \cdot \Delta S_i \cos \theta_i$$

而力在全部路程中的功是

$$A = \sum f_i \cdot \Delta S_i \cos \theta_i \quad (1-8)$$

现在以拉长弹簧为例，来讨论变力作功的问题。根据虎克定律，在弹性限度内，弹簧由于形变而产生的弹性力与形变成正比，即：

$$f_{\text{弹}} = kx$$

式中 k 是弹簧的倔强系数， x 是弹簧伸长（或压缩）量，可见 $f_{\text{弹}}$ 是个变力。

拉长弹簧时，作用力在每一瞬间都与弹簧的弹性力相平衡。假定弹簧原来的长度为 l ，现拉长到 $(l+x)$ ，这时外力做功

$$A = f(l+x-l) = fx$$

为了计算方便，我们用 f 的平均值来计算做功。最初弹簧长度为 l 时， $f=0$ ；当弹簧长度拉长到 $(l+x)$ 时， $f=kx$ ，那么它的平均值

$$f = \frac{kx+0}{2} = \frac{kx}{2}$$

代入计算做功的式子得：

$$A = fx = \frac{kx}{2} \cdot x = \frac{1}{2} kx^2 \quad (1-9)$$

这就是外力反抗弹性力所作的功。（这和外力反抗重力做功使物体的重力势能增加有类似的意义，因此定义

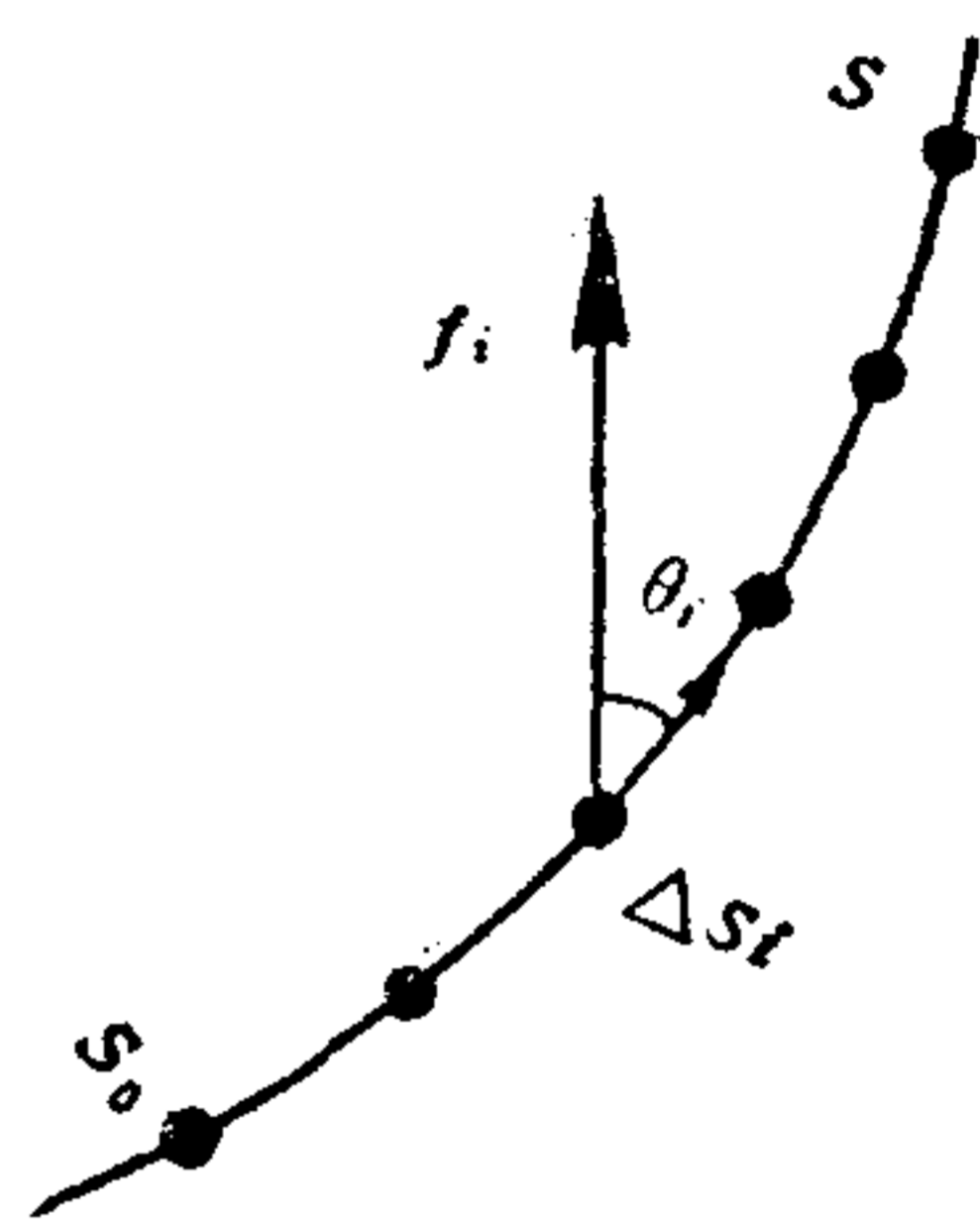


图 1-6 变力的功

$$W = \frac{1}{2}kx^2 \quad (1-9a)$$

为弹簧的弹性势能)

