

全国高等医药院校试用教材
(供医学、儿科、口腔、卫生专业用)

医用物理学

中国医科大学 主编

人 民 卫 生 出 版 社

R312

2

3

全国高等医药院校试用教材

(供医学、儿科、口腔、卫生专业使用)

医 用 物 理 学

主编单位

中国医科大学

编写单位

上海第一医学院 上海第二医学院

北京医学院 北京第二医学院

哈尔滨医科大学 湖南医学院



人 民 卫 生 出 版 社

A113850

医 用 物 理 学

中国医科大学 主 编

人 民 卫 生 出 版 社 出 版

北 京 新 华 印 刷 厂 印 刷

新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行

787×1092毫米16开本 21.5印张 497千字

1978年7月第1版第1次印刷

印数：1—130,200

统一书号：14048·3624 定价：1.70元

编写说明

本书是由卫生组织编写的高等医药院校试用教材，主要供医学、儿科、口腔、卫生专业使用。

本教材的内容，是以物理学的基本理论为基础，针对医学专业的需要，加强了近代医学所需要的微观理论和近代医用技术原理，力求反映现代科学水平和中西医结合的新成就。

在编写过程中，我们努力用辩证唯物主义作指导，贯彻理论联系实际的原则，根据培养目标的要求精选内容，循序渐进，由浅入深，注意培养和提高学生分析问题和解决问题的能力。鉴于各院校的情况不同，我们在内容的广度和深度上保持了一定的选择范围。书中除学生应当掌握的基本内容外，为照顾今后工作的需要，也适当写进了一些用小字排印的供学生参考和自学的内容。

本教材在审稿过程中，除参加编写的七所医学院校外，还有中山医学院、天津医学院、内蒙古医学院、吉林医科大学、江西医学院、西安医学院、河南医学院、苏州医学院、武汉医学院、福建医科大学等十个单位代表参加了审稿工作。

由于我们对毛主席的教育革命思想学习得不够，实践经验不足，编写时间仓促，书中还存在不少问题，希望各院校在使用过程中提出宝贵意见，以便总结经验进一步修订。

目 录

绪 论	1
第一节 物质与运动	1
第二节 物理学研究的对象、内容和方法	2
第三节 物理学与医学的关系	2
第一章 机械运动的基本规律	4
第一节 基本定律	4
一、牛顿定律	4
二、功与能	5
三、机械能守恒定律	7
四、经典力学的适用范围	8
第二节 转动	9
一、线量与角量	10
二、转动定律	11
三、转动能	12
四、离心分离器原理	13
第三节 振动	14
一、简谐振动	14
二、简谐振动方程	15
三、振动的能量	18
四、同方向振动的合成	20
第二章 波动与声波	24
第一节 波动	24
一、波的形成与传播	24
二、波动的能量与能流	26
第二节 声波	27
一、声波的速度	27
二、声波的压强	28
三、多普勒现象	29
第三节 声音的客观与主观特性	29
一、声调、声强与声质	29
二、乐音和噪音	31
三、声强级与听域	31
四、医学中的声学问题举例	33
第四节 超声	34
一、超声的产生与性质	34
二、超声对物质的作用	35

三、超声在医学上的应用举例	36
第三章 液体的流动	38
第一节 理想液体的流动	38
一、液流连续原理	38
二、柏努利方程	39
三、柏努利方程的应用	41
第二节 实际液体的流动	42
一、液体的粘滞性	42
二、粘滞液体在等粗水平管中的流动	43
三、流量与流阻、压强差的关系	44
第三节 血液的流动	44
一、血细胞的轴向集中	45
二、心脏做功	45
三、血压在血流过程中的分布	46
第四节 血压的测另	48
一、血压计的构造	48
二、血压计的测量原理	48
第四章 热运动基本定律	50
第一节 分子热运动与分子相互作用	50
一、分子热运动与分子力	50
二、液体表面性质	51
三、液态晶体	55
第二节 宏观统计的基本原理	56
一、理想气体状态方程	56
二、宏观量是相应微观量的统计平均值	58
三、能量均分原理	59
第三节 热力学第一定律	60
一、内能	60
二、热力学第一定律	60
三、基础代谢测定的物理原理	61
四、普遍形式的能量转换守恒定律	61
第四节 热平衡态的统计分布	62
一、玻尔兹曼分布定律	62
二、在外场中理想气体分子数的分布	63
三、分子数按速度的分布	64

