

高等医药院校教材

供基础、预防、临床、口腔医学类专业用

医用物理学

第三版

邝华俊 主编

人民卫生出版社

A decorative graphic consisting of numerous vertical stripes of varying widths and shades of yellow and gold, creating a textured, shimmering effect that occupies the lower half of the book cover.

R312
2=4

高等医药院校教材
(供基础、预防、临床、口腔医学类专业用)

医用物理学

第三版

主 编

邝 华 俊

编 者

邝华俊 刘 骥

吕景新 胡纪湘 姚忠权

1977年7月

人 民 卫 生 出 版 社

B 591391



第三版前言

这是一本为医学生写的物理学教材，它的任务是为医学生提供系统的物理知识，为他们以后的学习和实践打好基础。针对读者对象的特点，本书在内容的选择和处理方式上和其他（如理工学院的）物理教材有所不同。例如在本书中写进了有关几何光学、粘滞液体的流动、声学等方面的内容，这在一般普通物理学教材中很少列入。此外，在书中也放入了一些生物和医学方面的例子，一方面以提高学生学习物理学的兴趣，另一方面也为了说明物理原理的应用，加强学生对理论的了解。

在教学时数以及其他条件的制约下，教材内容的广度和深度都要受到一定的限制。对学有余力的学生，我们建议教师为他们介绍一些课外参考读物，这对培养他们的自学能力、开阔视野都有好处。我们在书末列举了一些参考书目，供选择使用。

参加本版修订工作的有：江西医学院吕景新（第一至三章），湖南医科大学胡纪湘（第五、六章），山西医学院姚忠权（第七至十章），兰州医学院邝华俊（绪论、第四、十一至十三章），哈尔滨医科大学刘骥（第十四至十六章）。最后由邝华俊统一整理。

本书第二版出版后，我们先后收到许多同行的来信，告诉我们使用该书的经验，指出书中存在的缺点和不足之处，并提出许多有益的建议。这是对我们的鼓励。在这次修订工作中，我们充分考虑了这些同志的意见。借此机会，向他们以及所有关心和协助过这一工作的同志们表示感谢。

《医用物理学》第三版编写小组

1988.3.31

目 录

绪论	1
§ 0-1 物理学研究对象	1
§ 0-2 物理学与生命科学的关系	1
第一章 力学基本知识	3
§ 1-1 质点运动学	3
参照系 坐标系 位移 速度 加速度 匀速圆周运动的加速度	
§ 1-2 质点动力学基本定律	7
牛顿运动定律 惯性系 惯性力 离心分离器	
§ 1-3 功和能	11
功 能 机械能守恒定律	
§ 1-4 冲量和动量	14
动量定理 动量守恒定律	
§ 1-5 刚体的转动	16
转动的运动学 转动的动能 转动惯量 转动定律 角动量 进动	
§ 1-6 经典力学的适用范围	21
第二章 物体的弹性	25
§ 2-1 应变和应力	25
应变 应力	
§ 2-2 弹性模量	27
弹性 范性 弹性模量	
§ 2-3 弯曲和扭转	30
弯曲 扭转	
§ 2-4 弹性势能	31
§ 2-5 拉普拉斯公式	33
§ 2-6 肌肉和骨骼的弹性、粘弹性	34
第三章 流体的运动	38
§ 3-1 理想流体 稳定流动	38
理想流体 稳定流动 连续性方程	
§ 3-2 柏努利方程	40
§ 3-3 柏努利方程的应用	42
压强和流速的关系 压强与高度的关系	
§ 3-4 粘性流体的流动	44
片流 粘滞系数 雷诺	
§ 3-5 泊肃叶定律 斯托克斯定律	46
泊肃叶定律 斯托克斯定律	
§ 3-6 血液的流动	49