物体具有的做功本领就是能。物体由于机械运动而具有的做功本领叫做动能；由于在地球上位置的变化或弹性体发生形变而具有的做功本领叫做势能。机械能是指动能和势能（包括重力势能和弹性势能）的总和。

对于任何物体或由两个以上物体构成的系统，如果只有万有引力和弹性力对它们做功，其他内力和一切外力都不做功，那么系统内各物体的动能和各种势能可以互相转换，但它们的和保持不变，这就是机械能守恒定律。

如果物体在受万有引力和弹性力做功的同时，还受到其他外力对它做功，那么物体的机械能就要发生改变，但是实验表明：在任何运动过程中，除万有引力和弹性力外，其他外力对物体（或系统）所作的功的总和总是等于物体（或系统）的机械能的增量。用数学式表示如下：

$$\sum A = W - W_0 \quad (1-10)$$

这个结论叫做功能定理。

如果系统内部除万有引力和弹性力外，还有摩擦力或其他内力做功，那么，系统的机械能也会发生变化。但是实践证明，在系统的机械能减少或增加的同时，必然有等价的其他形式的能量增加或减少，而系统的机械能和其他形式的能量的总和仍然是一个恒量。这就是说，能量不能消失，也不能创造，它只能从一种形式转换为另一种形式，这一结论称为能量守恒和转换定律。

自然界里有各种形式的能量，例如机械能、热能、电能、磁能、光能、原子能、化学能等等，这些能量都可以相互转换。摩擦生热，是机械能转变为热能的例子，内燃机内混合气燃烧产生的高温、高压，气体推动活塞做功是热能转变为机械能的例子。此外，我们还看到：高速水流的动能通过水轮发电机转变为电能；电流通过电炉丝时发热，电能转变为热能；电灯发光，电能转变为光能；太阳光的能量在照射地面时，一部分转变为土壤的热能，一部分被植物的叶子吸收，通过光合作用，生成有机化合物，变为植物的化学能等等。大量的实验事实和生产实践都证明：一切形式的能量在相互转换时都是守恒的。革命导师恩格斯曾深刻地阐明过这一定律，他写道：“物体的机械运动可以转化为热，转化为电，转化为磁；热和电都可以转化为化学分解；化学化合又可以反过来产生热和电，而由电作媒介再产生磁；最后，热和电又可以产生物体的机械运动。而且这种转化是这样进行的：一种形式的一定量的运动，总是有另一形式的确定不移的一定量的运动与之相当，……”^①

能量守恒定律能使我们更深刻地理解功的意义。按照能量守恒定律，一个物体或系统

^① 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971年8月版，第61页。

的能量变化时，必然有另一个物体或系统的能量同时发生变化。所以当我们用作功的方法使一个系统的能量变化时，在本质上是这个系统和另一个系统之间发生了能量的交换。而这个能量的交换在数量上就用功来描述。所以功是能量交换或变化的一种量度。可见功和能不是等同的。能量代表着系统在一定状态所具有的特性。它的数值只决定于系统的状态。而功总是和能量变化和交换的过程联系着。

有人曾试图设计这样一种机器，这机器循环变化的结果能继续不断地对外界做功，而无需任何燃料或其他外界的能量。这就是所谓的永动机。这是违背能量守恒定律的，是根本不可能实现的。

§ 1—4 圆周运动

圆周运动是很普遍的一种运动，也是曲线运动中最简单的一种。转动物体上的各点都在绕中心轴作圆周运动，因此，了解圆周运动的规律，是十分重要的。

如果一个质点沿圆周运动，在任意一段相等时间内通过相等的圆弧长度，这种运动就叫做匀速圆周运动。显然在这种运动中，质点在圆周上任何一点的速度大小是不变的，但方向则随时改变。我们现在来分析它的加速度。

设有一质点作匀速圆周运动，在 Δt 时间内从 P 点运动到 Q 点，它在 P 点和 Q 点时的速度分别为 \vec{v} 和 \vec{v}' (图1—7)。

按照加速度的定义，

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{v}' - \vec{v}}{\Delta t}$$

可以证明，这个加速度的大小

$$a_n = \frac{v^2}{R} \quad (1-11)$$

它的方向是沿着半径指向圆心的。因而这个加速度叫做向心加速度，用符号 a_n 表示。

可见，匀速圆周运动中的加速度就是一般曲线运动中的法向加速度，它永远和速度的方向垂直，它的作用只是改变速度的方向，不改变速度的大小。

如果质点沿圆周运动时不是匀速的，也就是说，质点在任意相等的一段时间里通过的弧长不相等，那么质点除有向心加速度外，还同时具有切向加速度，它是反映速度大小变化的快慢的，用 a_t 表示。

