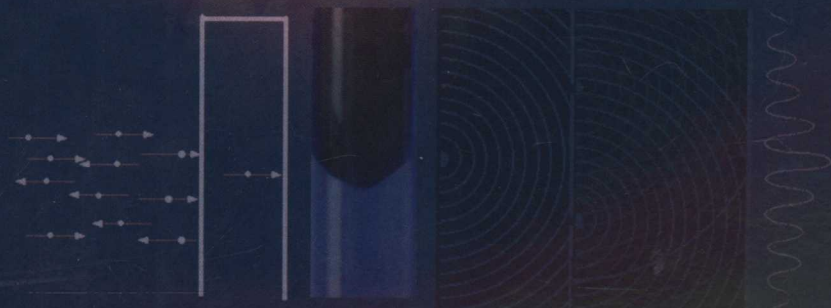


高等医学院校教材

物理学

(第三版)

王 铭 主编



内附光盘

北京大学医学出版社

高等医学院校教材

物 理 学

(第三版)

主 编 王 铭

副主编 (以姓氏笔画为序)

刘筑闻

谢利德

喀蔚波

北京大学医学出版社

WU LI XUE

图书在版编目 (CIP) 数据

物理学/王铭主编. —3 版. —北京: 北京大学医学出版社, 2005. 6
ISBN 7-81071-394-9

I. 物… II. 王… III. 物理学—医学院校—教材
IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 041437 号

物理学 (第三版)

主 编: 王 铭

出版发行: 北京大学医学出版社 (电话: 010-82802230)

地 址: (100083) 北京市海淀区学院路 38 号 北京大学医学部院内

网 址: <http://www.pumpress.com.cn>

E-mail: booksale@bjmu.edu.cn

印 刷: 北京东方圣雅印刷有限公司

经 销: 新华书店

责任编辑: 暴海燕 责任校对: 杜悦 责任印制: 郭桂兰

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 18.5 字数: 469 千字

版 次: 2005 年 8 月第 3 版 2005 年 8 月第 1 次印刷 印数: 1-3000 册

书 号: ISBN 7-81071-394-9/R·394

定 价: 36.00 元

版权所有, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

前 言

物理学是研究包括机械运动、热运动、电磁运动、微观粒子运动等物质最基本最普通的运动形态及其规律的科学。这些运动形态广泛地存在于自然界一切复杂的高级的运动形态如生物学运动形态之中。物理学的研究方法广泛地应用于自然科学和各种应用科学,其中包括医学领域。

物理学是医药类专业学生的一门重要的基础课。首先,物理学是一门古老的学科,其成功的思维方式和实验方法一直是科学技术发展的推动力之一。学习物理学可以开阔学生眼界,提高学生认识世界、认识自然的能力,丰富的物理学知识,可以极大的提高学生的自身素质。其次,现代科学技术的各个领域相互交叉、相互渗透、日益交融,任何一个科学领域几乎都不可能单独的达到新的高度。所以医学生学习物理学有很大的实用意义,物理学与医学的交互有助于在医学研究中做出新的发现,也有助于学生在今后的学习工作中能更快的掌握新技术和新方法。

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,从细胞水平提高到分子水平,从定性研究到定量研究。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。这些研究运用了量子力学方法,应用了已经发展成熟和近年来正在发展的各种技术,特别是物理技术,如电子显微镜、扩散、沉降、荧光偏振、光的散射和衍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在日新月异地发展着,其中主要的是物理学技术,如各种内镜、微波、超声、激光、核磁共振、断层成像、核医学等技术,不胜枚举。另外,医学与物理学结合而形成的分支学科,如血液循环力学、血液流变学、呼吸物理、骨的力学和电学,以及神经元、神经纤维和脑的物理学等等,都日益显示出物理学对医学的重要意义和作用。

物理学有其与医学不同的自身规律。我们认为,物理学学习首先应以物理学的经典内容为主要部分。有别于一些医学物理学或医用物理学,本书的主要篇幅均以物理学本身的内容为主要讨论对象,与物理规律密切相关的医学应用我们只将其作为应用举例放在相关章节。