第四章 振动、波动和声	53
§ 4-1 简谐运动	53
谐振动方程 谐振动的速度和加速度 谐振动的能量	
§ 4-2 阻尼振动、受迫振动与共振	57
阻尼振动 受迫振动与共振	
§ 4-3 谐振动的合成	59
两个同方向、同频率谐振动的合成 同方向不同频率谐振动的合成 傅里叶分析	
两个同频率、同振幅、互相垂直的谐振动的合成	
§ 4-4 波的产生	63
波的产生 波阵面和波线	
§ 4-5 简谐波的波动方程	64
§ 4-6 波的能量	67
波的强度 波的衰减	
§ 4-7 惠更斯原理	69
惠更斯原理 波的衍射 波的折射	
§ 4-8 波的干涉	71
§ 4-9 驻波	73
§ 4-10 声波	75
声波的物理性质 声压和声强 声强级与响度级	
§ 4-11 多普勒效应	79
§ 4-12 超声波及其医疗应用	80
超声波的性质 超声波的产生和探测 超声扫描仪 多普勒超声流量计 超声的其它 医疗应用	
第五章 分子物理学	85
§ 5-1 分子运动论的基本概念	85
§ 5-2 理想气体状态方程、压强公式和能量公式	86
理想气体状态方程 理想气体的微观模型 理想气体的压强公式 理想气体的能量公 式 理想气体定律的推导	
§ 5-3 气体分子的速率分布和能级分布	91
麦克斯韦气体分子速率分布定律 玻尔兹曼能级分布定律	
§ 5-4 液体的蒸发和凝固 液晶	95
液体的蒸发和凝固 液晶	
§ 5-5 液体的表面现象	97
表面能 表面张力 球形液面的附加压强 接触角 毛细现象 气体栓塞 表面活性 物质 吸附	
§ 5-6 扩散、渗透和转运过程	104
扩散 渗透输运——渗透 气体的转运和交换	
第六章 热力学基础	108
§ 6-1 热力学的一些基本概念	108
热力学系统 热量和功	

§ 6-2 热力学第一定律	109
准静态过程 热力学第一定律	
§ 6-3 热力学第一定律的应用	110
等容过程 等压过程 等温过程 绝热过程 人体的能量交换	
§ 6-4 热力学第二定律	116
热力学第二定律 热力学第二定律的统计意义	
§ 6-5 熵 熵增原理	118
可逆过程与不可逆过程 熵 熵增原理 热力学第二定律和生命系统	
第七章 静电场	123
§ 7-1 电荷与电场	123
电荷 库仑定律 叠加原理 电场与电场强度 点电荷的场强 点电荷系的场强 电力线, 电通量	
§ 7-2 高斯定理	127
高斯定理 高斯定理的应用	
§ 7-3 电场力作功 电势	130
电场力作功 电荷在静电场中的电势能 电势 点电荷电场的电势 等势面和电势梯度	
§ 7-4 电偶极子	134
电偶极子 电场中的电偶极子 电偶层	
§ 7-5 静电场中的电介质	138
§ 7-6 电容器、静电场的能量	141
电容器 静电场的能量	
§ 7-7 心电图波形的形成	143
第八章 直流电	147
§ 8-1 电流	147
电流 电流密度 电解质导电	
§ 8-2 电阻	149
§ 8-3 电动势	150
§ 8-4 生物膜电位	151
能斯特方程 静息电位 动作电位	
§ 8-5 含源电路的欧姆定律	154
全电路的欧姆定律 一段含源电路的欧姆定律	
§ 8-6 基尔霍夫定律	159
基尔霍夫第一定律 基尔霍夫第二定律	
§ 8-7 电容器的充放电过程	158
充电过程 放电过程	
§ 8-8 电泳	162
第九章 电磁现象	165
§ 9-1 磁感应强度	165
§ 9-2 磁场对运动电荷和电流的作用	169
运动电荷在磁场中受到的力 霍尔效应 电流流速计 电磁泵 磁场对载流导线的作用	