第五节 非平衡态的转运过程	66
一、扩散过程	66
二、热传导过程	67
三、粘滞性过程	67
四、生物机体内的主动转运过程	68
第六节 热力学第二定律	68
一、可逆过程和不可逆过程	69
二、热力学第二定律	70
三、热力学第二定律的统计意义	71
四、熵 熵增加原理	72
第五章 电场与电流	76
第一节 电场	76
一、电场强度与电势	76
二、电偶极子电场的电势	77
三、电力线和等势面	78
四、电场强度和电势的关系	80
五、电容 电容器	80
六、电场的能量密度	81
第二节 物质的介电性与分子电矩	83
一、分子电矩	83
二、电介质的极化	83
三、介电常数	86
四、极化弛豫和介质损耗	87
第三节 物质的导电性	88
一、电流密度	88
二、金属的导电性	90
三、电解质的导电性	90
四、半导体的导电性	92
五、气体的导电性	95
第四节 欧姆定律基本定律	96
一、电源电动势	96
二、闭合电路的欧姆定律	97
三、几种常用的直流测量电路	98
第五节 带电粒子运动过程中的电势	101
一、接触电势差	102
二、温差电动势	103
三、液差电动势	105
四、扩散电动势	106
五、流动电动势	107
第六节 电泳、电渗与电疗	107

一、电泳和电渗	107
二、直流电对机体的作用	108
三、离子透入疗法	110
第七节 心脏的几个物理问题	110
一、心肌细胞的极化向量	110
二、心电向量	111
三、心电向量环	111
四、心电图波形的形成	111
五、关于心电导联中的两个电学问题	113
第六章 磁场 磁场与电场的相互转化	115
第一节 电流的磁场	115
一、磁场强度和磁感强度	115
二、几种不同形式电流产生的磁场	116
第二节 磁场对电流的作用	118
一、磁场对直线电流的作用——安培定律	118
二、磁场对环形电流的作用——磁矩	118
三、磁场对运动电荷的作用——洛伦兹力	121
四、霍尔效应	122
五、电荷在磁场中的运动	123
第三节 磁场与电场的相互转化	124
一、法拉第电磁感应定律	124
二、互感与自感	126
三、麦克斯韦理论	127
四、磁场的能量	128
第四节 分子的磁性	128
一、磁化强度和磁化率	128
二、分子的反磁性	129
三、分子的顺磁性	131
四、磁疗法	132
第七章 电子学基础	133
第一节 R、L、C 在电路中的作用	133
一、电容器在直流电路中的充电、放电过程	133
二、R、L、C 在交流电路中的阻抗	135
三、电容在断续直流电路中的瞬时现象	139
第二节 整流	141
一、半导体二极管	141

二、整流电路	142
三、滤波电路	145
四、稳压电路	146
第三节 放大电路	148
一、晶体三极管	148
二、晶体管放大器	152
三、晶体管放大器的偏置电路	155
四、差分放大器	156
五、放大器的主要性能指标	157
六、集成电路 运算放大器	159
第四节 振荡器	161
一、LC正弦振荡器	161
二、多谐振荡器	164
三、电脉冲及其主要性能指标	166
第五节 电子示波管	167
一、示波管	167
二、锯齿波发生器	169
三、示波原理	170
四、示波器的结构及各部分作用	172
第八章 电磁辐射	175
第一节 电磁振荡和电磁波	175
一、电磁振荡	175
二、偶极子的电磁辐射	176
三、电磁波的传播速度、能流和色散	176
第二节 电磁波谱	178
第三节 电磁辐射的量子化	180
第四节 高频电疗	181
第九章 光的发射和吸收	184
第一节 热辐射	184
一、基尔霍夫辐射定律	184
二、黑体热辐射定律	185
三、热辐射的应用	187
第二节 非温度辐射	188
一、微光现象和微光分析	188
二、冷光源	190
第三节 光的吸收	191
一、选择性吸收和吸收光谱	191
二、朗伯-比尔定律	193
三、比色法原理	194
第四节 光电效应	196
第五节 可见光及其颜色 红外 线和紫外线	198

一、光的视觉和光度学概念	198
二、光的色觉 三原色和互补色	201
三、可见光 红外线和紫外线的生物 效应和治疗作用	202
第十章 波动光学	204
第一节 光的偏振 双折射 旋 光	204
一、光的偏振 起偏与检偏	204
二、双折射和二向色性	206
三、旋光性	208
第二节 光的干涉与衍射	209
一、双缝干涉	209
二、光的衍射	210
三、衍射光栅	212
第三节 X线衍射	214
第四节 微观粒子的波动性	217
第十一章 几何光学	219
第一节 单球面折射 共轴球面 系统	219
一、单球面折射	219
二、共轴球面系统	221
第二节 透镜	222
一、薄透镜	222
二、薄透镜公式	223
三、薄透镜的组合	226
四、厚透镜	227
五、元柱透镜	228
六、透镜的缺陷和补救	229
第三节 眼屈光	231
一、眼睛	231
二、眼的分辨本领和视力	233
三、眼的屈光不正及其矫正	234
第四节 放大镜 检眼镜 纤维 一、放大镜	237
二、检眼镜	238
三、纤维镜	239
第五节 显微镜 电子显微镜	240
一、显微镜	240
二、显微镜的分辨本领	241
三、电子显微镜	242
第六节 几种医用显微镜	244
一、暗视野显微镜	244

