

朱一达 主编

医用物理学

Y I Y O N G W U L I X U E



 中国科学技术出版社

医 用 物 理 学

朱一达 主编

中国科学技术出版社
·北 京·

图书在版编目 (CIP) 数据

医用物理学/朱一达主编. —北京:中国科学技术出版社, 1999

ISBN 7-5046-2737-2

I. 医… II. 朱… III. 医用物理学—医学院校—教材 IV. R 312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 43589 号

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码: 100081

电话: 62103204 62179148

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京卫顺印刷厂印刷

*

开本: 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张: 14.25 字数: 320 千字

1999 年 7 月第 1 版 2003 年 7 月第 2 次印刷

印数: 1~4500 册 定价: 14.00 元

(凡购买本社的图书, 如有缺页、倒页、
脱页者, 本社发行部负责调换)

《医用物理学》编委会

主 编 朱一达
副主编 梁树梅 许龙飞 朱立军
安 婧 赵金岩
编 委 (按姓氏笔画排序)
朱一达 朱立军 米志华
安 婧 许龙飞 杨跃华
赵金岩 梁树梅 赫红伟

责任编辑 陶 翔
封面设计 王 环
责任印制 李春利

前言

《医用物理学》是为初中水平起点的医学高等职业学生及中等专业医学各专业学生而编写的教材。这套教材定位于符合新的教育部教学要求，着重学习与现代医学密切相关的物理知识，强调物理方法与物理技术在医学上的应用；注重医学生的分析能力和动手能力的培养；同时对后继的医学课程起到奠基的作用。本教材既可供在校生使用，又可作为医学生毕业后继续学习的参考资料。

医学生在学习本教材之初，首先应该清楚地了解物理学的概念及其研究对象和内容。我们知道自然界是由运动着的物质组成的。物质存在的最基本的性质就是运动，没有运动的物质和没有物质的运动都是不存在的。而且，物质的运动形式是多种多样的，它们既服从共同的普遍规律，又各自有其独特的规律。对各种不同的物质运动形式的研究，形成了自然科学的各个分科，那么物理学研究的内容是什么呢？**物理学是研究物质的最基本、最普遍的运动形式和规律的科学。**它的研究对象包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核内的运动等。物理学研究的这些运动，普遍存在于其他高级的、复杂的物质运动形式之中，所以，物理现象也存在于一切自然现象之中，并且跟一切自然现象都有着不可分割的内在联系。例如：在化学反应中包含有分子运动、热和电的现象；人体中的神经活动包含着复杂的电学过程。一切自然现象，包括有生命的和无生命的在内，都毫无例外地遵循能量守恒定律、万有引力定律、热力学定律以及其他物理学定律。正是由于物理学所研究的物质运动形态和运动定律具有最基本和最普遍的性质，使得物理学的基本知识成为其他学科所不可缺少的基础。

物理学和医学有何关系呢？医学是一门以人为主要对象的生物科学，它所研究的是属于高级的、复杂的物质运动形态——生命现象，这些运动形态又以物理学的运动形态为基础。例如：人体的血液循环与流体力学密切相关；新陈代谢过程与热学、能量守恒和转化定律相联系；骨骼肌、心肌的兴奋收缩及神经的传导与电磁现象相联系。而且，人类生活在大自然中，生活环境对人体也有很大的影响。例如：温度、湿度、压强、电磁场和放射线等，都与人的生存关系相当密切。因此，不掌握物理学的概念和基本规律就无法深入了解和研究人体的生命现象。

从19世纪起，一些生理学家开始将力学、电学、光学和热力学中的某些知识应用到生物研究中去，由于物理学的方法、仪器、思想和技术渗透到了生命学科之中，使得医学的研究和发展取得了前所未有的进步。随着近代物理学的迅速发展，人们对生命科学的认识逐渐加深，生命科学的研究已从宏观整体水平深入到细胞、分子甚至电子水平。大量事实表明，物理学在医学领域中的应用已更为广泛，更为深入，推动着医学不断向前发展。例如：显微镜的发明和电学理论的问世，使得属于解剖水平的医学，衍生出了细胞学、组织胚胎学、微生物学和寄生虫学等，医学由此发展到了细胞水平。从电子显微镜诞生后，医学又进入到亚细胞水平即超显微结构水平。电泳、波谱技术、X射

线衍射技术、色谱仪等的发明，又使得医学进入到分子生物学水平。在当今医疗上应用的超声波、激光、放射性核素、核磁共振等等，都是物理学的成果在医学上应用的范例。物理学的发明、发现或技术每发展到一个新的阶段，都必将为医学研究和医学实践带来质的飞跃。作为一个现代的医学工作者，要想顺利地搞好本职工作，必须具备一定的物理学知识。

物理学与医学的关系归结为两句话：物理学是了解生命现象不可缺少的基础；物理学所提供的方法和技术，为医学研究和医疗实践开辟了许多新途径。

本教材分为上下两册，上册为教材，下册为学生分组实验、各章的目的要求、测试题和阅读材料。适于各专业使用。请各用书单位及老师们在授课前一定要按照大纲和教学实际的要求，适当选择教材及实验内容。对于带※的内容，各学校可以根据实际情况选学或指导学生自学。