综上所述，质点作圆周运动时，加速度可以分成两个分加速度：向心加速度 a_n 和切向加速度 a_t 。

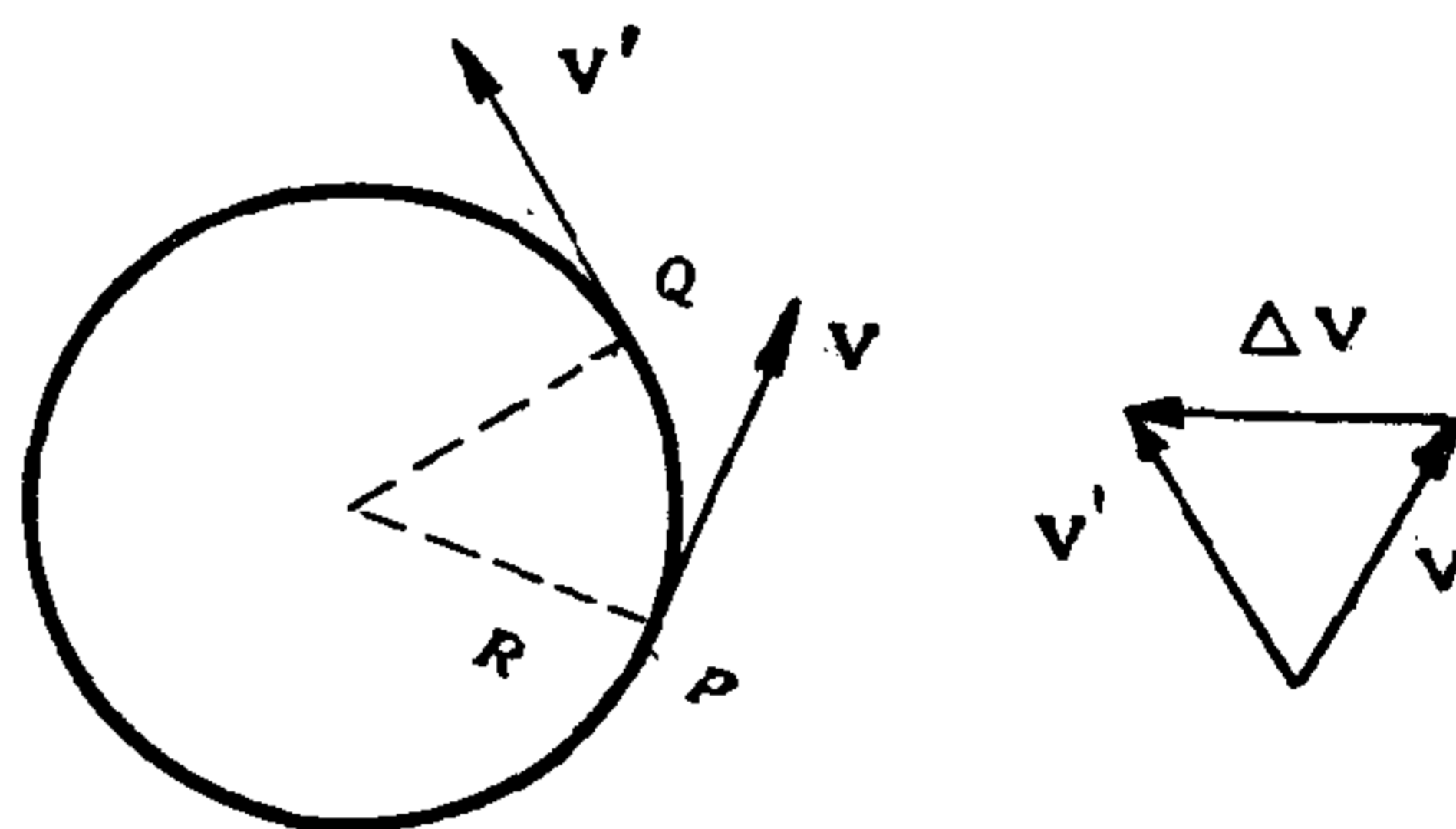


图 1—7 匀速圆周运动

$$a_n = \frac{v^2}{R}, \quad a_t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (1-12)$$

向心加速度的方向沿半径指向圆心，它只改变速度的方向；切向加速度沿切线方向，它只改变速度的大小。

质点作圆周运动还可以用它和转动中心的连线（叫转动半径）在单位时间内所转过的圆心角来描述。如图 1-8 所示，质点在 Δt 时间内从 P 点运动到 Q 点，走过的弧长为 ΔS ，转过的圆心角为 $\Delta\theta$ ， $\Delta\theta$ 也叫角位移。在

