

借

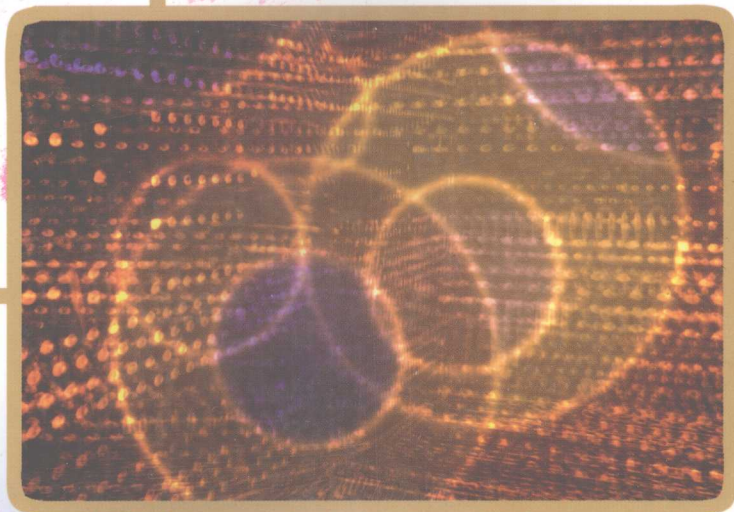
21

世纪高等医学院校教材

医用物理学

第二版

武宏 王晓聆 吴明海 主编



科学出版社
www.sciencep.com

0 5 1

21世纪高等医学院校教材

内 容 简 介

医用物理学

第二版

武 宏 王晓聆 吴明海 主编

出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书依据卫生部医用物理学教学大纲,参考国内外相关教材,并结合作者多年教学经验编写而成。内容以高中物理学为起点,重点讲述和医学关系密切的物理学知识,并适当介绍当前物理学在医学应用中的新进展。以第一版为基础,在内容的广度、深度上有一定的提升。适合医学院校各专业本专科教学使用。

图书在版编目(CIP)数据

医用物理学/武宏,王晓聆,吴明海主编. —2版. —北京:科学出版社, 2004.2

(21世纪高等医学院校教材)

ISBN 7-03-012548-7

I. 医… II. ①武…②王…③吴… III. 医用物理学-医学院校-教材
IV. R312

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第118059号

责任编辑:吴茵杰 / 责任校对:鲁素

责任印制:刘士平 / 封面设计:卢秋红

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2000年8月第一版 开本:850×1168 1/16

2004年2月第二版 印张:16 1/4

2004年2月第二次印刷 字数:335 000

印数:4001—8 000

定价:26.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

《医用物理学》编委会

主 编 武 宏 王晓聆 吴明海

编 者 (以姓氏笔画为序)

王晓聆 王振华 刘风芹

邱秀光 吴明海 张菊英

武 宏 盖志刚 管靖华

前 言

本教材依据卫生部医用物理学教学大纲,参考国内外有关教材,以第一版为基础,并结合我们的教学经验编写而成。在内容的广度、深度上有一定提升。其特点是针对我国目前医学教育现状及培养医学专业学生的自然科学思维能力,围绕当前提高学生素质教育的目标,精选内容、突出学生能力的培养。由于教学时数的限制和学生打好三基(基础理论、基本知识和基本技能)的特定要求,其内容以高中物理学为起点,重点讲述和医学关系密切的物理学内容,并适当地介绍当前物理学在医学应用中的新进展。

由于水平有限,不妥之处在所难免,恳请批评指正。

编 者

2003年9月

目 录

绪 论

- 一、物理学研究的对象 (1)
- 二、物理学与医学的关系 (1)
- 三、物理学的学习方法 (2)