此教材的主要特点是：知识面较广，理论水平深浅适中，教材中有不少密切联系医学实际的知识点。在编写过程中，充分考虑到初中毕业生的整体知识水平，在物理理论表述及练习题的难度上有所调整。

另外，针对我国医学生在校期间在学习相关学科时对物理知识的要求，强调在物理基本理论的知识点的选择上，力求做到“能用”，“够用”，“好用”。

在编写本教材的过程中得到了中国教育学会中专物理教育研究会、全国中等卫校物理教育研究会、河北省卫生厅、河北省医学教研室的大力支持，在此表示衷心的感谢，也对关心和支持编写该教材的同志们致以谢意！

编写过程中，参考一些著作和教材，引用了其中某些资料和表述。在此对提供资料的编者和作者一并表示敬意。

由于我们水平有限，教材中难免有不妥之处，敬请使用本教材的教师、学生和读者批评指正。

编者

2002年7月

目 录

第一章 力	(1)	第六节 多普勒效应	(77)
第一节 力 力的分类	(1)	第七节 超声波	(79)
第二节 共点力的合成与 分解	(5)	第七章 液体的流动	(83)
第三节 力矩和力偶矩	(12)	第一节 理想液体的流动	(83)
第二章 运动和力	(14)	第二节 实际液体的流动	(88)
第一节 运动的描述	(14)	第三节 血压和血压计	(91)
第二节 直线运动	(15)	第四节 血液的流变性	(94)
第三节 自由落体运动	(20)	第八章 热学	(100)
第四节 牛顿运动定律	(22)	第一节 分子动理论	(100)
第五节 动量和冲量	(27)	第二节 物体的内能	(102)
第三章 曲线运动	(31)	第三节 人体的能量与散热	(103)
第一节 曲线运动	(31)	第四节 气体的性质	(106)
第二节 平抛运动 运动叠加 原理	(32)	第五节 液体的表面现象	(109)
第三节 匀速圆周运动	(34)	第六节 呼吸运动	(113)
第四章 功和能	(38)	第七节 湿度	(115)
第一节 功 功率	(38)	第九章 静电场	(120)
第二节 机械能	(40)	第一节 电场 电场强度	(120)
第三节 机械能的转化和 守恒	(43)	第二节 电势能 电势 电势差	(124)
第五章 人体运动系统物理	(46)	第三节 带电粒子在电场 中的运动	(126)
第一节 运动系统力学特征	(46)	第四节 电容器和电容	(129)
第二节 运动系统力学 问题分析	(50)	第十章 恒定电流	(131)
第三节 力学因子对人体 的作用	(55)	第一节 电阻定律	(131)
第六章 振动和波	(60)	第二节 电阻的联接	(132)
第一节 简谐振动	(60)	第三节 闭合电路欧姆定律	(134)
第二节 受迫振动与共振	(63)	第四节 电池组	(137)
第三节 机械波	(65)	第十一章 电磁学	(139)
第四节 波动的基本特征	(67)	第一节 磁场	(139)
第五节 声波	(70)	第二节 磁场对运动电荷的 作用	(141)
		第三节 电磁感应	(143)
		第四节 自感 互感	(146)

第五节 交流电	(148)	第二节 电磁对人体的作用 ...	(169)
第六节 电感和电容对交流电的作用	(151)	第三节 医用电子测量仪器 ...	(171)
第七节 变压器	(153)	第十四章 光学	(178)
第八节 安全用电	(154)	第一节 光度学	(178)
第九节 电磁振荡和电磁波 ...	(155)	第二节 几何光学	(179)
第十二章 半导体基础知识	(158)	第三节 物理光学	(188)
第一节 半导体的导电特性 ...	(158)	第四节 视觉物理	(193)
第二节 晶体二极管	(160)	第五节 医用光学仪器	(198)
第三节 晶体三极管	(164)	第十五章 原子和原子核	(205)
第十三章 电磁学在医学中的应用	(166)	第一节 原子物理基础知识 ...	(205)
第一节 心电的物理原理	(166)	第二节 激光	(208)
		第三节 X射线	(211)
		第四节 原子核物理	(214)

第一章 力

学习力学知识最终是要掌握力和物体运动的关系，所以力是一个很重要的物理量。本章主要学习力的基本概念，诸如：力的分类、力的合成与分解、力矩等。

第一节 力的分类

力 力是物体对物体的作用；一个物体受到力的作用时，一定有另一个物体施加这种作用，前者是受力物体，后者是施力物体。力是不能离开物体而独立存在的，通常只说物体受到力的作用，而没有指明施力物体，但施力物体是一定存在的。

一个物体对另一个物体施加力的作用的同时，也受到另一个物体对它的力的作用，即物体间力的作用是相互的。

列车运行是由于受到机车的牵引力的作用；高空下落的物体是地球引力作用的结果；人体中血液循环流动和肺的呼吸则是在肌肉力的作用下进行的。大量的事实证明，力的作用可以产生两种效果：第一，力可以改变物体的运动状态；第二，使物体的形状和体积发生变化，即使物体发生形变。