这次(第三版)修编在前两版的基础上做了一些改动,重写了大部分章节的内容。由于教学时数的限制,删掉了原书中有关几何光学的内容,缩编了光谱与激光和原子核及放射性两章。本书配套出版了《物理学概念及习题》光盘。光盘给出了学习本书的基本要求和相关各章的基本概念。为了配合学生复习和掌握学习内容,光盘还给出了大量的习题和习题解答。另外我们还将一些与医学密切相关的物理学内容以及一些现代物理的内容作为阅读材料放在光盘中,供有兴趣的学生阅读。

参加本书编写工作的有北京大学医学部、首都医科大学和承德医学院的王铭、王春燕、孙大公、刘东海、刘筑闻、李辉、郭学谦、高福英、谢利德、喀蔚波及王照、赵玉衡等同志。本书第二版主编王鸿儒先生给本书的修改给予了大力支持和帮助,北京大学医学部物理

教研室李玉梅老师为本书的插图和习题做了许多实际工作，在这里一并表示衷心感谢。
欢迎各位读者为本书提出批评意见，读者的意见和建议是我们改进和提高的动力。

编者 2005/7

目 录

第一章 力学基本定律	(1)
§ 1.1 单位和量纲	(1)
§ 1.2 质点动力学的基本定律	(2)
一、牛顿运动定律	(2)
二、动能定理 功能原理 机械能守恒定律	(3)
三、动量定理 动量守恒定律	(7)
§ 1.3 刚体的定轴转动	(8)
一、平动和转动	(8)
二、刚体定轴转动的运动学	(9)
三、刚体定轴转动定律	(10)
四、刚体定轴转动的功和能	(15)
§ 1.4 角动量守恒定律	(17)
§ 1.5 进动	(19)
§ 1.6 狭义相对论基本原理	(21)
一、伽利略变换和经典力学时空观	(22)
二、狭义相对论的基本原理	(23)
三、狭义相对论动力学	(28)
[附录] 矢量的标积和矢积	(28)
习题	(31)
第二章 流体的运动	(33)
§ 2.1 理想流体 定常流动	(33)
一、理想流体	(33)
二、定常流动	(34)
三、连续性方程	(34)
§ 2.2 伯努利方程	(35)
一、伯努利方程	(35)
二、伯努利方程的应用	(36)
§ 2.3 粘性流体的流动	(39)
一、牛顿粘性定律	(39)
二、层流、湍流、雷诺数	(40)
三、泊肃叶定律	(41)
四、粘性流体的流动规律	(42)
五、斯托克斯定律	(43)
§ 2.4 血液循环与血液粘度	(44)
一、循环过程中的血压	(44)

二、循环过程中的血流速度	(45)
三、血液的粘度	(45)
四、血液粘度的临床意义	(46)
习题	(47)
第三章 振动和波动	(49)
§ 3.1 简谐运动	(49)
一、简谐运动	(49)
二、简谐运动的周期、频率和圆频率	(50)
三、简谐运动的振幅和相位	(51)
四、简谐运动的旋转矢量表示法	(52)
五、简谐运动的能量	(53)
§ 3.2 简谐运动的合成	(54)
一、同方向同频率简谐运动的合成	(54)
二、同方向不同频率简谐运动的合成	(55)
三、相互垂直同频率简谐运动的合成	(56)
四、相互垂直不同频率简谐运动的合成	(57)
§ 3.3 阻尼振动 受迫振动 共振	(58)
一、阻尼振动	(58)
二、受迫振动 共振	(60)
§ 3.4 简谐波	(60)
一、物质的弹性	(60)
二、机械波的产生	(62)
三、横波和纵波	(62)
四、波的频率、波长和波速	(63)
五、波的几何描述 平面波和球面波	(64)
六、平面简谐波方程	(64)
七、波的能量 能量密度和能流密度	(66)
§ 3.5 惠更斯原理	(68)
一、惠更斯原理	(68)
二、波的衍射	(69)
§ 3.6 波的干涉	(69)
一、波的叠加原理	(70)
二、波的干涉	(70)
三、驻波	(71)
四、声源物体的固有频率	(73)
* 频谱分析	(74)
§ 3.7 波包	(76)
一、介质色散与波的群速	(76)
二、孤波和孤子	(77)
习题	(77)