第一章 力学基本规律

- 第一节 牛顿运动定律 (3)
 - 一、牛顿运动定律 (3)
 - 二、单位和量纲 (4)
- 第二节 功和能、能量守恒定律 (5)
 - 一、功 (5)
 - 二、动能、势能 (6)
 - 三、功能原理 机械能守恒定律 (8)
- 第三节 动量守恒定律 (9)
 - 一、动量、冲量、动量定理 (9)
 - 二、动量守恒定律 (10)
- 第四节 刚体的转动 (11)
 - 一、刚体的平动和转动 (11)
 - 二、刚体的转动动能 转动惯量 (14)
 - 三、力矩 转动定律和角动量守恒定律 (16)
 - 四 刚体的平衡 (20)
- 第五节 应力和应变 (24)
 - 一、应力 (24)
 - 二、应变 (25)
- 第六节 弹性模量 (26)
 - 一、弹性和塑性 (26)
 - 二、弹性模量 (27)
 - 三、骨的力学性质 (29)

第二章 液体的流动

- 第一节 理想流体 稳定流动 (33)
 - 一、理想流体 (33)

二、稳定流动	(33)	二、泊肃叶定律	(42)
三、连续性方程	(34)	三、雷诺数	(44)
第二节 伯努利方程及其应用	(35)	四、斯托克斯定律	(45)
一、伯努利方程	(35)	第四节 血液的流动	(46)
二、伯努利方程的应用	(37)	一、血液的流速	(46)
第三节 实际流体的流动	(39)	二、血压	(47)
一、牛顿黏性定律 黏度	(39)	三、心脏做功	(47)

第三章 液体的表面现象

第一节 液体的表面张力及表面能	(50)	二、毛细现象	(55)
一、液体的表面张力	(50)	三、气体栓塞	(56)
二、表面能	(52)	第四节 表面活性物质与表面吸附	(57)
第二节 弯曲液面的附加压强	(53)	一、表面活性物质	(57)
第三节 毛细现象和气体栓塞	(54)	二、表面吸附	(57)
一、接触角	(54)		

第四章 振动、波动和声

第一节 简谐振动	(59)	振动的合成	(68)
一、简谐振动方程	(59)	第三节 波动	(69)
二、简谐振动的特征量	(60)	一、机械波	(69)
三、简谐振动的矢量图示法	(62)	二、波动方程	(71)
四、简谐振动的能量	(63)	第四节 波的能量与强度	(73)
第二节 简谐振动的合成	(64)	一、波的能量	(73)
一、两个同方向、同频率简谐振动的合成	(64)	二、波的强度	(74)
二、同方向、不同频率简谐振动的合成	(66)	三、波的衰减	(74)
三、振动谱	(66)	第五节 波的干涉	(75)
四、两个同频率、互相垂直的谐		一、惠更斯原理	(75)
		二、波的叠加原理	(75)
		三、波的干涉	(76)
		第六节 声波	(77)

一、声波的性质	(78)	三、多普勒效应	(82)
二、听觉区域和声强级	(80)	四、超声波及医学应用	(84)

第五章 静 电 场

第一节 电场强度	(89)	三、电场强度与电势的关系	(101)
一、电场与电场强度	(89)	第四节 静电场中的电介质	(102)
二、场强的计算	(90)	一、电介质的极化	(102)
第二节 高斯定理	(92)	二、极化强度	(104)
一、电通量	(92)	三、介电常数	(105)
二、高斯定理	(94)	第五节 人体内的电现象	(106)
三、高斯定理的应用	(95)	一、人体内的电	(106)
第三节 电势	(97)	二、能斯特方程	(107)
一、静电场力做功	(97)	三、静息电势	(108)
二、电势	(98)		

第六章 直 流 电

第一节 电流 欧姆定律	(112)	一、一段含源电路的欧姆定律	(116)
一、电流密度	(112)	二、基尔霍夫定律	(117)
二、欧姆定律的微分形式	(113)	第三节 电容器的充放电过程	(120)
三、金属与电解质的导电性	(114)	一、充电过程	(120)
第二节 基尔霍夫定律	(116)	二、放电过程	(122)

第七章 电 磁 现 象

第一节 磁场 磁感应强度	(125)	第三节 磁场对电流的作用	(132)
一、磁场	(125)	一、磁场对运动电荷的作用	(132)
二、磁感应强度	(126)	二、磁场对载流导线的作用力	(136)
第二节 电流的磁场	(127)	三、磁场对载流线圈的作用	磁
一、毕奥-沙伐尔定律	(127)		
二、安培环路定律	(129)		