力对物体作用的效果与力的大小，力的方向和力的作用点有关，通常把力的大小、方向、作用点叫做力的三要素。在国际单位制中，力的单位是牛顿，符号是 N。

在分析力学问题时，为了直观地说明力的作用，可以用一根带箭头的线段来表示力，线段的长度表示力的大小，箭头的指向表示力的方向。箭头或箭尾所指位置表示力的作用点，这种表示力的方法，叫做力的图示法，如图(1-1)。

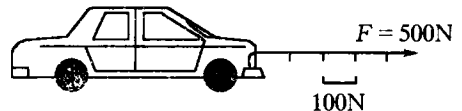


图 1-1

根据力的性质，物理学中常见的力可以分为：重力、弹力、摩擦力、分子力、电磁力和核力等。在力学中常用到的力是重力、弹力、摩擦力。

重力 因地球的吸引而使物体受到的力，叫做重力。重力的方向总是竖直向下的。物体所受重力的大小，物理学上叫做物体的重量。物体所受重力的大小与物体的质量成正比。用关系式 $G = mg$ 表示。通常在地球表面附近， g 取值为 9.8 牛/千克。

重力的大小可以用弹簧秤称出(图 1-2)。这时物体对弹簧秤的拉力(图 1-2a)，或压力(图 1-2b)，等于物体所受的重力。如果不是弹簧秤，把物体挂在竖直悬线上或放在水平支持物上，在静止的情况下，物体对竖直线的拉力或对水平支持物的压力，也等于物体受到的重力。

物体的各个部分都要受到重力的作用，但是从效果上来看，我们可以认为各个部分的重力集中在一点，这点就可看做是重力的作用点，叫做物体的重心。形状规则，质地均匀的物体的重心就在它的几何中心。如均匀直棒的重心在中心，均匀球体的重心在球心，均匀圆柱体的重心在轴线的中心(图 1-3)。

从压、拉弹簧的例子可知，弹力的方向总是指向企图恢复原来形状的方向。因此，弹力与使物体发生形变的外力相反。在分析物体受力情况时，特别需要注意，弹力是发生形变的物体产生的力，它作用在使它发生形变的其他物体上。

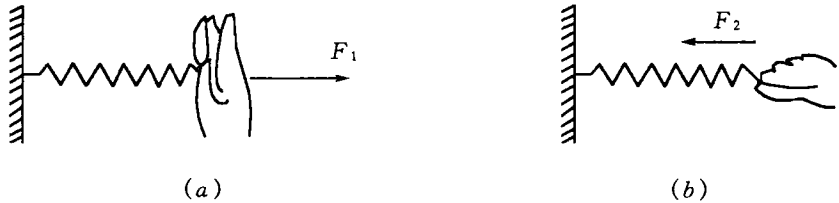


图 1-5 弹力的产生

实验证明，在弹性限度内，弹簧弹力的大小和弹簧伸长(或缩短)的长度成正比，即：

$$F = - kx \tag{1-1}$$

式中 k 称为弹簧的劲度系数，它和弹簧的材料、形状及粗细有关。在国际单位制中， k 的单位是牛顿/米(符号是 N/m)。弹力的方向与弹簧伸长(或缩短)的长度方向相反。上述这个规律叫做胡克定律。常见的弹簧秤就是根据胡克定律制成的。

常见的弹力还有很多。例如：放在水平桌面上的物体，由于它有重量而压在桌面上，使桌面和物体都发生微小形变，物体要恢复原状，给桌面一个垂直向下的压力，这个力和接触面正交(即垂直)，通常叫做正压力，同时，桌面要恢复原状，给物体一个垂直向上的正压力(也叫支持力)，正压力常用 F_N 表示。电线吊着电灯，电灯拉紧电线，使电灯和电线都发生微小形变，发生形变的电灯要恢复原状，对电线产生向下的拉力，同时，发生形变的电线要恢复原状，对电灯产生向上的拉力。发生形变的物体，它的一部分对另一部分也会产生弹力。例如，一根拉紧的绳子，它的一部分对相邻的另一部分就产生弹力。绳子内部的这种弹力叫做张力。