用 磁场对平面载流线圈的作用	
§ 9-3 电流产生的磁场	171
比奥-萨伐尔定律 长直载流导线的磁场 圆形载流导线的磁场 直螺线管的磁场	
§ 9-4 磁介质	175
分子电流 介质中的磁场 各类磁介质	
§ 9-5 电磁感应	178
磁通量 电磁感应 自感	
§ 9-6 RL电路的暂态过程、磁场的能量	180
RL电路的暂态过程 磁场的能量	
§ 9-7 交流电	182
正弦式交流电 交流电路 R、C、L串联电路 RC串联电路	
§ 9-8 电磁振荡与电磁波	188
振荡电场 位移电流 电磁波谱 无线电波和微波的医疗应用	
§ 9-9 生物磁现象	193
第十章 生物信号的电子检测、放大和显示	196
§ 10-1 生物信号与检测系统	196
生物信号 检测系统的组成	
§ 10-2 传感元件	197
电压 转换器	
§ 10-3 信号放大器	202
晶体管放大器原理 放大器的输入电阻和输出电阻 放大器的频率响应	
§ 10-4 信号的显示	204
描记仪器 示波器	
§ 10-5 安全用电	205
第十一章 光的波动性	208
§ 11-1 光的干涉	208
杨氏双缝实验 光程 薄膜干涉	
§ 11-2 光的衍射	212
单缝衍射 圆孔衍射 衍射光栅	
§ 11-3 光的偏振	216
自然光与偏振光 起偏器和检偏器	
§ 11-4 双折射现象	218
双折射 二向色性 圆偏振	
§ 11-5 其他产生偏振光的方法	220
反射产生偏振 散射产生偏振	
§ 11-6 旋光性	222
第十二章 几何光学	224
§ 12-1 球面折射	224
单球面折射 共轴球面系统	
§ 12-2 薄透镜	226

薄透镜公式 薄透镜的组合 透镜的象差	
§ 12-3 共轴球面系统的三对基点	231
§ 12-4 眼睛	232
眼的结构 眼的光学性质	
§ 12-5 非对称折射系统	235
§ 12-6 放大镜 角放大率	236
§ 12-7 显微镜	237
显微镜的光学原理 显微镜的分辨本领 相衬显微镜	
§ 12-8 检眼镜 纤镜	240
检眼镜 纤镜	
第十三章 光的辐射和光的量子性	243
§ 13-1 热辐射	243
基尔霍夫辐射定律 黑体辐射定律	
§ 13-2 非温度辐射	245
荧光与磷光 荧光灯	
§ 13-3 红外线和紫外线	246
红外线和紫外线 热象图	
§ 13-4 光度学基本知识	248
光光度函数 光通量 发光强度和照度	
§ 13-5 光的量子性	250
普朗克的量子假说 光子 康普顿散射	
§ 13-6 微观粒子的波动性	253
德布罗意波 电子显微镜	
第十四章 原子、分子和光谱	257
§ 14-1 类氢原子的玻尔理论	257
§ 14-2 量子力学的基本概念	260
电子波 测不准关系 薛定谔方程 动量和能量的量子化	
§ 14-3 类氢原子的能级	265
§ 14-4 多电子原子	269
保利不相容原理	
§ 14-5 原子光谱	271
§ 14-6 分子光谱	272
分子光谱 红外吸收光谱的应用	
§ 14-7 激光	274
激光产生原理 红宝石激光器 激光的特点 激光的医学应用	
§ 14-8 拉曼散射光谱	277
第十五章 X射线	279
§ 15-1 X射线的发现及其基本性质	279
§ 15-2 X射线发生装置	280
§ 15-3 X射线的强度与硬度	282