矩	(136)	四、磁致伸缩效应	(140)
第四节 磁介质	(138)	第五节 磁场的医学应用	(141)
一、顺磁质与抗磁质	(138)	一、磁场的生物效应	(141)
二、磁导率 磁场强度	(139)	二、生物磁场现象	(142)
三、铁磁质	(140)	三、磁场疗法(磁疗)	(143)

第八章 几何光学

第一节 球面折射	(145)	调节	(156)
一、单球面折射	(145)	二、人眼的分辨本领和视力	(158)
二、共轴球面系统	(148)	三、散光眼的矫正	(159)
第二节 透镜	(149)	第四节 放大镜 检眼镜 纤镜	(160)
一、薄透镜	(149)	一、放大镜	(160)
二、薄透镜公式	(149)	二、检眼镜	(161)
三、薄透镜的组合	(151)	三、纤镜	(162)
四、厚透镜	(152)	第五节 显微镜	(163)
五、圆柱透镜	(154)	一、显微镜的光学原理	(163)
六、透镜的像差	(155)	二、显微镜的分辨本领	(164)
第三节 眼睛的屈光系统	(156)		
一、人眼的光学结构 眼睛的			

第九章 光的波粒二象性

第一节 光的干涉	(167)	三、衍射光栅	(179)
一、光的相干性	(167)	第三节 光的偏振与旋光性	(181)
二、杨氏双缝干涉	(167)	一、自然光和偏振光	(181)
三、洛埃镜	(169)	二、起偏器和检偏器	(181)
四、光程	(170)	三、双折射	(184)
五、薄膜干涉	(171)	四、旋光性	(185)
六、等厚干涉	(173)	第四节 光的粒子性及波粒二象性	(186)
第二节 光的衍射	(176)	一、光电效应与爱因斯坦的光子理论	(186)
一、单缝衍射	(176)		
二、圆孔衍射	(178)		

二、康普顿效应····· (188)	二、光学谐振腔····· (193)
三、光的粒子性及波粒二象性 ····· (190)	三、激光特性····· (194)
第五节 激光····· (191)	四、激光的生物效应····· (195)
一、激光的产生····· (191)	五、激光在医学中的应用····· (198)

第十章 X 射 线

第一节 X 射线的基本性质····· (200)	第四节 X 射线谱····· (203)
第二节 X 射线的产生····· (201)	一、连续 X 射线谱····· (204)
一、X 射线的发生装置····· (201)	二、标识 X 射线谱····· (205)
二、X 射线的产生····· (202)	第五节 物质对 X 射线的吸收····· (206)
第三节 X 射线的强度和硬度····· (202)	第六节 X 射线的医学应用····· (207)
一、X 射线的强度····· (202)	一、治疗····· (207)
二、X 射线的硬度····· (203)	二、诊断····· (208)

第十一章 原子核和放射性

第一节 原子核的结构与基本性质 ····· (212)	二、 β 衰变····· (222)
一、原子核的组成····· (212)	三、 α 衰变····· (225)
二、原子核的大小与密度····· (213)	第四节 放射平衡和放射性核素来源 ····· (226)
三、原子核的性质····· (213)	一、放射平衡····· (226)
四、质量亏损和结合能····· (214)	二、放射性核素来源····· (227)
五、原子核的稳定性····· (215)	第五节 射线与物质的相互作用····· (228)
第二节 原子核的放射性衰变····· (217)	一、 γ 射线与物质的相互作用 ····· (228)
一、核的衰变规律····· (217)	二、带电粒子与物质的相互作用 ····· (231)
二、半衰期和平均寿命····· (218)	三、不同物质对各种射线的吸收 ····· (234)
三、有效半衰期····· (219)	第六节 辐射剂量与辐射防护····· (235)
四、统计涨落现象····· (219)	
五、放射性活度····· (220)	
第三节 核衰变的类型····· (221)	
一、 γ 衰变和内转换····· (222)	

(235)	一、照射量	(235)	第七节 射线探测器及其医学应用
(236)	二、吸收剂量	(236)	一、放射性射线的探测仪
(237)	三、剂量当量	(237)	二、放射性核素在医学上的应用
(238)	四、本底辐射与射线对人体的效应	(238)	
(239)	五、辐射防护	(239)	