压力、支持力、拉力和张力等只是从力的作用效果来命名的，其实质都是弹力。

摩擦力 摩擦是随处可见的现象。相互接触的物体在外力的作用下，做相对运动或有相对运动的趋势时，沿接触面产生的阻碍物体相对运动的力，叫做摩擦力。

摩擦力有静摩擦力、滑动摩擦力和滚动摩擦力三种，我们只讨论前两种。

静摩擦力 如果用慢慢增大的力拉一张桌子，开始是拉不动的，只有当力增大到一定程度时才能拉动。我们用图(1-6)所示的实验来演示这种情况：

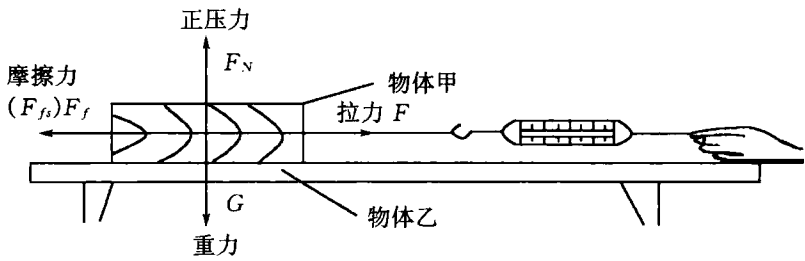


图 1-6 摩擦力实验

当用力拉物体甲时，物体甲和物体乙有相对运动趋势但仍静止时，在接触面上产生一种阻碍这种相对运动的力，这种力叫做**静摩擦力**(用 F_{fs} 表示)。静摩擦力产生的条件是相

互接触的物体间有相对运动趋势，所谓相对运动趋势是指被研究的那个物体以所接触的另一物体为参照物时的运动状态。趋势的含义是说有相对运动的可能但仍保持相对静止状态。

静摩擦力的方向总是与接触面相切，并且与物体相对运动趋势的方向相反。在解决具体问题时，可假想接触面间不存在摩擦力，被研究的那个物体以所接触的另一物体为参照物时的运动方向就是那个物体相对运动趋势方向，静摩擦力的方向就与这个方向相反。

静摩擦力的大小满足力的平衡条件如图(1-6)。用水平力 F 拉物体甲，若拉力不大，甲不动，说明接触面存在静摩擦力，拉力增大时，静摩擦力也随之增大，当拉力增大到某一数值时，甲将开始移动(即将要动而未动)，此时的静摩擦力达到最大值，称做最大静摩擦力(用 F_{fm} 表示)。可见，静摩擦力的大小总是与沿接触面方向的外力大小相等，其数值由外力的数值决定。

当外力超过最大静摩擦力时，物体间就有相对滑动。在相对滑动中，沿着接触面而产生阻碍相对运动的力叫做滑动摩擦力(用 F_f)。滑动摩擦力的产生条件是相互接触的物体间有相对运动。滑动摩擦力的方向是沿着接触面切线方向，并且与相对运动方向相反。实验证明：滑动摩擦力的大小 F_f 与正压力的大小 F_N 成正比，即

$$F_f = \mu F_N \tag{1-2}$$

式中 μ 是两个力的比值，是一个没有单位的量，叫做动摩擦因数。它的数值大小决定于接触面的材料、光洁程度和干湿程度。表(1-1)列出了通常情况下几种材料间的动摩擦因数。

对同样的两个物体来说，滑动摩擦力比最大静摩擦力稍小一些。

表 1-1 几种材料间的动摩擦因数

材 料	动 摩 擦 因 数
钢 - 钢	0.25
木 - 木	0.30
木 - 金属	0.20
钢 - 冰	0.02
木头 - 冰	0.03
橡皮轮胎 - 路面(干)	0.71
润滑的骨关节	0.003

物体受力分析 研究力学问题的时候，正确分析研究对象所受的力，是解决问题的关键，它要求：

1. 确定研究对象，了解研究对象的运动状态。
2. 找出作用在研究对象上的全部力，不遗漏，不重复。第一，在地球引力范围内的物体都受到重力的作用；第二，物体形变时，在接触处受到弹力的作用；第三，物体沿着接触面相对运动或有相对运动趋势时，在接触面上受到摩擦力的作用；第四，其他施力物体所加的作用，如电场力、磁场力等。
3. 画出受力图，力的大小、方向、作用点必须准确。

〔例题 1〕一个木块放在水平木桌面上，分别用 5.0 牛顿、10 牛顿的水平力拉它，都没有把它拉动，当拉力增大到 11 牛顿时，木块在桌面上开始滑动，当木块沿桌面匀速滑动时，测得拉力为 10.8 牛顿。问木块受到的静摩擦力和滑动摩擦力各是多大？木块对桌面的正压力是多少牛顿（已知动摩擦因数为 0.30）？

解：因为静摩擦力在达到最大值以前，总是和沿接触面切线方向的外力大小相等，方向相反。所以静摩擦力的大小分别是 5.0 牛顿、10 牛顿和 11 牛顿。11 牛顿是最大静摩擦力的大小，它们的方向与水平拉力方向相反。

因为滑动摩擦力大小 $F_f = \mu F_N$ ，所以

$$F_N = \frac{F_f}{\mu} = \frac{10.8}{0.30} \text{N} = 36 \text{N}$$

答：木块受到的静摩擦力分别是 5.0 牛顿、10 牛顿和 11 牛顿，滑动摩擦力是 10.8 牛顿，木块对桌面的正压力是 36 牛顿。

第二节 共点力的合成与分解

矢量和标量 我们把已经学过的和将要学习的物理量分为两类，矢量和标量。

只有大小没有方向的物理量叫标量。

如质量、温度、时间、长度等物理量都是标量。标量中有的只取正值，如长度；有的可取正值或负值，如：温度。

既有大小又有方向的物理量叫矢量

如力、速度等物理量是矢量。矢量的方向有时比它的大小更重要。例如对于船员来说，顺风行驶和逆风行驶这两种受力方向的效果大不相同。对火车司机来说，在同一轨道上行车的方向不同时，目的地也不同。