§ 15-4 X射线谱	282
连续X射线谱 标识X射线谱	
§ 15-5 X射线的衍射	285
X射线的衍射 X射线结构分析	
§ 15-6 X射线和 γ 射线的吸收规律	287
§ 15-7 X射线和 γ 射线与物质的相互作用	289
光电效应 经典散射和康普顿散射 电子对的生成 次级光子和粒子射线	
§ 15-8 X射线的医疗应用	291
放射治疗 透视和照相 X射线断层照相术 电子计算机断层技术	
第十六章 原子核和放射性	295
§ 16-1 原子核的结构	295
原子核的组成 核力、结合能和质量亏损 原子核的稳定性	
§ 16-2 核衰变的类型	299
γ 衰变和内转换 α 衰变 β 衰变 电子俘获 β^+ 衰变	
§ 16-3 核衰变的规律	303
衰变定律 半衰期 统计涨落 放射性活度	
§ 16-4 放射系和放射平衡	306
放射系 放射平衡	
§ 16-5 带电粒子与物质的相互作用	307
基本作用过程 射程和吸收规律	
§ 16-6 中子	309
§ 16-7 辐射剂量	310
照射量 吸收剂量 辐射品质因数剂量当量	
§ 16-8 射线的探测方法	313
电离室型探测仪器 盖革计数管 闪烁计数器 热释光剂量计	
§ 16-9 放射性核素在医学上的应用	315
§ 16-10 基本粒子	316
描述基本粒子的物理量和守恒定律 基本粒子的相互作用 基本粒子及其相互转变	
附录	319
附录一 国际单位制	319
附录二 基本物理常数	322
附录三 e^{-x} 函数表	323
参考书目	324
习题答案	325

绪 论

医学生为什么要学习物理学？这是我们在开始学习这门课程以前应该明确的一个问题。要回答这个问题，首先得弄清楚物理学这门学科是研究什么的，它和生命科学有什么关系。

§ 0-1 物理学的研究对象

物理学是研究物质运动的普遍性质和基本规律的科学。

物质存在的最基本性质就是运动。这里所指的运动是广义的，它包括各种机械运动、变化、生长、相互作用和相互联系等过程。各种自然现象，如天体运动、化学变化、动植物的生长和生殖过程等都是不同形态的物质运动的表现。最简单的物质运动形态是机械运动，即物体在空间中的相对位移。稍为复杂一点的运动形态有各种物理的和化学的现象，而生命现象则是更加复杂、更加高级的物质运动形态。

各种自然科学以不同的物质运动形态作为研究对象。在所有自然科学中，物理学所研究的物质运动形态具有最基本和最普遍的性质。具体地说，物理学研究的就是：力学现象、与实物的结构和状态有关的现象、各种场的性质、场和实物的相互作用等等。按现象和过程来区分，物理学可以分为力学、声学、热学、电磁学、光学、原子过程和原子核过程的理论等部分。由于各种物质运动形态都是互相联系、不能彼此分割的，因此物理学的各个部分之间的界线是不可能划得十分清楚的。

物理学所研究的规律在自然界中具有最基本、最普遍的意义。这是因为物理现象存在于一切自然现象之中，和一切自然现象都有着不可分割的关系。例如，在任何化学过程中都包含有电子和分子运动、热和电的现象；人体中的神经活动包含着一系列的电变化的过程等等。一切自然现象，包括有生命的与无生命的在内，都毫无例外地受到热力学定律、万有引力定律以及其他物理定律的约束。物理现象的普遍性使得物理学基本知识成为研究任何科学技术所不可缺少的基础。

§ 0-2 物理学与生命科学的关系

有一种相当普遍的看法，认为物理科学是研究没有生命的对象，而生命科学（包括生物学和医学在内）是研究生命现象的，两者的研究对象完全不一样，因此物理科学的结论不能适用于生命现象。还有一种看法代表另外一个极端，认为一切生命现象都可以用物理和化学的过程来解释。其实这两种看法都是不全面的。我们既不能把无机过程和有机过程划在两个互不相干的范畴内，也不能把生命过程看作是无机过程的简单组合。正如我们在上面指出的，生命现象在自然现象中属于较复杂、较高级的物质运动形态，它必然包含着许多较简单、较低级的物质运动形态在内。但是除了必须遵守有关的低及物质运动规律之外，生命现象还另有它自己的客观规律。换句话说，生命现象除了必须服从物理的和化学的规律外，还必须遵守生物学的规律。物理学和化学的知识是理解生命现象的基础，但不能代替生命科学去解释生命现象。

随着人类对生命现象认识的逐步深入，生物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。生物化学曾经大大推动了生物医学科学的进展。生物物理学历史虽然较短，但对阐明生命现象的本质已经作出了不少贡献。这些事实说明了物理科学与生物科学之间的不可分割的内在联系。