第四章 声波和超声波	(79)
§ 4.1 声波	(79)
一、声速	(79)
二、声压和声强	(79)
三、声强级及与响度级	(80)
四、声波的反射、折射、衍射和散射	(82)
五、声波的衰减和吸收	(83)
§ 4.2 多普勒效应	(83)
一、声源不动, 观察者运动	(84)
二、观察者不动, 声源运动	(84)
三、声源与观察者同时相对于介质运动	(84)
§ 4.3 超声波	(85)
一、超声波的产生和探测	(85)
二、超声波的特征及其应用	(86)
三、超声对物质的作用	(86)
习题	(88)
第五章 分子动理论	(89)
§ 5.1 理想气体状态方程	(89)
一、物质的微观模型	(89)
二、理想气体状态方程	(89)
§ 5.2 理想气体的压强和温度	(90)
一、理想气体微观模型	(90)
二、理想气体的压强公式	(90)
三、理想气体的能量公式	(92)
四、道尔顿分压定律	(93)
§ 5.3 能量按自由度均分定理	(93)
一、自由度	(94)
二、能量按自由度均分定理	(94)
三、理想气体的内能	(95)
§ 5.4 气体分子速率和能量的统计分布规律	(96)
一、麦克斯韦气体分子速率分布规律	(96)
二、玻尔兹曼能量分布律	(98)
§ 5.5 气体分子的碰撞	(98)
§ 5.6 气体内的输运现象	(100)
习题	(101)
第六章 液体的表面现象	(102)
§ 6.1 液体的表面张力和表面能	(102)
一、液体的表面层	(102)
二、表面能和表面张力	(102)
三、表面张力系数	(103)

§ 6.2 弯曲液面的附加压强	(104)
一、弯曲液面的附加压强	(104)
二、拉普拉斯公式	(104)
§ 6.3 毛细现象	(106)
一、润湿现象	(106)
二、毛细现象	(107)
三、气体栓塞	(109)
习题	(109)
第七章 热力学基本定律	(111)
§ 7.1 热力学的一些基本概念	(111)
一、热力学系统 平衡态	(111)
二、热量和功	(111)
三、准静态过程	(111)
四、准静态过程中系统所作的功	(112)
§ 7.2 热力学第一定律	(113)
§ 7.3 热力学第一定律的应用	(113)
一、气体热容量	(113)
二、等容过程	(114)
三、等压过程	(115)
四、等温过程	(116)
五、绝热过程	(117)
§ 7.4 热力学第二定律	(119)
一、热力学第二定律的表述	(119)
二、热力学第二定律的统计意义	(120)
三、熵增加原理	(121)
习题	(122)
第八章 静电场	(123)
§ 8.1 电场 电场强度	(123)
一、电荷及其量子性	(123)
二、库仑定律	(123)
三、电场与电场强度	(124)
四、场强叠加原理	(124)
五、点电荷及点电荷系电场中的场强	(124)
六、电场线	(126)
§ 8.2 高斯定理	(127)
一、电通量	(127)
二、高斯定理	(128)
三、高斯定理的应用	(129)
§ 8.3 静电场力的功 电势	(131)
一、静电场力所作的功	(131)

二、静电场的环路定理·····	(131)
三、电势·····	(132)
四、电势叠加原理·····	(133)
五、点电荷及点电荷系电场中的电势·····	(133)
六、等势面·····	(134)
七、电场强度与电势的关系·····	(135)
§ 8.4 电偶极子的电场 ·····	(136)
一、电偶极子及其电偶极矩·····	(136)
二、电偶极子电场中的电势·····	(136)
三、电偶极子电场中的场强·····	(137)
四、心电场与心电图·····	(138)
§ 8.5 静电场中的电介质 ·····	(140)
一、电介质及其结构·····	(140)
二、电介质的极化·····	(141)
三、均匀电介质中的静电场·····	(142)
四、介质损耗·····	(144)
五、压电效应·····	(145)
§ 8.6 静电场的能量 ·····	(145)
一、电容器及其电容·····	(146)
二、电容器中的电能·····	(146)
三、静电场的能量与能量密度·····	(147)
习题·····	(149)
第九章 直流电 ·····	(152)
§ 9.1 欧姆定律的微分形式 ·····	(152)
一、电流 电流密度·····	(152)
二、欧姆定律的微分形式·····	(154)
三、电解质导电·····	(155)
四、超导体·····	(155)
§ 9.2 电动势 能斯特电势 ·····	(156)
一、电动势·····	(156)
二、能斯特电势·····	(157)
§ 9.3 基尔霍夫定律及其应用 ·····	(159)
一、基尔霍夫定律·····	(159)
二、基尔霍夫定律的应用·····	(161)
§ 9.4 电容器的充电和放电 ·····	(161)
一、RC 电路的充电过程 ·····	(162)
二、RC 电路的放电过程 ·····	(163)
§ 9.5 直流电在医学中的应用 ·····	(164)
一、直流电在机体中的作用·····	(164)
二、电泳·····	(165)