矢量可用符号表示，书写后可在符号上加箭头，如 $\vec{F}$ ；印刷上一般用黑体字，如 $\mathbf{F}$ 。而 F 则表示 $\vec{F}$ 或 $\mathbf{F}$ 的大小。矢量的大小均指其绝对值。

矢量可以用有向线段来表示。有向线段即带箭头的线段，线段的长度表示矢量的大小，箭头的指向表示矢量的方向。若要在图中进一步标明矢量的大小，可以加上“标度”或给出“比例尺”，例如力的图示法就是这样表示力这个矢量的。

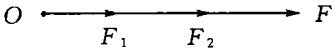
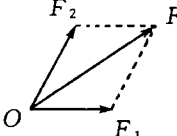
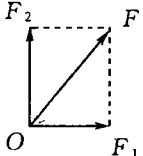
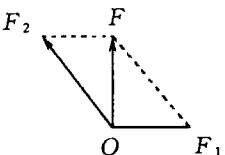
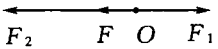
力的合成 在实践中，一个物体往往不只受到一个力的作用，而是可能同时受到几个力的共同作用。例如：一件行李可以由几个人一起提，也可以一个人来提；一辆拖车可以由几匹马一起拉，也可以用一部拖拉机来拉。这说明一个力的作用效果完全可以和几个力共同作用的效果相同。

如果一个力作用在物体上，它产生的效果和几个力共同作用的效果相同，这一个力就叫做那几个力的合力。而那几个力就叫做这个力的分力。求几个已知力的合力叫做力的合成，求一个已知力的分力，叫做力的分解。

几个力如果都作用于物体的同一点，或者它们的作用线相交于一点，这几个力叫做共点力。为简便起见，本书中通常把作用在同一物体上的力如重力、弹力、摩擦力等，当成作用于此物体重心的共点力来处理。下面我们研究共点力的合成。

当沿同一条直线方向相同的两个力作用在同一个物体时，求它们的合力比较简单，

表 1-2 两分力大小不变但夹角不同时的合力

	θ	F
	$= 0^\circ$	$= F_1 + F_2$
	$0 < \theta < 90^\circ$	$> \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$
	$= 90^\circ$	$= \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$
	$90^\circ < \theta < 180^\circ$	$< \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$
	$= 180^\circ$	$= F_1 - F_2 $

从表(1-2)可知：在 F_1 、 F_2 大小不变时，两个力的夹角越小，合力就越大。当两个力同方向($\theta = 0^\circ$)时，合力最大，其大小等于两个分力的代数和，其方向与两分力的方向相同；两个分力的夹角越大，则合力越小，当两个分力反向($= 180^\circ$)时，合力最小，其大小等于两个分力大小之差，其方向与较大的分力的方向相同。

〔例题 2〕为防止电线杆倾倒，常在它的两侧对称地栓上钢索(图 1-9a)两根钢索夹角 $\theta = 60^\circ$ ，钢索拉力 $F_1 = F_2 = 300\text{N}$ ，用作图法和计算法求这两个拉力的合力 F 。

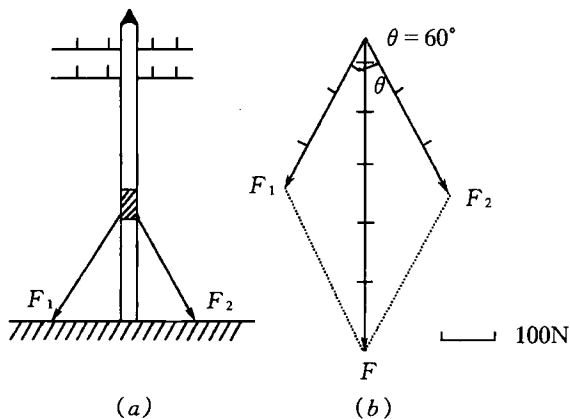


图 1-9

解：以 F_1 和 F_2 为邻边，作平行四边形和对应的对角线(图 1-9b)，则合力 F 的

方向竖直向下,用标度可以量出 F 约为 520N。同时也可计算出 F 的值,因 $F_1 = F_2$, 合力大小为:

$$F = 2F_2 \cos(\theta/2) = 2 \times 300 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \text{N} = 520 \text{N}$$

答:两个拉力的合力大小为 520 牛,作法如图(1-9b)所示。

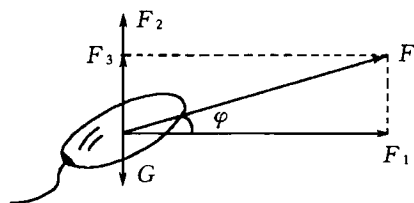


图 1-10

[例题 3] 设重力为 $G = 3.0 \text{N}$ 的气球,同时受到两个力的作用:风的水平推力 $F_1 = 12 \text{N}$,空气浮力 $F_2 = 8.0 \text{N}$ (图 1-10),求气球所受的合力。