第十章 X 射线

(303)	一、X 射线的发现	(303)	一、X 射线的发现
(304)	二、X 射线的性质	(304)	二、X 射线的性质
(305)	三、X 射线的产生	(305)	三、X 射线的产生
(306)	四、X 射线的吸收	(306)	四、X 射线的吸收
(307)	五、X 射线的散射	(307)	五、X 射线的散射
(308)	六、X 射线的衍射	(308)	六、X 射线的衍射
(309)	七、X 射线的荧光	(309)	七、X 射线的荧光
(310)	八、X 射线的生物效应	(310)	八、X 射线的生物效应
(311)	九、X 射线的医学应用	(311)	九、X 射线的医学应用
(312)	十、X 射线的防护	(312)	十、X 射线的防护

第十一章 原子核物理

(313)	一、原子核的组成	(313)	一、原子核的组成
(314)	二、原子核的稳定性	(314)	二、原子核的稳定性
(315)	三、原子核的衰变	(315)	三、原子核的衰变
(316)	四、原子核的裂变	(316)	四、原子核的裂变
(317)	五、原子核的聚变	(317)	五、原子核的聚变
(318)	六、原子核的放射性	(318)	六、原子核的放射性
(319)	七、原子核的医学应用	(319)	七、原子核的医学应用
(320)	八、原子核的防护	(320)	八、原子核的防护
(321)	九、原子核的能源	(321)	九、原子核的能源
(322)	十、原子核的宇宙射线	(322)	十、原子核的宇宙射线
(323)	十一、原子核的核磁共振	(323)	十一、原子核的核磁共振
(324)	十二、原子核的激光	(324)	十二、原子核的激光
(325)	十三、原子核的超导	(325)	十三、原子核的超导
(326)	十四、原子核的超导量子干涉	(326)	十四、原子核的超导量子干涉
(327)	十五、原子核的超导量子干涉	(327)	十五、原子核的超导量子干涉
(328)	十六、原子核的超导量子干涉	(328)	十六、原子核的超导量子干涉
(329)	十七、原子核的超导量子干涉	(329)	十七、原子核的超导量子干涉
(330)	十八、原子核的超导量子干涉	(330)	十八、原子核的超导量子干涉
(331)	十九、原子核的超导量子干涉	(331)	十九、原子核的超导量子干涉
(332)	二十、原子核的超导量子干涉	(332)	二十、原子核的超导量子干涉

绪论

医用物理学是医学专业学生的基础课之一。开设这门课的目的是根据专业培养目标的要求，在中学物理学的基础上，进一步深化物理概念和物理规律，扩大物理知识的领域，为学习现代医学打下必要的物理学基础。要学好这门课，首先要了解物理学研究的对象、方法及它与医学的关系。

一、物理学研究的对象

物理学是研究最普遍、最基本的物质运动形态的科学，是探索物质运动规律、物质结构及相互作用的科学。物质是在人们周围存在着的客观实体，从粒子、原子、分子到宇宙天体，从蛋白质、细胞到人体，从电磁场到引力场都是物质。所有物质都在不停地运动和变化着，运动是物质存在的形式，是物质的固有属性。因此，物理学研究的领域非常宽广，如自然界和人类活动中最常见的机械运动、分子热运动、电磁变化、原子和原子核的运动等都属于物理学研究的范畴。物理学研究的范围在空间尺度上所涉及的从小到质子半径 10^{-15}m ，大到可观测到最远类星体的距离 10^{26}m ；在时间尺度上从短到 10^{-25}s 的最不稳定的粒子的寿命，直到长达 10^{39}s 的质子寿命。物理学所研究的运动形式，普遍存在于其他高级、复杂的物质运动形式之中。生命现象是物质世界中的高级运动形态，不管生命活动多么复杂，其中也必定涉及一些物理现象。例如，细胞、分子、电子之间都遵守万有引力定律；人体的代谢遵从能量守恒和转换定律；生物电的电学性质符合电磁学的规律等。因而，物理学是自然科学和工程技术的基础，也是医学的基础。