三、电疗·····	(166)
习题·····	(167)
第十章 电磁现象·····	(169)
§ 10.1 磁场·····	(169)
一、磁场 磁感应强度·····	(169)
二、磁通量·····	(171)
三、电流元的磁场 毕奥—沙伐尔定律·····	(172)
四、运动电荷的磁场·····	(175)
五、安培环路定理·····	(176)
§ 10.2 磁场对运动电荷的作用力·····	(178)
一、运动电荷在磁场中所受的力——洛仑兹力·····	(178)
二、带电粒子在磁场中的运动·····	(178)
三、霍耳效应·····	(180)
§ 10.3 磁场对载流导线的作用·····	(181)
一、载流导线在磁场中所受的力·····	(181)
二、载流线圈在磁场中所受的力矩·····	(183)
三、磁力矩的功和附加能量·····	(185)
§ 10.4 物质的磁性·····	(186)
一、磁介质及其磁化·····	(186)
二、物质的磁性·····	(186)
三、磁导率 磁场强度·····	(189)
§ 10.5 电磁感应·····	(189)
一、电磁感应的基本定律·····	(189)
二、动生电动势和感生电动势·····	(190)
三、自感现象·····	(191)
四、RL 电路的暂态过程·····	(192)
五、磁场的能量·····	(193)
§ 10.6 电磁振荡和电磁波·····	(195)
一、电磁振荡·····	(195)
二、位移电流·····	(196)
三、麦克斯韦方程组·····	(198)
四、电磁波·····	(199)
五、电磁波谱·····	(201)
习题·····	(201)
第十一章 波动光学·····	(203)
§ 11.1 光的干涉·····	(203)
一、光的相干性·····	(203)
二、杨氏双缝实验·····	(203)
三、洛埃镜实验·····	(206)
四、光程和光程差·····	(206)

五、薄透镜近轴光线的等光程性·····	(207)
六、平行平面薄膜的干涉·····	(208)
七、增透膜·····	(210)
§ 11.2 光的衍射·····	(210)
一、惠更斯—菲涅耳原理·····	(211)
二、单缝衍射·····	(212)
三、圆孔衍射·····	(213)
四、光学系统的分辨本领·····	(214)
五、衍射光栅·····	(215)
§ 11.3 光的偏振·····	(217)
一、自然光与偏振光·····	(217)
二、偏振片的起偏与检偏·····	(219)
三、马吕斯定律·····	(220)
四、反射和折射时光的偏振·····	(220)
§ 11.4 双折射现象·····	(221)
一、光的双折射现象·····	(221)
二、惠更斯原理在双折射现象中的应用·····	(223)
三、偏振光的干涉·····	(224)
§ 11.5 旋光现象·····	(225)
§ 11.6 光的吸收和散射·····	(226)
一、光的吸收·····	(227)
二、光的散射·····	(227)
§ 11.7 全息照相及其医学应用·····	(228)
一、全息照相的基本原理·····	(229)
二、全息照片的摄制与再现·····	(230)
三、全息照相的特点·····	(230)
四、全息照相在医学中的应用·····	(231)
习题·····	(232)
第十二章 量子物理初步 ·····	(233)
§ 12.1 热辐射·····	(233)
一、热辐射的基本规律·····	(233)
二、黑体辐射定律·····	(234)
三、普朗克的量子假设·····	(235)
§ 12.2 光的量子性·····	(236)
§ 12.3 德布罗意波(物质波)及其实验验证·····	(239)
§ 12.4 量子理论应用·····	(242)
一、测不准原理·····	(242)
二、隧道效应·····	(244)
三、原子中的量子·····	(244)
习题·····	(246)