匀速圆周运动的情况下， $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ 是一恒量，表示每单位时

间内所发生的角位移，叫做角速度，用 ω 表示，

即：
$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (1-13)$$

角速度的单位用弧度/秒，根据弧度的定义，

$$\Delta\theta = \frac{\Delta S}{R}$$

代入上式，得：

$$\omega = \frac{1}{R} \frac{\Delta S}{\Delta t},$$

因为

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t},$$

所以

$$\omega = \frac{v}{R}$$

或：

$$v = R\omega \quad (1-14)$$

为了和角速度相区别，我们把 v 称为质点作圆周运动的线速度。上式就是线速度和角速度的关系式。如果以角速度来表示匀速圆周运动的向心加速度，则得：

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{R^2\omega^2}{R} = R\omega^2 \quad (1-15)$$

质点作匀速圆周运动时的加速度，是大小为 $\frac{v^2}{R}$ 、方向时刻沿着半径指向圆心的向心加速度。根据牛顿定律，必须有力作用在质点上，使它产生这个向心加速度。按照牛顿第二定律，这个力的大小

$$f_n = ma_n = \frac{mv^2}{R} = mR\omega^2 \quad (1-16)$$

方向沿着半径指向圆心，因此把它叫做向心力。

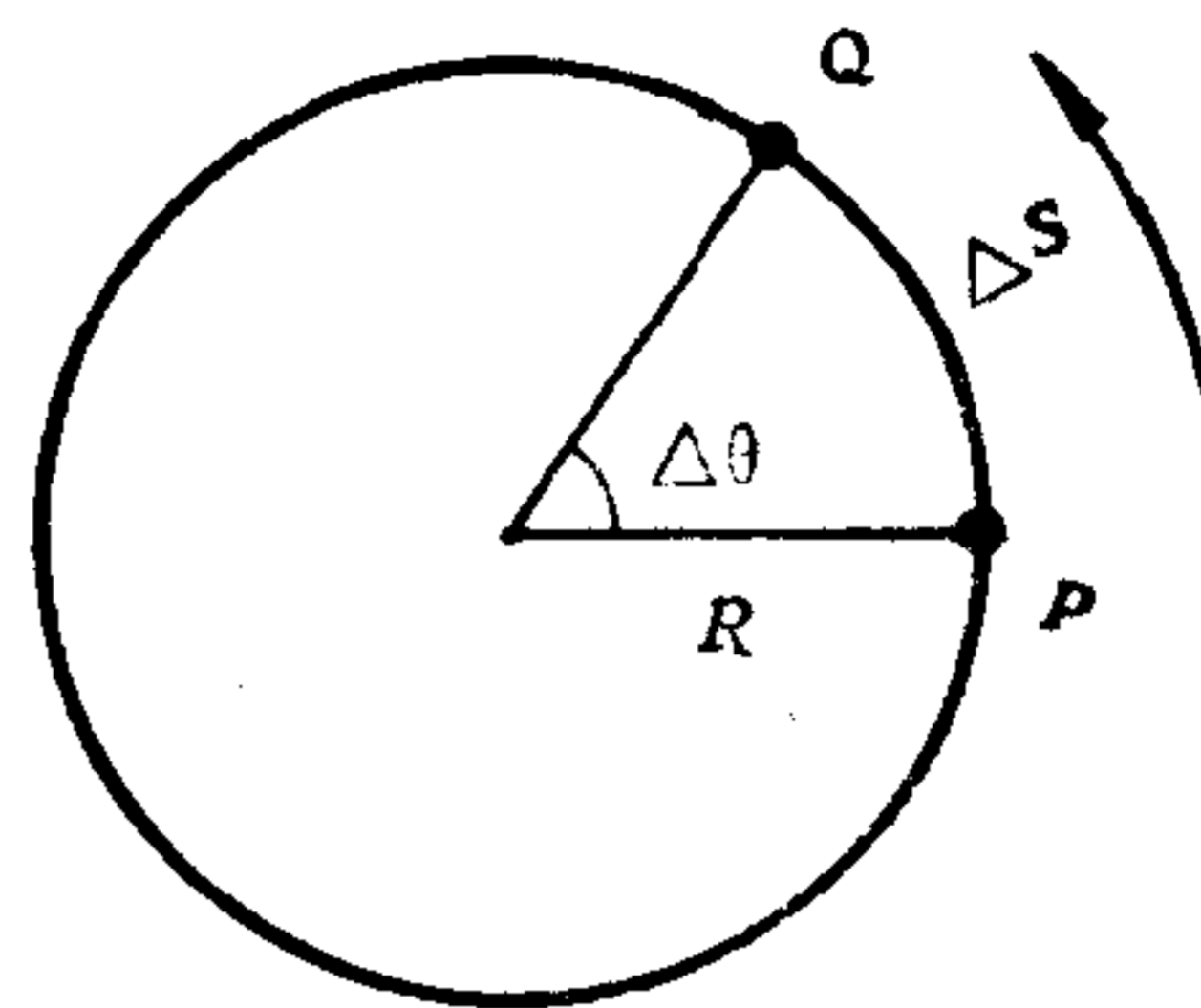


图 1-8 角位移

我们观察如图 1—9 所示的实验,绳的一端系有石头,另一端系在光滑水平桌面上的钉上,石头在桌面上作匀速圆周运动。这时的向心力就是绳子对石头的拉力 f_n ,这个力作用在石头上,不断改变石头速度的方向,所以石头作圆周运动。向心力的大小