解:先合成 F_2 和 G ,可得一个向上的力 F_3 ,其大小 $F_3 = F_2 - G = 8.0 - 3.0 \text{N} = 5.0 \text{N}$ 再合成 F_1 和 F_3 ,根据勾股定理,计算出气球所受的合力 F 的大小为:

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_3^2} = \sqrt{12^2 + 5.0^2} \text{N} = 13 \text{N}$$

利用 $\tan \varphi = \frac{F_3}{F_1} = \frac{5.0}{12}$, 求出 φ 就知道了 F 的方向。

答:气球所受的合力大小为 13 牛,方向如图所示。

力的分解 在许多实际问题中,常常要求一个已知力的分力,例如照图(1-11a)那样,把一个物体挂在互成角度的两根绳子 AO、BO 上。物体对悬挂点 O 的拉力 F 等于物体的重力 G ,方向是竖直向下的。由于拉力 F 的作用,绳子 AO、BO 也受到拉力作用(若 AO、BO 是橡皮筋,可以看出它的长度拉长)。AO、BO 分别受到的拉力 F_1 、 F_2 是拉力 F 的分力(图 1-11b),要知道它们的大小和方向,便是一个求 F 的分力问题,或者说是一个力的分解问题。本书只讨论把一个力分解成两个分力的情形。

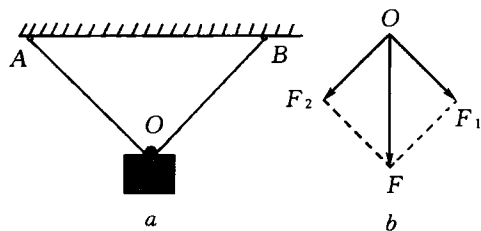


图 1-11

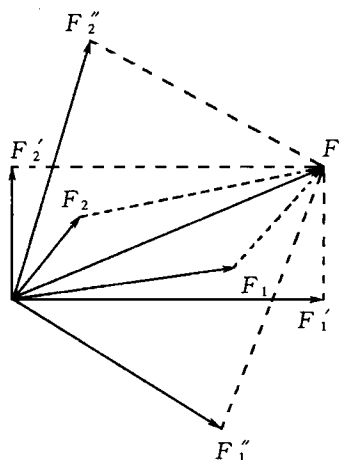


图 1-12

力的分解是力的合成的逆运算,同样服从平行四边形定则。把已知的合力作为平行四边形的对角线,与合力共点的平行四边形的两个邻边就表示该合力的两个分力。

但是,如果没有其他限制,对于同一条对角线,可以做出无数多个平行四边形,如图(1-12)所示,即一个合力可以分解出无数多个大小方向都不相同的分力。那么,一个已知力究竟怎样分解呢?这就要具体考虑这个力产生的效果。一般常有以下两种情况:

1. 已知两个分力的方向,求两个分力的大小。
2. 已知一个分力的大小和方向,求另一个分力的大小和方向。

下面举两个具体实例来说明力的分解。

(1)放在水平面上的物体,受到一个斜向上的拉力 F , 这个力与水平方向成 α 角(图 1-13)。这个力产生两个效果: 水平向前拉物体, 同时竖直向上提物体。因而力 F 可以分解为沿水平方向的分力 F_1 和竖直方向的分力 F_2 。

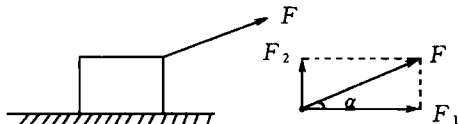


图 1-13

先按选定的标度画出力 F 的图示, 以表示 F 的线段为对角线, 以水平和竖直方向为邻边, 做平行四边形, 两个邻边也就分别表示力 F 的两个分力 F_1 和 F_2 如图(1-13)。则有 $F_1 = F \cdot \cos \alpha$, $F_2 = F \cdot \sin \alpha$ 。

(2)把重力为 G 的物体,挂在图(1-14)所示的支架上。支架 NO 与墙面成 θ 角,物体通过绳子使支架上的 O 点受到一个向下的作用力 F ,大小等于物体的重力 G ,力 F 对支架产生两个作用,一个是对支架沿 NO 方向的拉力 F_1 ,一个是对支架沿 OM 方向的压力 F_2 。拉力 F_1 和压力 F_2 都是拉力 F 的分力,要知道这两个分力,就需把 F 沿 NO 和 OM 这两个方向分解如图(1-14)所示的两个力。

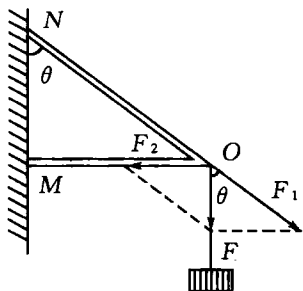


图 1-14

$$\begin{aligned} \text{则: } F_1 &= \frac{F}{\cos \theta} \\ F_2 &= F \cdot \tan \theta \end{aligned}$$