二、荧光显微镜	244
三、偏光显微镜	245
四、位相显微镜	246
第十二章 原子分子结构与光谱	247
第一节 原子结构与原子光谱	247
一、原子的核模型	247
二、氢原子光谱	249
三、原子核外电子的分布 量子数	252
四、原子光谱与谱线强度	255
第二节 分子结构与分子光谱	256
一、分子结构	256
二、分子光谱	256
三、吸收光谱及其应用	258
第三节 激光	259
一、激光的一般介绍	259
二、激光器的发射原理	260
第四节 X射线	261
一、X射线的一般性质	261
二、X射线的发生装置	261
三、X射线的强度与硬度	262
四、X射线谱	263
五、X射线的吸收	265
六、X射线的医学应用	265
第十三章 原子核物理	270
第一节 原子核结构	270
一、原子核的组成	270
二、质量亏损和结合能	271
第二节 原子核衰变	273
一、核衰变类型	273
二、 β 能谱	276
第三节 核衰变规律	276
一、放射性衰变的基本规律	276
二、放射平衡 放射系	279
第四节 原子核反应	280
一、核反应	280
二、裂变与聚变	282
三、粒子直线加速器	283
四、中子源	284
第五节 射线与物质的相互作用	285
一、带电粒子与物质的相互作用	285

二、光子与物质的相互作用	287
三、中子与物质的相互作用	289
四、放射性探测器	289
五、放射性同位素在医学上的应用	291
第六节 自旋与磁矩, 磁共振	292
一、电子和原子核的磁矩	292
二、顺磁共振和核磁共振	294
第七节 基本粒子	295
第十四章 现代医学技术简介	298
第一节 非电导电测异在医学上的应用	298
一、几种医学上常用的换能器	298
二、对换能器的基本要求	300
三、电磁式血流量计简介	301
第二节 电针仪	302
一、电针仪的电路	302
二、电针仪的临床应用	306
第三节 超声诊断仪	307
一、超声心动图	307
二、多普勒超声	311
第四节 心血管疾病用电子仪器	313
一、监护系统	313
二、心脏起搏器	315
三、心脏除颤器	319
第五节 医用激光刀	322
一、医用激光器简述	322
二、激光的生物效应及其防护	326
第六节 电子计算机在医学上的应用	328
一、电子计算机在医学上的应用	328
二、电子数字计算机简介	329
三、TQ-19型计算机的叠加作用	331
附 录	333
附表 I e^x 函数表	333
附表 II 单位符号对照表	334
附表 III 常用物理常数	335
附表 IV 数学常数和单位换算	335
附表 V 十进制词冠	336
附表 VI 希腊字母	336
附表 VII 元素周期表	337

绪 论

物理学 (physics) 是一门自然科学, 它对现代科学技术的发晨, 起着重要的作用。学习物理课程, 掌握物理学的基本知识, 有助于用辩证唯物主义观点, 培养分析问题和解决问题的能力, 为学习后继课程准备条件; 了解物理学在生产实践和医学科学中的应用和发晨情况, 以适应将来工作和继续提高的需要。

第一节 物质与运动

物理学和其他自然科学一样, 是研究自然界中物质运动的客观规律的。辩证唯物主义认为, 自然界是由运动着的物质组成的。什么是物质 (matter) 呢? **“物质是作用于我们的感官而引起感觉的东西; 物质是我们感觉到的客观实在。”**我们所感觉到的周围客观存在着的东西, 例如土地、房屋、空气、水等都是物质; 又如电、光、无线电辐射、X射线等, 也都是物质。各种物质的具体形态尽管非常不同, 但它们都是不依赖人的意识而客观存在的, 并且能为人们所认识的。

物质和运动 (motion) 是不可分的。**“整个自然界, 从最小的东西到最大的东西, 从沙粒到太阳, 从原生生物到人, 都处于永恒的产生和消灭中, 处于不断的流动中, 处于无休止的运动和变化中。”**新陈代谢, 吐故纳新, 表明有机体内物质世界的运动; 冰融成水, 水结成冰, 水化成汽, 汽凝成水等, 表明无机体内的物质世界的运动。辩证唯物主义认为, 运动是物质存在的方式, 是物质的固有属性, 物质和运动是不可分离的。没有不运动的物质, 也没有非物质的运动。科学研究上的所谓“静止”, 如静力学、静电学, 都是相对于一定参照系来说的。运动是绝对的, 静止是相对的。