$$f_n = m \frac{v^2}{R}$$

方向总指向位于圆心的钉子。如果绳子被突然割断,就没有拉力作用在石头上。这时石头就沿着圆周上绳被割断处的切线方向作匀速直线运动。习惯上叫做离心运动。

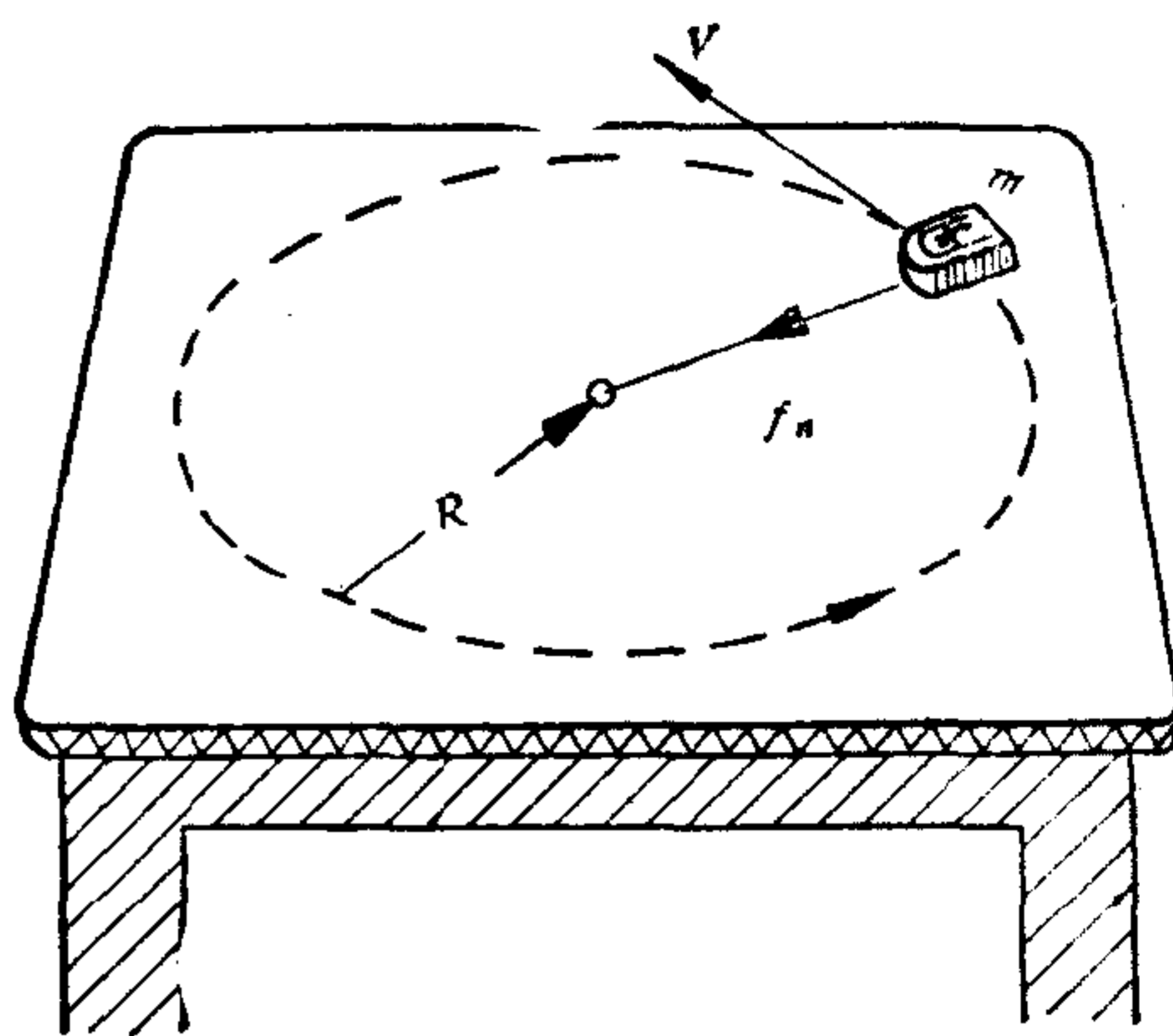


图 1—9 匀速圆周运动的向心力

根据牛顿第三运动定律,向心力也必然有一个和它大小相等、方向相反、作用在一条直线上的反作用力存在,这个力叫做离心力。在上例中,离心力是石头对绳子的拉力。如果绳子的质量忽略不计,这个力就全部经绳子传递给钉子上。