从上述两个例子可以看出,在进行力的分解时,要对具体情况进行分析,先要弄清楚要分解的力实际上产生了哪些效果,再进行分解。

正交分解 把一个已知的力,分解成相互垂直的两个力,这种分解方式叫正交分解。选定两个相互垂直的坐标轴 X 、 Y (如图1-15),把多个力 F_1 、 F_2 、 F_3 和 F_4 沿坐标轴方向分解为 F_{X1} 、 F_{X2} 、 F_{X3} 、 F_{X4} 和 F_{Y1} 、 F_{Y2} 、 F_{Y3} 、 F_{Y4} ,则在 X 轴上合力分量为 $F_{X1} \sim F_{X4}$ 各分力的代数和,在 Y 轴上合力分量为 $F_{Y1} \sim F_{Y4}$ 各分力的代数和。

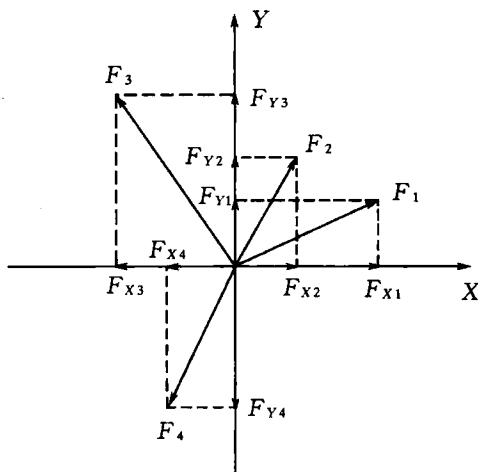


图 1-15 正交分解法

正交分解是很重要的分解方式,只要知道一个分力的方向,例如可使物体产生运动的方向,便可作出确定的分解。

如图(1-16)所示放在斜面上的物体,物体受到竖直向下的重力的作用,但它并不竖直下落,而是沿斜面下滑,同时压紧斜面,因此重力 G 可以正交分解成平行于斜面下滑的 $G_{//}$ 和使物体垂直于斜面压紧斜面的力 $G_{\perp}$ 。 $G_{\perp}$ 使物体紧压在斜面上, $G_{//}$ 可使

物体沿斜面向下运动。

从图中可以看出 $G_{\parallel} = G \cdot \sin\alpha$ $G_{\perp} = G \cdot \cos\alpha$ ($G_{\parallel}$ 与 $G_{\perp}$ 中的 G 可用 F 表示)。

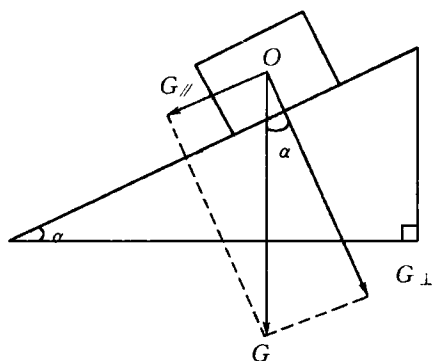


图 1-16

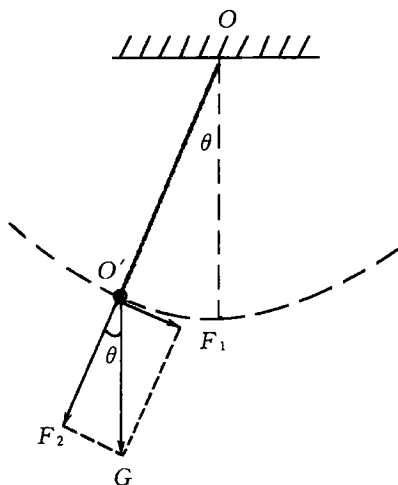


图 1-17

$G_{\parallel}$ 与 $G_{\perp}$ 的大小与斜面倾角 α 有关, α 增大时, $G_{\perp}$ 减小, $G_{\parallel}$ 增大, $G_{\parallel}$ 使物体沿斜面向下运动, 或使它具有这种运动趋势。人骑车或走路, 经过较陡的斜坡时便会明显地感受到 $G_{\parallel}$ 的作用。

如图(1-17)所示, 跟竖直方向成一角度 θ 的悬线所系的摆球, 它受到的重力 G 产生两个效果: 既推动摆球沿圆弧线的切线方向向右下方运动, 又沿悬线方向拉紧悬线, 因此, G 可正交分解为分别沿上述两个方向的分力 F_1 、 F_2 , $F_1 = G \cdot \sin\theta$, $F_2 = G \cdot \cos\theta$ 。

共点力的平衡 我们经常可以看到, 一个物体在几个力的作用下, 保持静止状态或匀速直线运动状态。例如, 房屋、桥梁等在受到重力和地面支持力的作用下, 保持静止状态; 飞行中的飞机同时受到牵引力、机翼的举力、重力和空气的阻力做匀速直线飞行。物体处于静止或匀速直线运动的状态叫做平衡状态。要使物体保持平衡状态, 作用在物体上的力必须满足一定的条件, 这个条件叫做力的平衡条件。

在初中我们学过, 物体受到两个共点力作用的时候, 大小相等, 方向相反的两个力使物体保持平衡状态。例如, 静止站立的人体受到重力和地面的支持力, 大小相等、方向相反, 保持平衡状态。从力的合成可以知道, 这时作用力的合力等于零。

那么, 三个共点力作用下物体的平衡条件又是什么呢?