物质的运动形式是多种多样的。就生命有机体来说, 心脏跳动, 血液流动, 血管搏动等, 这主要表现为机械运动; 机体对物质的消化、吸收、合成以及对能量的吸收、传递、转换和利用等, 这里包括着物理运动和化学运动过程; 此外, 还存在着生物有机体所特有的生命活动。人的认识物质, 就是认识物质的运动形式。物理运动从总的方面来划分, 可分成**实物**和**场**两种基本形态。实物包括分子、原子、电子、中子和质子等; 场包括引力场、电磁场、介子场等。实际上, 实物和场这两种基本形态是不可分割地联系在一起。例如, 两个物体之间存在万有引力场; 两个带电粒子之间存在电磁场; 两个核子之间存在介子场等, 实物之间的相互作用是通过场来传递的。

物质的各种运动形式间有着密切的联系, 而又在本质上相互区别, 在一定条件下会相互转化。例如热与分子的无规则运动相联系, 磁与分子中电子的旋转和自旋相联系, 光与分子原子的电磁运动相联系; 又如热运动可以转化为机械运动 (热机), 机械运动也可以转化为热运动 (摩擦生热), 电磁运动可以转化为机械运动 (电动机), 机械运动也可以转化为电磁运动 (发电机) 等。

高级运动形式与低级运动形式间也是相互联系、相互渗透, 在一定条件下相互转化的。**“有机生命不能没有机械的、分子的、化学的、热的、电的等等变化……, 但是, 这些次要形式的存在并不能把每一次的主要形式的本质包括无遗”**。恩格斯在这里明确指

出了高级运动形式与低级运动形式的辩证关系。高级运动形式包括低级运动形式，但是低级运动形式不能把高级运动的本质包括无遗。不承认这种“包括”，忽视高级运动形式与低级运动形式间的统一性，不具体分析高级运动形态中的低级运动过程，就会陷入“不可知论”；不承认这种“不能包括无遗”，不顾高级运动形态的特有本质，把高级运动完全归结为低级运动形式的总和，就会陷入“机械唯物论”。

物质的运动是不能被创造或消失的，它只能从一种形式转化为另一种形式。物质运动由一种形式转化为另一种形式时，不但在数量上有确定的关系，而且相互转化的能力也永远不会丧失，这是辩证唯物主义和自然科学的基本原理之一。

第二节 物理学研究的对象、内容和方法

各门科学都是以各种不同的物质运动形式作为自己的研究对象。物理学是研究物质运动的最基本、最一般的规律以及这些规律在实践中的应用。机械运动、分子运动、电磁运动以及原子运动等就是物理学所要研究的内容；物理学研究它们的特殊矛盾和本质，以及它们之间的联系和形响，找出这些运动形式的各自和共同的规律。

因为物理学研究的是物质运动的最基本最一般的运动规律，所以它存在于一切高级的复杂的（如生物的）运动之中。例如物理学中的万有引力定律和能身转换与守恒定律，存在于自然界一切过程之中，不论它们是简单的或复杂的，有生命的或无生命的。但是，物理学所研究的运动形式决不能完全包括高级和复杂的运动形式。因此，不能单纯用物理的规律去说明生命现象。

物理学的研究方法是发现许多客观规律的钥匙，它引导人类不断地去揭露自然界的奥秘，使人类对自然界认识日益深刻，日趋完善。因此，学习和掌握物理学的现代研究方法这个手段是十分重要的。

物理学的研究方法必须以辩证唯物主义为指导，它包括观察、实验、假说和理论等组成平分。

观察（observation）就是在自然条件下观察所要研究的对象。对于那些我们一时还不能控制的自然界过程，观察是主要的资料来沅。观察仅仅是一种初步的研究。

实验（experiment）就是在人为的条件下使现象反复重沅从而研究现象中各种因素间的因果关系。在实验时必须用人为的方法，尽可能地把影响现象的主要因素分开，使问题简化，这样才能找到最本质的东西。

在观察和实验所获得的大量资料的基础上，第二步工作就是经过分析、概括、判断和推理等一系列过程，把事物的本质和内在联系抽象到更一般的形式，于是产生了假说。由假说再经过反复考验，被证明可以足够正确地反映某些客观规律时，于是导致定律和理论的立沅。可见，物理定律和理论不是人们硬沅在自然现象身上的主观思想，而是自然现象本身所共有的客观规律性在人们头脑中的反映。

第三节 物理学与医学的关系

随着人类对生命现象认识的逐渐深入，生物科学已经从宏观形态的研究进入微观机制的探讨。目前生物学已经到达分子领域。各门医学科学都愈来愈多地把它们的理论立沅在精确的物理科学基础之上。如果说，过去基础医学和临床医学的研究主要还是处于

宏观、即分子水平以上的（如机体，器官，组织，细胞等）现象的一般规律性的描述阶段，那么由于近代物理学、生物物理学、医学生物物理以及医学生物化学的应用，已使基础医学和临床医学由显微（即光学显微镜下观察）的细胞水平进到超显微层次的分水平。这样一来，必将更深入地触及到生命现象的微观本质，如疾病发生的微观机理、有机体内的控制和调节、新陈代谢的微观过程，以及遗传与变异等的微观基础，从而在寻找防治治疗的根本途径中起到应有的作用。这是现代医学科学发巳的必然。目前大量资料表明，物理学在医学方面的应用越来越深入，两者的关系越来越密切，随着医学科学的发巳，物理学必将发挥重大的作用，这一点已经逐渐地为人们所理解和重视。