物理学与生物医学科学的联系还体现在另外一个方面，即在生命科学研究和医疗实践中愈来愈广泛地采用物理学的技术和方法。光学显微镜对生物学的贡献是大家早已熟知的了。除此以外，我们还可以举出放射性同位素、电子显微镜、各种仪器分析方法、各种医用电子技术、电子计算机、激光、超声波、红外技术等等在医学基础研究、临床诊断和治疗方面的应用。可以这样说，物理学的每一个新的发现，或技术发展到一个新的阶段，都能给生物科学和医学的研究提供更新、更好的仪器与方法。事实上，大量采用物理学的方法和设备已经成为现代生物医学科学研究和临床实践的一个特征了。

因此，物理学对生物科学与医学的联系可以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[方法和]技术为生物学及医学的研究、医疗实践开辟了许多新的途径。

医学院的物理学是一门基础课程，它的主要任务是给医学生传授系统的物理学知识，使他们进一步掌握物理学的基本概念、基本规律和基本方法，为学习后继课程以及将来从事医疗卫生工作打下基础。这样一门基础课程与专业课程不同，它所讨论的内容一般并不直接用于解决医疗实践中所遇到的具体问题，而只是为解决这些问题提供必要的基础知识。例如，在原子物理学部分不可能详细讨论放射性同位素医疗应用的技术细节，这是核医学课程的任务。但是，在物理学课程中应该详细介绍各种射线的本质、放射性同位素的衰变规律、射线与物质相互作用机制等方面的基本知识，为以后的学习打好基础。

正确地认识物理学与医学的关系是学好这门课程的关键之一。

第一章 力学基本知识

力学 (mechanics) 是研究机械运动客观规律的学科。物理学中许多重要的基本概念, 如力、动量、能量、功等, 都是在力学中首先提出的。因此力学是研究物理学其他部分的基础。

力学的内容可以分为运动学 (kinematics)、动力学 (dynamics) 和静力学 (statics) 三个部分。运动学研究物体位置变化与时间的关系, 但是不考虑引起变化的原因; 动力学研究产生各种机械运动的原因; 而静力学则研究物体在力或力矩作用下平衡的条件。

在这一章里, 将根据教学需要, 在中学物理学的基础上, 有所侧重地讨论力学中的一些基本概念与规律。

§ 1-1 质点运动学

在研究物体的运动时, 如果物体的大小和形状在所研究的问题中可以忽略, 我们就把它抽象为一个质量与它相同的点, 称为质点 (particle)。在这一节中, 我们讨论质点运动学的基本概念。

【参照系】 一个物体的位置有无变化只有在和其他物体对照时才能作出判断。因此在描述物体运动时, 必须先选定一个物体或物体系统作为参照标准。这样的物体或物体系统叫做参照系 (reference system)。同一个物体的运动, 采用不同的参照系可能出现不同的结果。例如一个坐在运行着的火车上的乘客, 如果采用地面作为参照系, 他是运动着的; 如果采用车厢作为参照系, 他就是静止的。在分析一个问题时, 应该采用什么参照系, 要根据具体情况来决定。若不作特殊说明, 研究地球上的机械运动一般是以地面作为参照系的。

【坐标系】 要确定一个质点的位置, 除了必须选定一个参照系以外, 还需要在参照系上选一个固定的坐标系, 并在参照系上选定坐标系的原点和坐标轴。较为常用的坐标系是直角坐标系, 它有三条互相垂直的坐标轴 (X 轴、 Y 轴和 Z 轴)。质点 P 的位置就用三个坐标 x 、 y 、 z 来表示 (图 1-1)。

另外一种表示位置的方法就是用从原点 O 到 P 点的有向线段 \mathbf{r} 来表示。矢量 \mathbf{r} 的方向和长度完全决定了 P 的位置, 我们把它叫做位矢 (position vector) 或矢径 (radius vector)。从图 1-1 中可以看出, 坐标 x 、 y 、 z 就是 \mathbf{r} 沿三条直角坐标轴的分量。 \mathbf{r} 的大小是

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

它和 X 、 Y 、 Z 三条轴之间的夹角分别是

$$\cos \alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos \beta = \frac{y}{r}, \quad \cos \gamma = \frac{z}{r}$$