从式 (1—16) 可以看出,作圆周运动的质点的质量越大、线速度越大、圆周运动的半径越小,需要的向心力就越大。这在实际应用中是很重要的。

下面举几个有关向心力的例子。

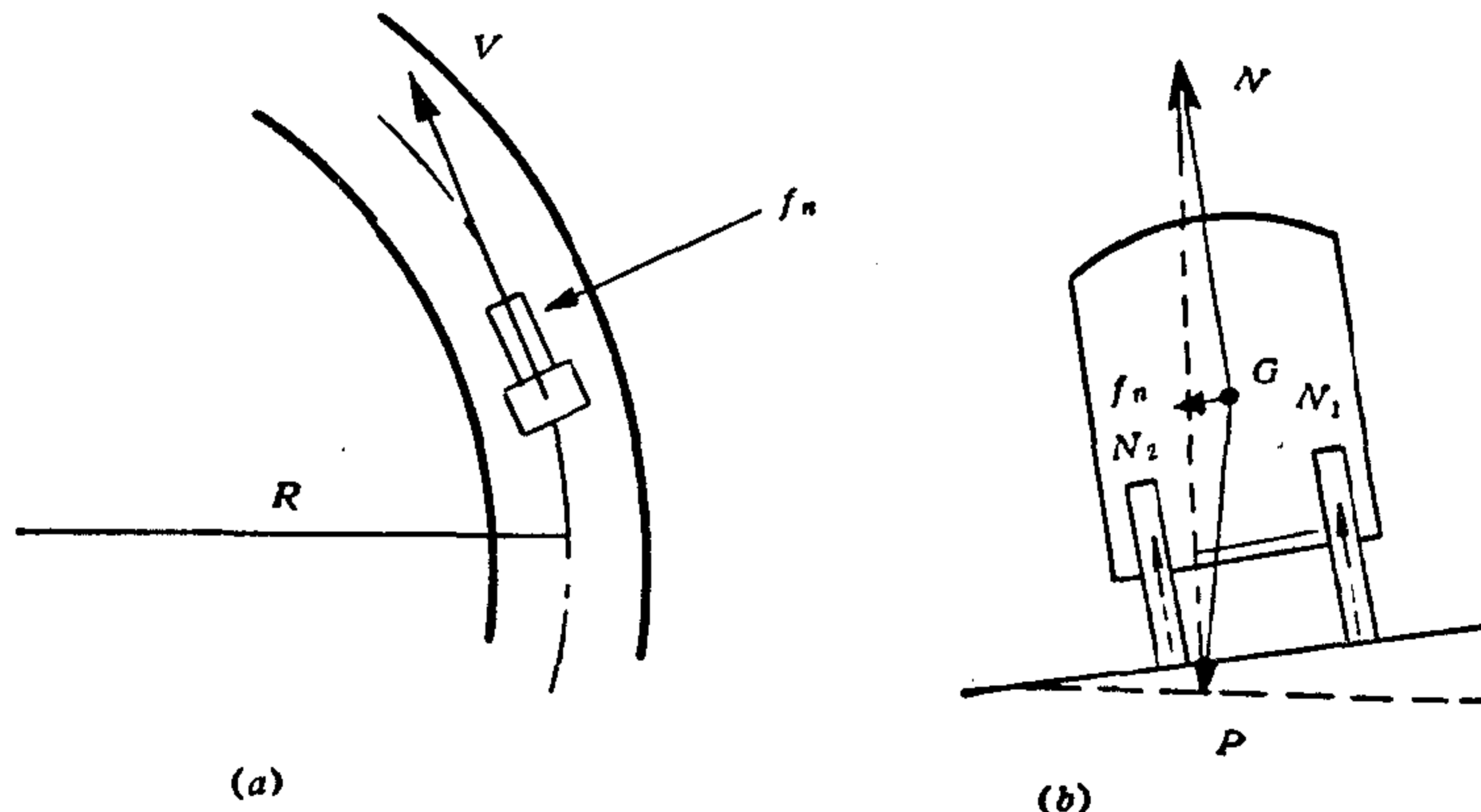


图 1—10 拖拉机转弯示意图

(1) 在图 1—10a 中,拖拉机在水平面上转弯可以当圆周运动来处理。它转弯时所需要的向心力是靠路面对导向轮的侧向摩擦力来供给的。如果这个摩擦力满足不了拖拉机转弯时所需要的向心力,那么,拖拉机就要外滑,甚至翻车造成事故。因此,在转弯时,必须根据路面情况、转弯半径和车重来选择适当的车速。如果路面光滑,转弯半径小(也就是转弯较急),车身重,就一定要减低车速。在公路上急转弯处,通常路面修成外高内低,用车身重力和地面支持力的合力 f_n 来提供向心力如图 1—10b。这和人骑自行车转弯时车身内

倾是一样的道理。(2)离心机在化学和生物研究中起着很重要的作用,它可以加速液体中悬浮微粒的沉淀。在分子生物学中,超速离心法是纯化生物大分子及亚细胞部分的最有效的手段之一,因此超速离心机近年来发展很快,目前转速已可达到 100,000 转/分甚至更高。