概括起来，近代物理学与医学的关系有两个方面：

1. 物理学知识是探讨有机体内物理运动状态、性质和过程方面的基础。例如，有关机体内物质和能量的来沉、吸收、转运和利用；有关生物组织和生物分子的电性、磁性和光学性质；有关生物高分子的结构功能与疾病发生发巳机理的探讨；有关生物分子激发态与疾病和药物作用的关系；有关肌肉收缩、兴奋传导、神经传导、听觉与视觉的物理过程；有关人体生理和病理过程中的控制、反馈和调节过程；有关电磁、光、X射线、 γ 射线、 α 射线、 β 射线、中子射线以及超声波等物理因素对机体作用，如此等等。

2. 物理学方法是基础医学研究、诊断治疗和医学发巳的有力工具。例如，光学显微镜、X射线透视照相、心电图、脑电、肌电、超声和各种电疗磁疗机对基础医学和临床诊断治疗的贡献是人们早已熟知的了。此外，还有电子显微镜和X射线结构分析技术，红外、紫外光谱技术，射线和同位素的应用，激光应用，纤维导光导象内窥技术，以及电子计称机、顺磁共振的应用等等。其中，电子显微镜的应用使人们可以直接看到病毒，是研究组织细胞内超微结构的有力工具；利用X射线衍射和红外光谱技术研究蛋白的空间构型已经取得了很大的成就；射线和同位素广泛应用于诊断疾病、治疗肿瘤以及正常生理和病理机理的研究上；正常细胞在癌变过程中有电性和磁性的改变，用顺磁共振法研究有机体内自由基的浓度，可以获得很灵敏的测定结果，为癌的早期诊断和治疗开辟了新的途径；电子计称机对医疗技术现代化的重要意义越来越明显，应用电子计称机和生物控制论研究人体生理和病理过程中各种控制调节系统，从而用新的观点研究疾病的发生和发巳的机理，改进诊断治疗措施，并且在研究祖国医学经络等基本理论方面也将发挥积极作用。

学习医用物理学课程既要看到学习本专业后续课的需要，又要考虑到将来从事医疗卫生和科学研究工作的需要，努力扩大知识领域，尽可能为探讨有机体内物理运动规律，了解现代医用物理技术原理，打下广泛的必要的物理基础。

（中国医科大学 霍纪文）

第一章 机械运动的基本规律

在物质的各种各样、千变万化的运动中,有一类是我们在生产和生活中经常遇到的,即物体位置的变动(包括物体各部分相对位置的变动),例如各种交通工具的运行、各种机口的运转、大气和河水的流动、天体的运行等等。这类运动形态称为**机械运动**。机械运动是物质的各种运动形态中最简单的一种。

平动、转动、振动是机械运动的三种基本形式,分子、原子、原子核等微观粒子都存在这三种基本运动形式。但在本章中仅研究宏观物体在常速条件下的机械运动的基本规律,而对微观粒子在接近光速条件下的运动规律,将在后面介绍。

第一节 基本定律

物体作平动时,物体上各点的运动都是相同的。因此在研究物体平动时,就可以用质点(particle)来代表物体,质点的质量与作平动物体的质量相等,而与其形状和大小无关。

一、牛 顿 定 律

牛顿三定律是经过长期的发见,在广泛的实践基础上建立起来的。牛顿定律(Newton's laws)不仅是质点运动的定律,而且也是研究一般物体机械运动的基础。

1. **牛顿第一定律** 任何物体都保持静止的或匀速直线运动的状态,直到其他物体的作用迫使它改变这种状态为止。

定律里包含着两个重要的概念:如果没有其他物体的作用,则所讨论的物体将保持其运动状态不变,这种性质称为物体的**惯性**;另一方面要改变物体的运动状态,一定要有其他物体对它作用,这种作用称为**力**(force)。这样就指明了改变物体运动状态的成因,和其他物体对它的作用所产生的结果。

2. **牛顿第二定律** 牛顿第二定律在第一定律的基础上,进一步阐明了在物体相互作用下物体机械运动状态变化的具体规律。确定了力、质量(mass)和加速度(acceleration)之间的关系,力和加速度都是矢量。

牛顿第二定律的表述如下:在受到外力作用时,物体所获得的加速度 a 的大小与合外力 F 的大小成正比,并与物体的质量 m 成反比,加速度的方向与合外力的方向相同。即

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

式(1-1)就是表示第二定律的数学公式,称为质点动力学的基本方程。因为根据已知外力,就可以从(1-1)式求出受力物体的位置和时间以及速度和时间等关系,所以(1-1)式亦称为运动方程。