二、物理学与医学的关系

生产实践和科学实践是物理学发展的动力，反过来物理学的成就又促进了生产实践和科学实践的发展。物理学与医学的关系也不例外。物理学的一些新发现，为医学的发展提供了理论基础和手段。反过来，医学的不断发展，又向物理

学提出了新的课题。它们互相促进，互相推动。

医学是以人为对象的生物科学。它所研究的是属于高级的、复杂的物质运动形态——生命现象。这些运动形态是以物理学和化学的运动形态为基础的。因此，不掌握物理学的基本规律，就无法深入了解医学所研究的生命现象。生命现象除了必须服从有关的物理学和化学的规律外，还有它独特的规律，因而不能简单地把生命现象看做是物理学和化学的总和。

随着人们对生命现象认识的逐步深入，生命科学已经从宏观形态的研究进入到微观机制的探讨，从细胞水平进入到分子水平。对生命现象本质的研究，需要研究生物分子本身的结构、构象、能量状态及其变化，以及这些状态和变化与功能之间的联系。这些研究应用了过去已经发展起来的以及近代正在发展的各种物理学技术，如电子显微镜、光学显微镜、荧光偏振、光散射，以及各种光谱和波谱等技术。在医学研究、预防、临床诊断和治疗方面的技术手段正日新月异地发展着，其中主要是物理学技术，如各种内镜、微波、超声、激光、磁共振成像(MRI)、电子计算机 X 线断层扫描术(X-CT)、核医学等技术。物理学每一次的新发现或技术发展到每一个新的阶段，都为医学研究和医疗实践提供更先进、更方便和更精密的仪器和方法。

物理学与医学的关系可归结为两个主要方面：①物理学知识是了解生命现象所不可缺少的基础。②物理学所提供的方法技术，为医学研究和医疗实践开辟了新的途径。

三、物理学的学习方法

物理学的发展过程是人类对自然界认识过程中的一个重要组成部分。物理学中的规律大都来自长期的科学实践。因此，物理学的研究应以观察和实验为基础，并对观察与实验的结果进行定量的或定性的分析。在观察和实验所得大量资料的基础上，经过分析、概括、判断和推理，把事物的本质和内在联系抽象到更一般的形式，于是就有了假设。由假设再经反复验证，被证明能正确反映客观规律时，则上升为定律和理论，理论再回到实践中去检验。

物理学是一门实验科学，要学好物理学，必须重视物理实验，学会使用基本仪器，掌握一些测量方法、技术操作等。在实验过程中积极思维，敢于实践，勇于创新。

我们一方面要牢固掌握书本的讲授内容，另一方面还要经常注意医学物理学的新进展、新发现，为学好医学打下必要的基础。

(武 宏)

第一章

力学基本规律

力学是研究物体机械运动客观规律的科学。机械运动是物体间或物体各部分之间相对位置变化的运动，是物质运动的最简单形式，普遍存在于其他复杂运动形式之中。本章着重讨论一些动力学基本概念和规律。

第一节 牛顿运动定律

研究物体运动与物体间相互作用的联系和规律是力学的动力学部分，牛顿运动定律是动力学的基本内容。牛顿运动定律一般是对质点而言，但由此可导出刚体、流体等的运动定律。因此，牛顿运动定律是整个经典力学的基础。