质点在运动时, 它的位置随时间发生变化, 可见 x 、 y 、 z 和 r 都是时间 t 的函数。

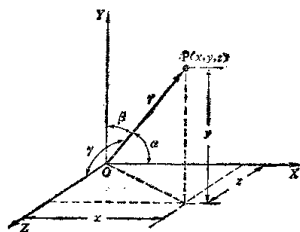


图 1-1 质点位置的表示法

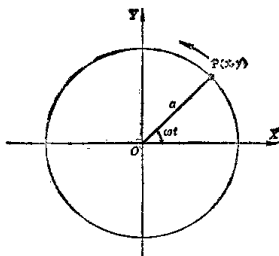


图 1-2 匀速圆周运动

例如，当质点沿 X 轴作匀速直线运动时，则有

$$x = f(t) = vt + C$$

式中 v 是常数， C 是 $t = 0$ 时质点的坐标。这就是表示匀速直线运动的运动方程。当质点在 X-Y 平面上，以原点为圆心作匀速圆周运动时（图 1-2），它的运动方程是

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

式中 a 是圆的半径， ω 是一个常数。根据具体条件求出质点运动方程的解，就是运动学的任务之一。

【位移】在图 1-3 中，曲线 \widehat{AB} 表示质点运动轨道的一部分。设质点原来在 A 点，位矢为 r_A ，后来到达 B 点，位矢为 r_B 。质点的位置变化可用从 A 到 B 的有向线段 Δr 来

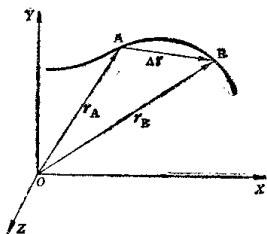


图 1-3 位移

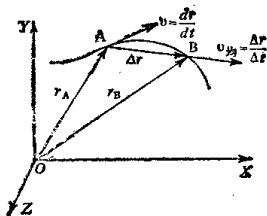


图 1-4 平均速度与瞬时速度

表示， Δr 称为质点的位移 (displacement)

$$\Delta r = r_B - r_A$$

位移是矢量，它除了表明B点到A点的距离外，还表明B点相对于A点的方位。必须注意，位移表示质点位置的改变，但并不一定代表质点所经历的路程。在图1-3中，位移等于直线 \overline{AB} ，而路程则等于曲线 \widehat{AB} 。位移是矢量而路程是标量，它们是两个不同的概念。

【速度】质点的位移是需要时间来完成的。位移的时间变化率称为速度 (velocity)。设质点的位移 Δr 是在时间 Δt 内完成的， Δr 与 Δt 的比值就是这段时间的平均速度 v (图1-4)，即

$$v = \frac{\Delta r}{\Delta t}$$

用平均速度来描述质点的运动，是比较粗略的。它不能反映质点在运动过程中某一时刻的速度。质点在某一时刻或某一位置 (如A点) 的瞬时速度等于时间 Δt 趋近于零 (即B点接近于A) 时平均速度的极限值

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt} \quad (1-1)$$

式(1-1)表明，速度等于位矢对时间的一阶导数。

速度的方向就是 Δr 的极限方向。在图1-4中，质点经过A点时的 Δr 的极限方向也就是曲线在A点的切线方向。

应该注意，速度与速率不同。速度是位移的时间变化率，而速率是路程的时间变化率。速度是矢量，而速率是标量。

【加速度】在非匀速运动中，质点的速度是随着时间改变的。速度的时间变化率，称为加速度 (acceleration)。假设质点在图1-5中由A点移到B点所需要的时间为