在厘米克秒制中,加速度的单位是厘米/秒²,质量的单位是克,力的单位是达因。在米公斤秒制中,加速度的单位是米/秒²,质量的单位是公斤,力的单位是牛顿。1牛顿 = 10⁵达因。

3. **牛顿第三定律** 第三定律着重说明的是，引起物体机械运动状态变化的力含有相互作用的性质，并且指出了相互作用力之间的定量关系。第二定律的表述如下：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' 在一条直线上，大小相等而方向相反，如图1-1所示。

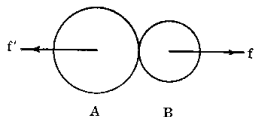


图1-1 作用力和反作用力

对于这样一对相互依存的力 f 和 f' ，我们常常称其中一个为作用力，另一个为反作用力。这样，第三定律也可表述为：作用力和反作用力大小相等、方向相反。

4. **动量** 在牛顿定律建立之前，力学已经有了一定的发展。为了另度物体作机械运动的“运动量”，人们引入了动量的概念。当时很多人从事于碰撞和打击问题的研究，在这过程中，人们认识到物体的质量和速度愈大，其“运动量”就愈大。同时人们还发现，物体的质量和速度（velocity）的乘积 mv ，遵从一系列确定的规律。在这些实验基础上，人们就引用物体的质量 m 和速度 v 的乘积，来另度物体的“运动量”，并称它为动量（momentum）。通常用 P 表示动量，即

$$P = mv \quad (1-2)$$

动量是矢量，它的方向和速度的方向相同。在厘米克秒制中动量的单位是克·厘米/秒。

5. **惯性系** 我们知道，要描写物体的运动，必须有参照系。在应用牛顿运动定律时，参照系不能任意选择，就是说，牛顿运动定律并不是在任何参照系中都能适用的。例如，当火车以加速度 a 运动时，有一静止在火车上的物体，对火车来说，它的加速度为零，但对地球来说，它的加速度是 a ，因此，如果牛顿定律以地球为参照系能够适用，则表示物体受到外力 $f = ma$ 的作用；假如，牛顿定律以火车为参照系时也能适用，则表示物体并不受外力作用，即 $f = 0$ 。显然，上述相互矛盾的结果不能同时成立，所以牛顿定律不能在这两个参照系中同时适用。

适用牛顿定律的参照系称为惯性系。要决定一个参照系是不是惯性系只能依凭观察和实验。凡是对惯性系作匀速直线运动的参照系也是**惯性系**；而对惯性系作变速运动的参照系，则不是惯性系，称为**非惯性系**。

地球或固定在地面上各处的物体都可以近似地看作惯性系。同样，在地面上作匀速直线运动的物体也可近似地看作惯性系。

二、功 与 能

1. **功和功率** 随着生产的发展，机田作功逐步地代替了人的手工劳动。机田生产所以能使社会生产力有巨大的提高，首先是由于机田具有更为强大的作功能力。功（work）的概念正是对这种作功能力的大小，或作功多少的具体另度。考变各种机械和机田的运动，就会发现，在它们的工作过程中，重要的共同特征是在存在着一定的力，以及在力的作用下所发生的位移，物理学中的功的概念反映了这一特性。功的定义是：**功等于沿位移方向作用于物体的力与力的作用点的位移的乘积。**功是标量。

最简单的情形是，在恒力作用下物体作直线运动如图1-2。根据上述定义，恒力 f

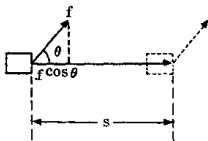


图 1-2 恒力的功

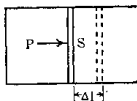


图 1-3 气体膨胀所作之功

在任意一段位移 S 上对物体所作的功 A 是

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

式中 θ 表示力和位移之间的夹角。

由 (1-3) 式可见, 功的数值不仅与力和位移的大小有关, 而且还要决定于力与位移之间的夹角。

(1) 若 $\theta < \frac{\pi}{2}$, 则 $\cos\theta > 0$, 因而 $A > 0$ 。这说明, 若力沿位移方向的分量与位移同向, 则力作正功。例如, 当物体下落时, 重力作正功。

(2) 若 $\theta > \frac{\pi}{2}$, 则 $\cos\theta < 0$, 因而 $A < 0$ 。这说明, 若力沿位移方向的分量与位移反向, 则力作负功。例如, 当物体上抛时, 重力作负功。当一力对物体作负功时, 通常地说物体克服该力作功。

(3) 若 $\theta = \frac{\pi}{2}$, 则 $\cos\theta = 0$, 因而 $A = 0$ 。这说明, 若力与位移垂直, 则力不作功。例如, 当物体作圆周运动时, 向心力不作功, 向心力的作用是改变物体的运动方向。