离心机的原理如图 1—11 所示。以快速旋转的转轴为中心,对称分布着两个或几个和转轴一起旋转的试管,试管内盛要分离的液体。转轴可用手摇或电动方法使其转动。当达到一定的转速时,试管由垂直位置转至接近水平位置(有的离心机因需要可限定角度),这时管内液体也在作圆周运动,液体中不同密度的物质由于离心运动,而在试管内分层分布。密度大的惯性大,离开中心远,靠近试管底层;密度小的分布在试管上部,这样就达到了分离的目的。

现代生物科学研究中所用的超速离心机,由于不同的用途,带有不同的转盘,同时还附有冷冻、抽真空、照相等设备,使用更为方便。

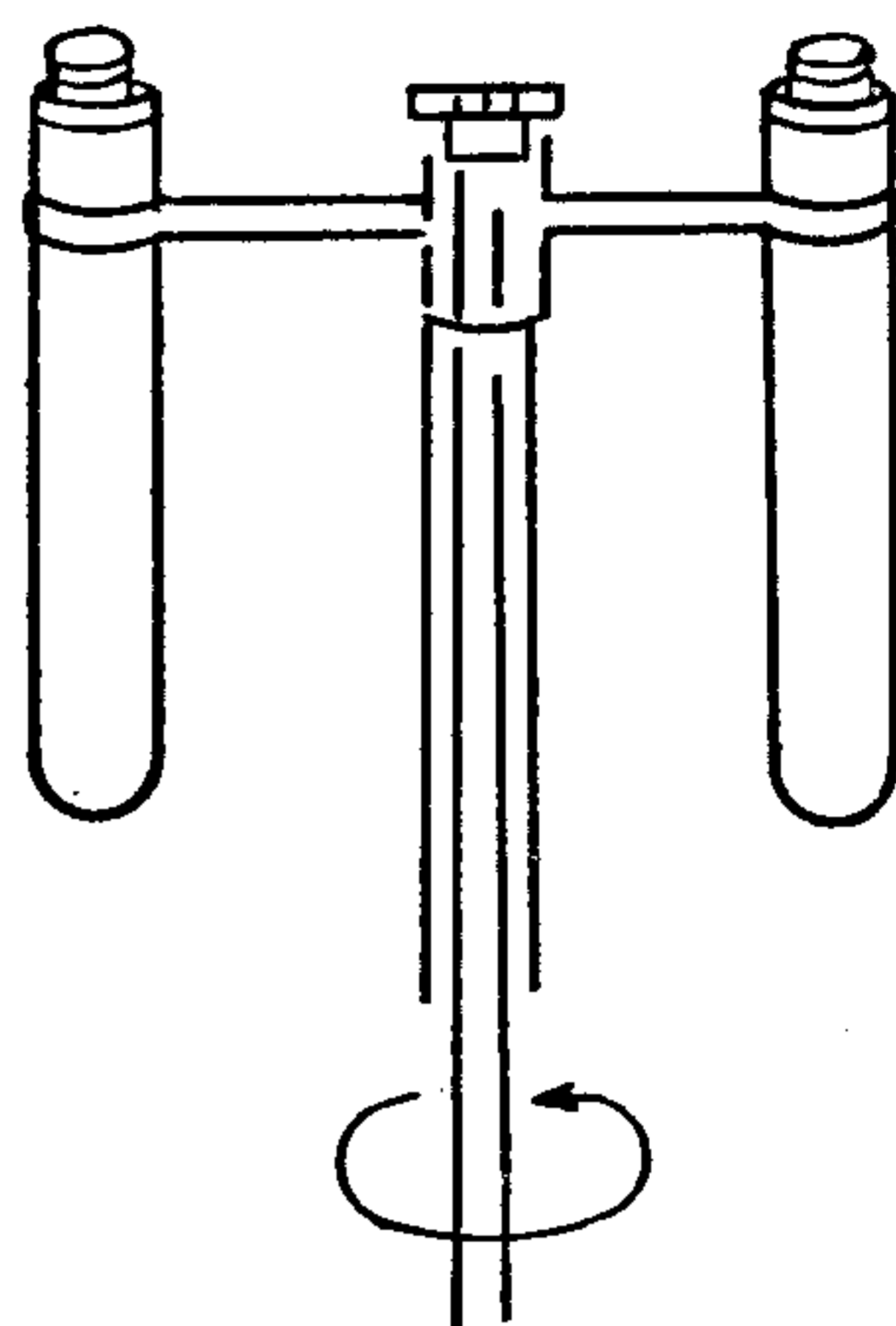


图 1—11 离心机原理示意图

§ 1—5 谐 振 动

振动是一种很普遍的机械运动。物体在一定位置附近作往复运动称为振动。例如摆的运动、气缸中活塞的运动、一切声源的运动、固体中分子的热运动等等,都是振动。振动又是波形成的根本原因,因此掌握振动的基本规律是学习声学、电学、光学、无线电等的基础。