第十三章 原子物理学基础	(248)
§ 13.1 卢瑟福的原子核式模型.....	(248)
§ 13.2 氢原子的玻尔理论.....	(249)
§ 13.3 氢原子光谱的规律性.....	(250)
§ 13.4 发射光谱和吸收光谱.....	(252)
§ 13.5 激光.....	(253)
一、激光的特征.....	(253)
二、激光的发射原理.....	(254)
三、医用激光器.....	(257)
四、激光生物效应.....	(259)
* 激光医学应用.....	(260)
一、激光治疗.....	(260)
二、激光诊断.....	(261)
§ 13.6 原子核的基本性质.....	(262)
§ 13.7 核衰变.....	(263)
§ 13.8 核衰变规律.....	(264)
* 放射性同位素的医学应用.....	(265)
习题.....	(265)
第十四章 X 射线	(267)
§ 14.1 X 射线的基本性质.....	(267)
§ 14.2 X 射线的发生.....	(267)
§ 14.3 X 射线衍射和 X 射线谱	(269)
§ 14.4 物质对 X 射线的吸收规律	(273)
§ 14.5 X 射线的医学应用.....	(274)
§ 14.6 X 射线 CT	(275)
习题.....	(278)

第一章 力学基本定律

力学 (mechanics) 是研究物体的机械运动规律及其应用的科学, 机械运动是物体之间或物体内部各部分之间相对位置发生变化的运动。本章将在中学物理的基础上, 介绍力学中变力情况下质点力学的基本概念及规律, 进一步讨论特殊的质点系—刚体在定轴转动中的一些基本规律, 最后介绍狭义相对论的基本原理和主要结论。

§ 1.1 单位和量纲

物理学中各个物理量之间常常通过定义或定律相联系, 因此一般选定几个物理量作为基本量 (fundamental quantity), 并规定它们的单位作为基本单位 (fundamental unit), 其他物理量及其单位可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作导出量 (derived quantity), 它们的单位叫作导出单位 (derived unit)。在国际单位制中, 选定七个量作为基本量, 其中长度、质量、时间三个量为力学基本量, 相应的力学基本单位为米 (m)、千克 (kg)、秒 (s)。力学中其他的物理量都为导出量, 相应的单位为导出单位。

导出量可以由基本量的某种组合表示出来, 导出量对基本量的依赖关系式称为该导出量的量纲式 (dimension formula)。用 L 、 M 和 T 分别表示三个力学基本量的量纲, 则物理量 Q 的量纲式可表示为

$$[Q] = L^p M^q T^r$$

式中 $L^p M^q T^r$ 为物理量 Q 的量纲 (dimension), p 、 q 、 r 分别称为物理量 Q 对长度、质量、时间的量纲指数。

我们可以根据导出量与基本量的关系, 写出各导出量的量纲式, 如加速度 a 、力 F 及圆心角 φ 的量纲式分别为:

$$\begin{aligned} [a] &= LT^{-2} \\ [F] &= [m][a] = MLT^{-2} \\ [\varphi] &= \frac{[s]}{[r]} = \frac{[L]}{[L]} = 1 = L^0 M^0 T^0 \end{aligned}$$

量纲式除了直观地表示出了导出量与基本量的关系以外, 还可用于检验公式。依据的原则是: 只有量纲相同的量才能相等、相加或相减, 因此通过检查公式中各项的量纲, 可初步检验等式是否正确。例如匀变速直线运动公式 $v_t = v_0 + at$ 中各项的量纲均为 LT^{-1} , 因各项量纲相同, 故可初步判断该公式可能是正确的。可进一步通过其他方法如实验检验其正确性。若经检验, 公式中各项的量纲不同, 则可以肯定该公式是错误的。此外, 量纲式还可用于单位换算和确定比例系数的单位等。