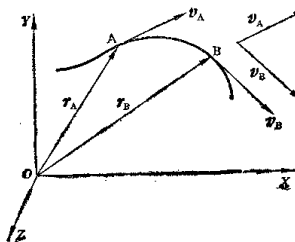


图 1-5 加速度

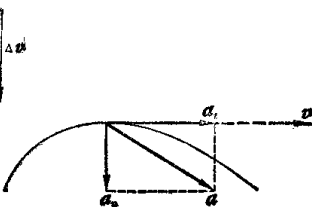


图 1-6 法向加速度和切向加速度

Δt ，在A点的速度为 v_A 而在B点的速度为 v_B ，速度改变为 Δv ， Δv 与 Δt 的比值即代表质点运动的平均加速度，以符号 a 表示

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

质点在某一时刻或某一位置的加速度（或称瞬时加速度）等于时间趋近于零时平均加速度的极限值，即

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

加速度的大小等于速度对时间的一阶导数。加速度的方向就是当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时 Δv 的极限方向。

很明显，如果加速度 a 的方向和速度 v 的方向一致，则结果只能引起速度 v 的数值发生变化而不会改变它的方向，质点将作直线加速运动。只有当加速度 a 的方向与速度 v 的方向不一致时，质点才作曲线运动。另一方面，如果加速度 a 的方向与速度 v 的方向垂直，则结果只会改变速度的方向而不改变它的数值。我们可以把曲线运动在任何时刻的加速度 a 分解为沿速度 v 方向的切向加速度 (tangential acceleration) a_t 和垂直于速度 v 方向的法向加速度 (normal acceleration) a_n ，如图 1-6 所示。切向加速度的作用是改变速度的数值，而法向加速度的作用是改变速度的方向。在 $a_t = 0$ 而 $a_n \neq 0$ 时，质点作直线加速运动；在 $a_t = 0$ 而 $a_n \neq 0$ 时，质点作速率不变的曲线运动。

【匀速圆周运动的加速度】圆周运动是曲线运动中一个常见的特例。在匀速圆周运动中，速度的数值是不变的，而速度的方向却在随时改变，因此它是一种变速运动。

一个以原点为圆心， r 为半径的匀速圆周运动，它的运动方程应为

$$x = r \cos \omega t$$

$$y = r \sin \omega t$$

将运动方程对时间求一阶导数，可得沿 X 轴的速度分量 v_x 和沿 Y 轴的速度分量 v_y

$$v_x = -r \omega \sin \omega t$$

$$v_y = r \omega \cos \omega t$$

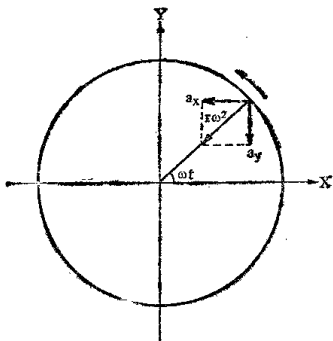


图 1-7 匀速圆周运动的加速度

将此速度分量对时间求一阶导数，即可得沿X轴的加速度分量 a_x 和沿Y轴的加速度分量

$$a_x = -r\omega^2 \cos\omega t$$

$$a_y = -r\omega^2 \sin\omega t$$

因为加速度是矢量， $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$ ，由此可以得出

$$a = r\omega^2 \quad (1-3)$$

如图 1-7 所示，加速度 a 的方向是指向圆心的，因此匀速圆周运动的加速度也常叫做向心加速度 (centripetal acceleration)。它是法向加速度。

§ 1-2 质点动力学基本定律

【牛顿运动定律】 牛顿 (I. Newton, 1642~1727) 的三条运动定律是经典力学的基础。

第一定律：物体 (质点) 如果不受外力的作用，它将保持原有的静止状态或作匀速运动 (惯性定律)。

第二定律：作用在物体上的合外力 F 等于物体动量的时间变化率

$$F = \frac{d(mv)}{dt} = \frac{dp}{dt} \quad (1-4)$$

式中 p 是物体的质量 m 与速度 v 的乘积，称为动量 (momentum)