谐振动是最简单、最基本的振动,任何复杂的振动都可以看作是由几个或许多个频率和振幅都不相同的谐振动的迭加。因此,我们着重讨论谐振动的的基本规律。

作匀速圆周运动的质点在直径上的投影点的运动就是谐振动。它的特点是加速度和位移成正比,但方向与位移相反,总是指向平衡位置。下面加以证明。

图 1—12 中 M 点以角速度 ω 作匀速圆周运动,轨道半径为 A , M 点在水平直径上的投影是 P 。

根据匀速圆周运动的加速度公式 (1—15), 可得到 M 作匀速圆周运动时的向心加速度

$$a_n = A\omega^2$$

而 M 的投影点 P 的加速度是 a_n 的水平分量, 即:

$$a = a_n \cos \varphi = A\omega^2 \cos \varphi$$

式中:

$\varphi = \omega t$, 是 M 从 M_0 出发经 t 秒后转过的角度(角位移)。这时投影点 P 对 O 点的位移

$$x = OP = A \cos \varphi$$

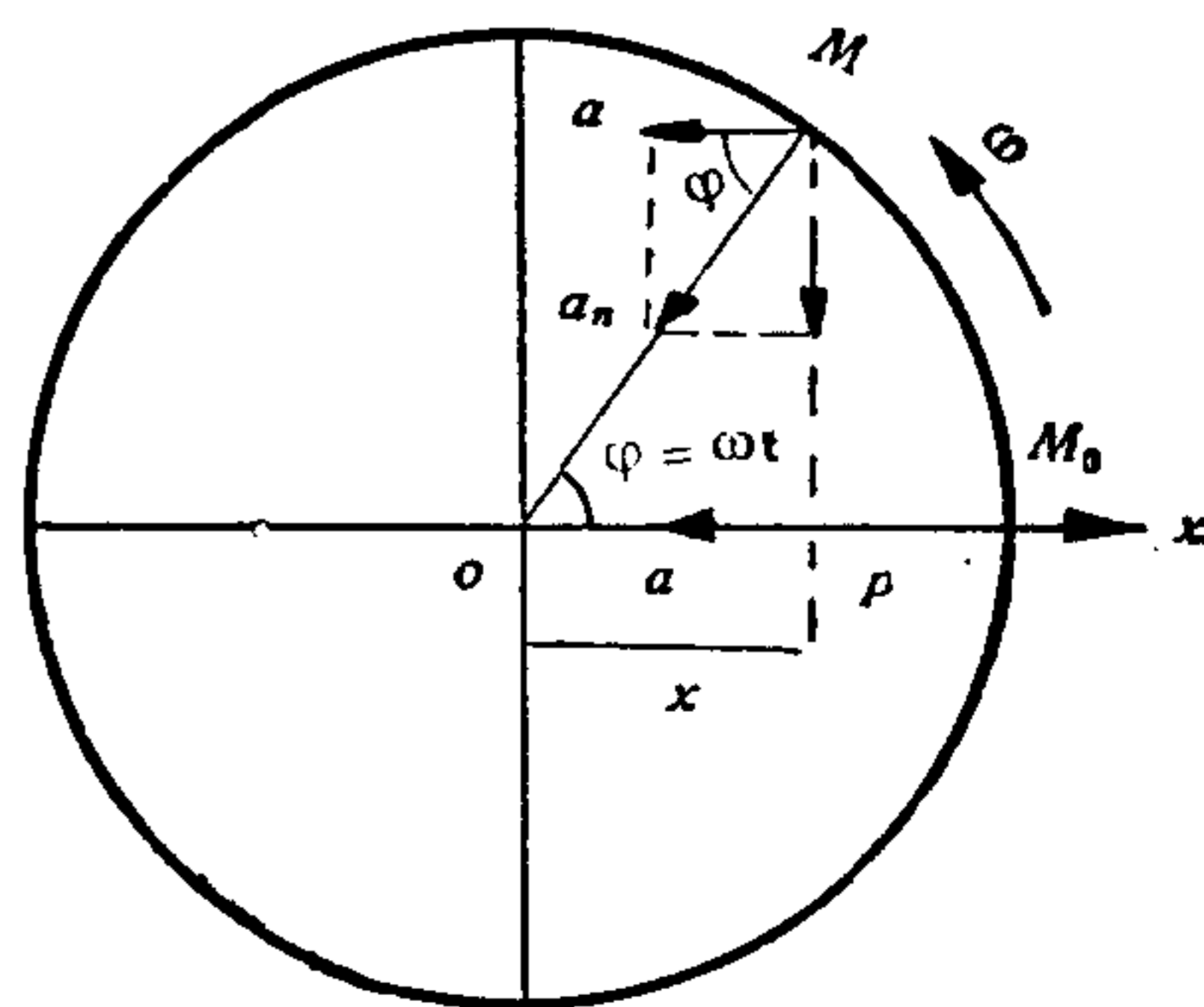


图 1—12 匀速圆周运动与谐振动