§ 1.2 质点动力学的基本定律

动力学研究的是物体的运动和物体间相互作用的联系及规律。质点动力学的基本规律是牛顿 (Issac Newton, 1643~1727) 运动定律。

一、牛顿运动定律

1. 牛顿第一定律

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。

第一定律表明: 如果没有其他物体的作用, 则所研究的物体将保持其静止或匀速直线运动状态, 这种性质, 称为物体的惯性 (inertia), 所以牛顿第一定律也叫惯性定律 (inertial law); 第一定律还表明: 要改变物体的运动状态, 即使物体产生加速度, 一定要有其他物体对它作用, 这种作用就是力 (force), 也就是说力是物体获得加速度的原因。

2. 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。

第二定律确定了物体的加速度 a 和它所受的力 F 以及它的质量 m 之间的联系, 在国际单位制中, 牛顿第二定律的数学表达式为

$$F = ma \quad (1-1)$$

该定律表明, 任何两个物体, 在同样大小的合外力作用下, 质量大的物体获得的加速度较小, 而质量小的物体获得的加速度较大, 即质量是改变物体运动状态难易程度的物理量, 是物体惯性的量度, 所以在这一意义下的质量称为惯性质量 (inertial mass)。

3. 牛顿第三定律

当物体 A 以力 F 作用在物体 B 上时, 物体 B 也必定同时以力 F' 作用在物体 A 上; F 和 F' 在同一直线上, 大小相等, 方向相反。其数学表达式为

$$F = -F' \quad (1-2)$$

这两个力分别作用在不同的物体上, 其中一个力称为作用力, 另一个力称为反作用力, 它们是相同性质的力。力学中常见的力有三种, 它们是万有引力、弹性力和摩擦力。

实验表明, 牛顿运动定律不是对任何参照系都成立的, 例如, 一列车 A 静止停放在站台上, 车对地静止, 加速度为零, 因为该列车受的合外力为零, 牛顿运动定律对地面参照系成立。当另一列车 B 加速驶过时, 在列车 B 上的观察者看来, 列车 A 向相反方向做加速运动, 但其受力情况并未改变, 合外力为零。因此对加速运动的列车 B 参照系, 牛顿运动定律不成立。凡是牛顿定律成立的参照系, 叫作惯性参照系, 简称惯性系 (inertial system), 牛顿运动定律不成立的参照系, 叫作非惯性参照系, 简称非惯性系 (non-inertial system)。相对于惯性系做匀速直线运动的参考系都是惯性系。实际中根据实验观察来判断一个参照系是否为惯性系。太阳参考系——以太阳中心为坐标原点, 坐标轴指向固定方向的参考系是惯性系。地心参考系近似为惯性系, 研究地面物体的运动时, 常以地面为参考系, 该参考系也近似为惯性系。

二、动能定理 功能原理 机械能守恒定律

物体在力的作用下会发生运动状态、空间位置、运动形式等的改变。功和能量的概念是解决动力学问题的另一途径。

1. 力的功

(1) 恒力的功 设物体在恒力 F 的作用下, 沿直线运动, 位移为 r , 力 F 的方向和物体运动方向的夹角为 θ , 如图 1.1 所示。则力在位移方向的分量与该位移大小的乘积, 就是力 F 对物体所做的功 (work), 用 A 表示, 即

$$A = (F \cos \theta) r \quad (1-3)$$

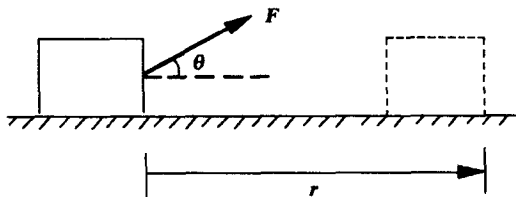


图 1.1 恒力的功

功是标量, 只有大小, 没有方向。在功的表达式中, 力和位移都是矢量, 按照矢量标积的定义, 式 (1-3) 可写成

$$A = \mathbf{F} \cdot \mathbf{r} \quad (1-4)$$

(2) 变力的功 物体在变力作用下沿任意曲线由 a 运动到 b 的过程中, 研究变力对物体做功的情况。如图 1.2 所示, 将路径 ab 分成许多小段, 当小段分得足够小时, 小段弧可看作直线, 弧长等于弦长, 且在小段上作用于物体上的力可看作恒力。任取一小段, 位移为 dr , 相应的作用力为 F , 则在这小段上的力 F 对物体做的元功 dA 为