用三个弹簧秤水平地拉一个物体, 并使物体保持平衡状态, 如图(1-18a)。从三个弹簧秤上分别读出它们作用在物体上的拉力 F_1 、 F_2 、 F_3 的大小, 作出力的图示(如图1-18b)。先求出其中任意两个力的合力, 例如 F_1 和 F_2 的合力 F , 可以看出, 力 F 和 F_3 在同一直线上, 大

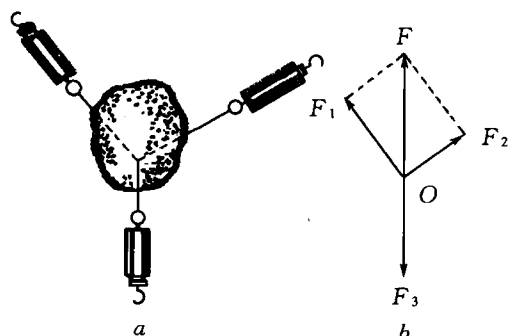


图 1-18

在许多情况下，支持力、物体间的压力并不等于物体所受的重力。

第三节 力矩和力偶矩

力矩 具有固定转动轴的可摆动或可转动的物体，如：房屋的门、窗、柴油机的飞轮、齿轮、仪表的指针、电动机的转子等等，它们都跟轮轴和滑轮一样，也都可以看成是杠杆的变形。

推门时，力作用在离门轴较远的位置，用较小的力就可以把门推开，如果在离门不远的位置推门，就要用较大的力才能把门推开。拧紧螺帽时，扳柄长一些，就比较容易把螺帽拧紧。可见，力产生的转动效果，不仅与力的大小、方向有关，而且与转轴到力作用线的垂直距离有关。力越大，力到转轴的距离越大，力使物体转动的效果越明显。

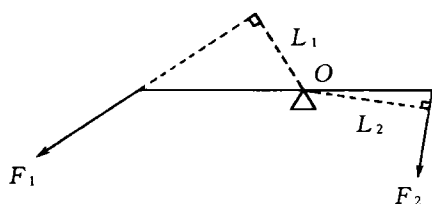


图 1-21

从转轴到力的作用线的垂直距离，叫做**力臂**。图(1-21)表示有两个力 F_1 和 F_2 作用在杠杆上，杆的转轴 O 垂直于纸面。 L_1 是力 F_1 的力臂， L_2 是力 F_2 的力臂。

力和力臂的乘积叫做力对转动轴的力矩。用 F 表示力的大小， L 表示力臂， M 表示力矩，那么

$$M = FL \quad (1-4)$$

力矩在国际单位制中的单位是牛顿米(符号是 $\text{N}\cdot\text{m}$)。形成力矩的力可以是重力、弹力、摩擦力等等，并常把相应的力矩分别称之为重力矩、弹力矩、摩擦力矩等。

力矩的大小反映了力对物体转动作用的大小，力矩越大，力对物体的转动作用就越大。

力矩的平衡 能够绕着固定的轴转动的物体，如果保持静止或匀速转动，我们就说这个物体处于平衡状态。

能够转动的物体的平衡问题，比较复杂，我们只研究转动轴固定不动，并且外力的作用线都在与转动轴垂直的平面内的情况。

力矩可以使物体向不同的方向转动，例如，开门和关门时，门的转动方向相反，拧紧螺帽和拧松螺帽的转动方向也相反。我们规定：**凡是使物体沿顺时针方向转动的力矩为正力矩，使物体沿逆时针方向转动的力矩为负力矩。**

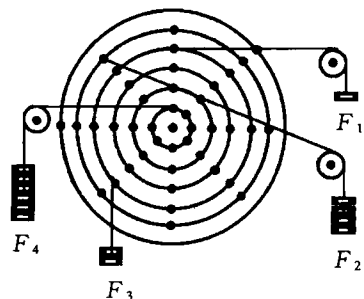


图 1-22 力矩盘

有固定转动轴的物体在什么条件下才能处于平衡状态呢？我们做如图(1-22)所示力矩盘的实验来研究这个问题。

力矩盘可以绕通过中心并垂直于盘面的轴转动，使圆盘在力 F_1 、 F_2 、 F_3 和 F_4 作用下处于平衡状态。量出这 4 个力的力臂，分别计算出它们的力矩： $M_1 = F_1 L_1$ ， $M_2 = F_2 L_2$ ， $M_3 = F_3 L_3$ ， $M_4 = F_4 L_4$ 。发现使圆盘向顺时针方向转动的力矩之和等于使圆盘向逆时针方向转动力矩之和。即

$$M_1 + M_2 = M_3 + M_4$$