一、牛顿运动定律

牛顿总结了前人的成就，于1687年在《自然哲学的数学原理》中提出了三条运动规律，统称为牛顿运动定律。

牛顿第一定律：任何物体都保持其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。

牛顿第一定律表明，任何物体都有保持其原有运动状态不变，即保持其速度不变的特性。这一特性叫做物体的惯性，因此，第一定律也叫惯性定律。

牛顿第二定律：物体受到外力作用时，所获得的加速度的大小与合外力的大小成正比，与物体的质量成反比；加速度的方向与合外力的方向相同。

第二定律指出，质量为 m 的物体，在合外力 f 作用下，如果获得的加速度为 a ，则

$$f = kma \quad (1-1)$$

式中 k 为比例系数。在国际单位制中， $k=1$ 上式可写成

$$f = ma \quad (1-2)$$

这就是通常所用的牛顿第二定律的数学表达式。

牛顿第三定律：当甲物体有力作用于乙物体时，乙物体也必然同时有力作用于甲物体，这两个力在同一直线上，大小相等而方向相反，即 $F_{甲} = -F_{乙}$ 。

第三定律表明，作用力和反作用力必定分别作用在相互作用着的两个物体上。作用力和反作用力还必定是属于同一性质的力，如同属弹性力、万有引力、摩擦力等等。

这三条定律是密不可分的整体。第一和第二定律分别定性和定量地说明了物体运动状态的变化和其他物体对它作用的力之间的关系。第三定律则进一步说明力的相互作用性质及相互作用的力之间的定量关系。

对于不同的参考系，同一物体的运动形式可以不同，但运动的描述是相对的，可以根据研究问题的方便任意选取参考系。那么应用牛顿定律时参考系能否任意选吗？例如，停在火车站台上的一辆小车，在站台上的人看来，小车受的合力为零，加速度也为零，符合牛顿定律。可是在加速行驶的列车车厢中的人观察这辆小车，将发现小车向列车尾部方向做加速运动。小车受的合力仍为零，合力为零而有了加速度，这是违背牛顿定律的。这是因为在不同的参考系中，物体受力相同，而加速度则可能不同。

凡牛顿定律成立的参考系叫做惯性参考系，简称惯性系。由实验表明，相对于上述惯性系做匀速直线运动的参考系都是惯性系，做变速运动的参考系是非惯性系。前面提到的加速运动的列车车厢，由于它相对于地面参考系有明显的加速度，所以不能当做惯性系看待。具体判断一个实际的参考系是不是惯性系，要根据经验观察。

二、单位和量纲

各物理量间常常通过定义或定律有一定的联系，如力、质量和加速度通过牛顿第二定律联系在一起。一般常选几个物理量作为基本量（fundamental quantity），规定它们的单位作为基本单位（fundamental unit），其他物理量及其单位通过定义或定律由基本量及基本单位导出，由基本量导出的物理量叫做导出量（derived quantity），其单位叫做导出单位（derived unit）。

基本单位选择不同，组成的单位制就不同。本书采用的国际单位制，选定长度、质量和时间为力学基本量，米（m）、千克（kg）、秒（s）为力学基本单位，力学中其他各量都是导出量。

任何物理量都可以用基本量的某种组合来表示。国际单位制中，以 L、M 和 T 分别表示长度、质量和时间三个力学基本量，力学的其他物理量 Q 可用 L、M 和 T 的幂次组合表示出来，形式为

$$[Q] = M^{\alpha} L^{\beta} T^{\gamma}$$

上式叫做物理量 Q 的量纲（dimension），M、L、T 分别为质量、长度、时间的量纲。如速度、加速度的量纲为 $[v] = LT^{-1}$ ， $[a] = LT^{-2}$ 。对于不同的单位制，如果基本量的选择不同，则同一物理量的量纲也不同。此外，量纲可用

来校核等式，如一个方程式两端量纲必须相同，相加减各项量纲必须相同。由此可借助量纲检验一个等式是否正确，确定方程中系数的单位，并可推测某些定律。量纲也可以定出同一物理量不同单位之间的换算关系。

第二节 功和能、能量守恒定律

一个物体的运动总是与其他物体的运动有联系。通过力的作用，可使机械运动从一个物体转移到另一个物体，也可使机械运动和别的运动形式相互转化，如摩擦生热就是机械运动转化为热运动。功和能量就是研究转化问题的重要物理量。

一、功

功是描述力在物体移动过程中的空间累积效应。

1. 功

物体在恒力 f 作用下做直线运动时 (图 1-1)，力在位移方向上的分量与位移的乘积，就是力 f 对物体所做的功，即，

$$A = f \cos \theta \cdot s = f \cdot s \quad (1-3)$$

式中 θ 为力与位移的夹角。功只有大小、正负而无方向，是个标量。由上式可见， $\theta < \pi/2$ 时力做正功； $\theta = \pi/2$ 时，力不做功； $\theta > \pi/2$ 时，力做负功。