在厘米克秒制中功的单位是尔格; 在米公斤秒制中功的单位是焦耳。1 焦耳 = 10^7 尔格。

〔例题〕 气体膨胀的功 设有一气缸, 其中气体的压强为 P , 活塞的截面积是 S , 见图 1-3。当活塞移动一微小距离 Δl 时, 气体作的功为

$$A = pS \cdot \Delta l = p \cdot \Delta V$$

式中 ΔV 为气体体积的改变。如果 ΔV 是正的, 即气体膨胀, 则 A 也是正的, 即气体对外作功; 如果 ΔV 是负的, 即气体受到压缩, 则 A 也是负的, 即外力对气体作功。

在功的概念中, 没有考虑时间的因素。但在实际工作中, 时间因素非常重要。我们说单位时间内所完成的功称为功率 N 。即

$$N = \frac{A}{t} \quad (1-4)$$

功率的单位, 在厘米克秒制中, 是尔格/秒; 在米公斤秒制中, 是焦耳/秒, 称为瓦特 (watt)。

2. 动能 质量为 m 的物体, 以速度 v 运动, 它是处于一定的运动状态。如果它受到反向的合外力作用, 那么它就要抵抗这个合外力而作功, 同时它的速度将逐渐减小, 运动状态不断变化, 最后完全静止。这说明在一定运动状态下的物体, 在它完全停止之

前，可以作一定量的功，也就是以速度 v 运动的物体具有一定的作功本领。这一作功的本领可以作为该运动状态的一种量度，称为运动物体在**该运动状态时的动能** (kinetic energy)。在这种意义之下，静止的物体的动能为零。动能也是标量，它和功具有同样的单位。

质量为 m ，以速度 v 运动的物体的动能表达式为

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 \quad (1-5)$$

3. **势能** 地球上的物体，由高处落下时，重力能够对外界作功。发生弹性形变的物体在恢复原来形状的过程中，弹性力能作功。我们把由于两个相互作用的物体之间的相对位置所决定的能量以及由一个物体内各部分（例如弹簧内各部分）的相对位置所决定的能量称为**势能** (potential energy)。势能也是标量，它与功具有相同的单位。

质量为 m 的物体，在高于地高 h 处的重力势能的表达式为

$$E_p = mgh \quad (1-6)$$

式中 g 为重力加速度。

因为高度 h 并没有绝对标准，所以重力势能只有相对的意义。但是，如果我们选定一个位置，认为在这个位置时的势能为零，那么在其它位置的势能就有一定数值了。例如，如果选定物体在地面处的势能是零（即高度 h 为零），那么其它高度就有一定的数值。就在这种意义上，我们说，物体在一定的位罝，具有一定数值的重力势能。

在物理学的其它部分，我们还要谈到各种势能，例如，分子间的势能、电势能、原子核能等。

三、机械能守恒定律

动能和势能统称为机械能。

动能和势能可以互相转化。例如，举高的重锤具有重力势能。重锤自由落下时，高度逐渐减小，因而重力势能逐渐减小，与此同时，锤的速度逐渐增大，因而动能逐渐增大。在此过程中，重力势能逐渐转化为动能。反之，以某一初速度向上抛起物体，物体的动能将逐渐转化为重力势能。

具体计算可以证明，如果外力和系统内部的摩擦力都不作功，则在一物体系内，动能和势能可以相互传递、转换，但它们的总和却保持恒定。这个结论称为机械能守恒和转换定律或简称**机械能守恒定律**。

摩擦阻力一般都作负功，它使物体系的机械能减少；当外力作正功时，机械能将增加。但事实表明，在机械能减少的同时，必有其它形式的能量增加；当机械能增加的同时，必有其它形式的能量减少。例如，因克服摩擦力作功而机械能减少时，必有热产生等等。而且事实证明，物体系的机械能和其它形式的能量的总和仍然是一恒量。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。

能量守恒和转换定律是概括了无数经验事实建立的。它是物理学中具有最大普遍性的定律之一，也是整个自然界都遵从的普遍规律。

能另概念的精确化是与能另守恒和转换定律的建立密切联系的。各种不同形式的能另反映了自然界中各种不同质的运动形态。能另的概念反映了物质客体的运动和它们之间的相互转换能力，能另是物质运动的另度。

能另守恒和转换定律也使我们能更深刻地理解功的意义。根据能另守恒和转换定律，一物体系的能另变化时，必然有另一些物体的能另同时变化。所以通过作功的方式使一物体系的能另发生变化，实质上是使这一物体系和其它物体之间发生能另的交换，而所交换的能另在数量上就等于功。因此，**作功是能另传递和转换的一种方式，功就是被传递和转换的能另的另度。**正如恩格斯说：“**功是从另方百去看的运动形式的变化。**”