$$p = mv \quad (1-5)$$

动量是个矢量，它的方向和速度方向相同。如果物体的质量可以认为是不变的话 (在经典力学的研究范围内，这个条件是满足的)，式 (1-4) 可以写成

$$F = m \frac{dv}{dt} = ma \quad (1-6)$$

第三定律：力总是成对出现的。如果物体 A 以力 F_A 作用在物体 B 上，则物体 B 也必同时以一大小相等方向相反的力 F_B 作用在物体 A 上

$$F_A = -F_B \quad (1-7)$$

牛顿运动定律引入了力、惯性、质量和动量的概念。力就是外界环境对物体的影响，这种影响可使物体的速度发生变化。物体在不受外力影响时保持原有运动状态的性质称为惯性 (inertia)，而惯性的大小则是以物体的质量来衡量的。质量大的物体，惯性也大，它的速度不容易改变。动量是质量与速度的乘积，它是一个表征物体运动状态的物理量。关于动量的一些性质，我们在后面还要讨论。牛顿运动定律把上述这些概念和运动学的基本概念联系起来。

【惯性系】 前面提到，同一个物体的运动用不同的参照系来描述，结果是不一样的。那么牛顿运动定律是否对任何参照系都同样适用呢？

举例说明这个问题 (图 1-8)。假定在一辆作匀速直线运动的火车车厢内，一个乘客正在观察一个放在光滑桌面上的小球。他发觉，如果不受外力作用，小球将保持静止状态。这里所谓静止是相对于车厢来说的。也就是说，乘客在观察小球时是以车厢为参照

系的。用手对小球加力，小球就沿力的方向获得加速度向前运动。在这种情况下，小球完全服从牛顿运动定律。

但是，当车厢不再保持原来的速度（如加快，减慢或改变进行方向）的时候，这个乘客就会观察到小球出现违反惯性定律的现象。例如当车速加快时，小球在没有外力作用下会向后移动；车厢向右拐弯时，小球自动向左滚，等等。由此可见，惯性定律并不是对任何参照系都适用的。我们把适用惯性定律的参照系叫做**惯性系**（inertial system）。

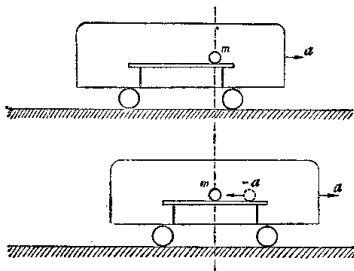


图 1-8 惯性系与非惯性系

有那些参照系是惯性系呢？以恒星（包括太阳）为参照物的参照系都是惯性系。事实上，牛顿运动定律就是以这样的参照系观察大量天体运动归纳出来的结果。可以证明，凡是与惯性系相对作匀速直线运动的参照系都是惯性系，与惯性系相对作加速运动的参照系都不是惯性系。地球是绕着太阳作公转和自转的，因此严格说来在地面上的参照系也不是惯性系。不过地面相对于太阳的加速度很小（约为 0.006m/s^2 ），我们通常研究的加速度要比它大得多，所以可以把地面看作是惯性系。但是如果我们要研究的加速度比地球表面的加速度还要小时（例如火星的轨道加速度只有 0.0025m/s^2 ），那么地面的参照系就不能再认为是惯性系了。

【惯性力】 假设图 1-8 中的车厢以加速度 a 相对于地面作直线运动。以车厢为参照系，我们看到质量为 m 的小球正以加速度 $-a$ 作加速运动。为了使牛顿运动定律适用于这一参照系，我们设想这时有一个力 $F = -ma$ 作用在这一小球上。这个力称为**惯性力**（inertial force），它的方向是和参照系的加速度方向相反的。如果这时我们要使小球相对于车厢静止不动，就必须对小球施加一个与惯性力大小相等方向相反的力来抵消惯性力的作用。

图 1-9 的旋转平台也是一个非惯性系。在平台转动时，平台的每一点都作圆周运动，因此具有向心加速度，这样的参照系显然是非惯性系。假定在图中有一个相对于平台静止的物体 m 由一根连在中心柱上的绳子拉着。从地面上的观察者看来，物体 m 在作圆周运动，绳子的张力 T 提供所需的向心力 $m\omega^2 r$ 。但是从站在平台上的人看来，物体 m 是静止不动的，绳子有一张力 T 作用在物体上。为了使牛顿运动定律适用于这一情况，必须假设物体同时受到一个与张力 T 大小相等方向相反的惯性力。这个假想的力叫做**惯**