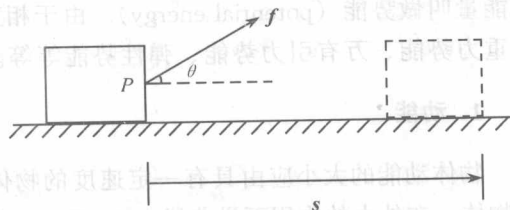


图 1-1 恒力的功

在国际单位制中，功的单位是焦耳 (J)，功的量纲为 ML^2T^{-2} 。

若物体在变力 f 的作用下，由 P_1 沿曲线轨道运动到 P_2 的过程中 (图 1-2)，可将轨道分成若干小段。只要每小段足够小，就可看成直线，而且在这一小段上的力也可视为恒力。这样，力在任一小段位移 Δs 上的元功为

$$\Delta A_i = f_i \cos \theta_i \Delta s_i = f_i \cdot \Delta s_i \quad (1-4a)$$

总功 A 就是各元功之和在每一小段都趋于零时的极限值

$$A = \lim_{\Delta s_i \rightarrow 0} \sum_i \Delta A_i = \lim_{\Delta s_i \rightarrow 0} \sum_i (f_i \cos \theta_i \Delta s_i)$$

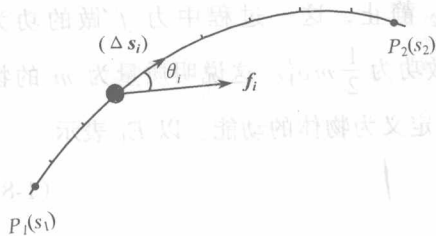


图 1-2 变力的功

$$= \int_{s_1}^{s_2} f \cos \theta ds = \int_{s_1}^{s_2} \mathbf{f} \cdot d\mathbf{s} \quad (1-4b)$$

式中 s_1 、 s_2 分别为 P_1 、 P_2 在路程曲线上的位置坐标。

2. 功率

单位时间内完成的功称为功率。设时间 Δt 内完成的为 ΔA ，则这段时间的平均功率

$$\bar{P} = \frac{\Delta A}{\Delta t} \quad (1-5)$$

当 Δt 趋近于零时，得时刻 t 的瞬时功率（简称功率）

$$P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{dA}{dt} \quad (1-6)$$

国际单位制中，功率的单位为焦耳·秒⁻¹，叫做瓦特（W），量纲为 ML^2T^{-3} 。

二、动能、势能

能是指物体所具有的做功本领。机械运动范围内，物体的能量有动能和势能两种形式。物体由于运动，即由于具有速度而具有的能量叫做动能（kinetic energy）；由于相互作用着的物体之间或同一物体各部分之间相对位置的改变而具有的能量叫做势能（potential energy）。由于相互作用力性质的不同，势能相应地分为重力势能、万有引力势能、弹性势能等等。

1. 动能

物体动能的大小应由具有一定速度的物体能对外做多少功来衡量。质量为 m 的物体，在外力的作用下沿曲线由 P_1 至 P_2 （图 1-3），此过程中力 f 对物体做的功

$$A = \int_{s_1}^{s_2} f \cos \theta \cdot ds = \int_{v_1}^{v_2} m \frac{dv}{dt} \cdot v dt = m \int_{v_1}^{v_2} v dv = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 \quad (1-7)$$

式中 v_1 、 v_2 分别表示物体在点 P_1 、 P_2 时的速率。如果 $v_2 = 0$ ，即物体由 P_1 点以速度 v_1 开始运动，在力 f 作用下到 P_2 静止，这一过程中力 f 做的功为 $-\frac{1}{2} m v_1^2$ ，或者说这一过程中物体克服外力做功为 $\frac{1}{2} m v_1^2$ 。这说明质量为 m 的物体，速度为 v 时能对外做功，即具有的能量定义为物体的动能。以 E_k 表示

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad (1-8)$$

则 (1-7) 式为

$$A = E_{k_2} - E_{k_1} \quad (1-9)$$

即外力对物体所做的功等于物体动能的增量。这一结论称为动能定理。

动能和功一样，都是标量，单位和量纲与功相同。但是，动能是状态量，功