能另所反映的是物体系在一定状态下所具有的特性，物体系在一定状态下（如一定的速度和一定的相对位置），就具有一定的能另，所以说能另是物体系的**状态函数**。功总是与能另的传递和转换的过程相联系的，只有当物体系的状态变化时，才谈得到作功的问题，所以，我们不能把功和能看成是等同的。

四、经典力学的适用范围

牛顿力学或经典力学二百多年来不断地发着，并且日趋完善。人们根据经典力学的原理，还发出了应用力学、天体力学等，利用它解决了许多技术问题。这就使得人们以往确信牛顿力学是绝对正确的。

但是，在上一世纪末，物理学家发现经典力学的适用范围是有限制的。

牛顿力学所研究的问题中，运动的速度比起光速要小得多。然而当我们观察速度很大的物体运动时（例如水星的运动、快速电子的运动等），得出的结果就和经典力学所给出的结论有明显的差异。现在知道，经典力学只适用于比光速低得多的物体运动。能够准确说明高速的物体运动的是爱因斯坦提出的**相对论力学**。在这里我们不可能详细地介绍它的内容，但可以指出它的两个有用的结论。

根据相对论，物体的质另不是一成不变，而是与物体的速度有关的。如果物体在相对于某一参照系为静止时的质另等于 m_0 （称它为静止质另），则当物体以速度 v 运动时的质另应为

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (1-7)$$

式中的 c 是光在真空中的速度，约为 3×10^{10} 厘米/秒。因此，当物体的速度比光速小得多时， m 与 m_0 相差很小。例如物体以每秒 30 公里的速率运动时（这个速率是发射到太阳系的宇宙火箭速度的两倍多）， $m = 1.000000005 m_0$ 。这样小的质另差异事实上不能觉察。但是如果物体的速率达 270000 公里/秒（例如阴极射线中的电子）时，则 $m \approx 2.3 m_0$ ，这个质另变化就很大了。图 1-4 的曲线表示 $\frac{m}{m_0}$ 与 $\frac{v}{c}$ 的关系，可见当 $\frac{v}{c}$ 接近 1 时， $\frac{m}{m_0}$ 的值增加很快。根据相对论来讨论，物体的运动 and 实际情形是符合的。

运动速度很小时，从相对论所得出的关系式都可以化成经典力学中的公式，因此平常我们用经典力学来讨论速度不大的物体的运动时，也是正确的；可以说，经典力学是相对论的特殊情形。

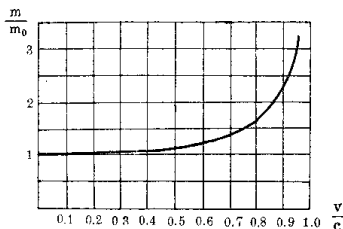


图 1-4 物体运动速度与质量的关系

相对论的另一个重要结论是关于质能与能量的相互关系。这一结论指出：任何物质的质能都与一定的能量相联系；反过来，任何能量也和一定的质能相联系。二者间的联系可以用公式表示如下：

$$E = mc^2 \quad \text{或} \quad m = \frac{E}{c^2} \quad (1-8)$$

式中的 E 是以尔格表示的能量， m 是以克表示的质能， c 是光速。根据这一公式，与 1 克质能相联系的能量为 $E = 1 \times (3 \times 10^{10})^2$ 尔格 $= 9 \times 10^{20}$ 焦耳 $= 2.15 \times 10^{10}$ 千卡，相当于燃烧 2700 吨优质燃料所得的热量。

因为一定的能量与一定的质能相联系，所以当物体的能量增加时（如物体速度、温度等的增加），它的质能也要作相应的增加。或者反过来，当物体的质能有变化时，它的能量也一定发生变化。能量变化 ΔE 与质能变化 Δm 的关系服从式 (1-9)

$$\Delta E = c^2 \cdot \Delta m \quad (1-9)$$

在一般过程中，由于能量变化所引起的质能变化极其微小，因此通常都可以忽略不计。但是在原子核过程中，质能联系的公式十分重要，这在第十三章中将会讨论。

另外，经典力学所研究的对象是由大量分子组成的所谓宏观物体，例如石块、火车、地球等。对于单个的微观粒子，例如电子，我们就不能用经典力学精确地解决它的运动问题了。有关微观粒子的运动要用量子力学来正确描述。

由此可见，经典力学有一定的适用范围。对于宏观的、速度远小于光速的物体，经典力学能够比较正确地描述它们的运动规律。

第二节 转动

如果物体运动时，其上各点都绕同一直线作圆周运动，这种运动称为转动 (rotation)，直线称为转轴 (axis)。例如，机架上飞轮的运动，轮船或飞机的推进机相对于船身和机身的运动等等，都是转动。将物体分成若干小单元，当每一单元的大小和它的转轴的距离相比为很小时，可以当作质点看待，结果整个物体可以看成是一个质点组。每一个质点的运动，可以用牛顿运动定律加以研究，于是找到了在质点力学基础上研究物体