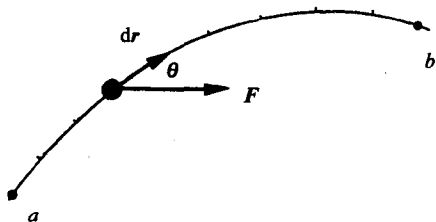


图 1.2 变力的功

$$dA = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} = F \cos \theta dr \quad (1-5a)$$

式中 θ 为 F 与 dr 的夹角。将整个路径的所有元功加起来就得到沿整个路径力对物体做的功。当 dr 取得无限小时, 得到

$$A = \int_a^b \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} = \int_a^b F \cos \theta dr \quad (1-5b)$$

此式为功的一般定义式。可以看出, 功是力对空间的积累效应。根据 F 与 θ 随路程变化的函数关系, 可由上式用积分法求出功的量值。

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

(3) 功率 功率是描述力对物体做功快慢的物理量。设在 Δt 时间内完成的功为 ΔA , 则这段时间的平均功率为

$$\bar{P} = \frac{\Delta A}{\Delta t}$$

当 Δt 趋于零时, 得到 t 时刻的瞬时功率 (简称功率) (power)

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

由式 (1-5a) 得

$$P = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{v} = F \cos \theta dv \quad (1-7)$$

由此可见功率等于力在速度方向的分量和速度大小的乘积。

在国际单位制中，功率的单位是瓦特 (W)，量纲为 ML^2T^{-3} 。

2. 动能和动能定理

如图 1.3 所示，设物体在变力 F 的作用下，沿任意曲线从 a 运动到 b ，将牛顿第二定律代入功的定义式，得到在此过程中合外力所做的功为

$$A = \int_a^b \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} = \int_a^b F \cos \theta dr = m \int_a^b a_t dr$$

其中 a_t 为物体的切向加速度，由于

$$a_t = \frac{dv}{dt}, \quad dr = v dt$$

于是得

$$A = m \int_a^b \frac{dv}{dt} v dt = m \int_a^b v dv = \frac{1}{2} m v_b^2 - \frac{1}{2} m v_a^2 \quad (1-8)$$

v_a 和 v_b 分别表示物体在 a 点和 b 点时的速率。式 (1-8) 说明力做功的结果改变了物体的运动状态。定义

物体的质量与其运动速率平方乘积的一半为质点的动能 (kinetic energy)，用 E_k 表示，即

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad (1-9)$$

式 (1-8) 可以写为

$$A = E_{kb} - E_{ka} \quad (1-10)$$

式中 E_{ka} 和 E_{kb} 分别表示物体在 a 点和 b 点的动能。该式表明合外力对物体做的功等于物体动能的增量，这一结论叫作动能定理 (kinetic energy theorem)。

应用动能定理时，仅由始末状态的动能就可得到在此过程中力对物体做的功，而不涉及运动过程，因此在解决某些力学问题时，应用动能定理要比应用牛顿第二定律更简便。

动能是物体运动状态的单值函数，当运动速度发生变化时，动能随之而变。动能是标量，在国际单位制中，动能的单位和量纲与功相同。

3. 保守力 势能

(1) 重力的功 如图 1.4 所示，一质量为 m 的物体在重力作用下沿任一曲线 acb 由 a 运动到 b 的过程中，重力所做的功为

$$A = \int_{acb} mg \cos \theta dr = \int_{h_a}^{h_b} -mg dh$$

积分得

$$A = -mg(h_b - h_a) = mgh_a - mgh_b \quad (1-11)$$

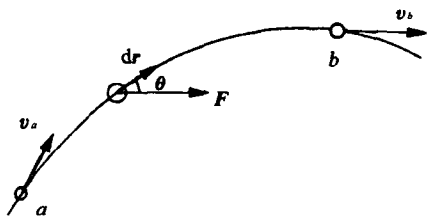


图 1.3 动能定理