

GAODENG ZHIYE JIAOYU

高等职业教育课程改革示范教材

应用物理基础

郝 超◎主 审
于正权◎主 编



南京大学出版社

高等职业教育课程改革示范教材

应用物理基础

主 审 郝 超

主 编 于正权

副主编 鲍正祥 鲍立峰

参 编 (按姓氏笔画)

周洪亮 胡 鹏 徐 磊

 南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

应用物理基础 / 于正权主编. —南京: 南京大学出版社,
2008. 8

高等职业教育基础课示范教材

ISBN 978 - 7 - 305 - 05228 - 6

I. 应… II. 于… III. 应用物理学—高等学校: 技术
学校—教材 IV. 059

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 129539 号

出 版 者 南京大学出版社
社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093
网 址 <http://press.nju.edu.cn>
出 版 人 左 健

丛 书 名 高等职业教育课程改革示范教材
书 名 应用物理基础
主 编 于正权
责任编辑 孟庆生 编辑热线 025 - 83597087
照 排 南京紫藤制版印务中心
印 刷 盐城市华光印刷厂
开 本 787×1092 1/16 印张 14 字数 338 千
版 次 2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷
印 数 1—3600
ISBN 978 - 7 - 305 - 05228 - 6
定 价 26.00 元

发行热线 025 - 83594756
电子邮箱 sales@press.nju.edu.cn(销售部)
nupress1@public1.ptt.js.cn

* 版权所有,侵权必究

* 凡购买南大版图书,如有印装质量问题,请与所购
图书销售部门联系调换

前 言

进入新世纪,我国的高等职业教育迅速发展,各院校办学思路更加清晰,教学内涵日益丰富.如何使作为基础课程之一的物理适应高等职业发展的需要,我们一直在探索.从2005年起,我院启动了物理课程改革,作为课程改革重点内容的教材编写是我们关注的重点.为此,我们和校外同行进行了广泛的交流,了解兄弟院校课程开设情况;和专业课老师进行了深入的探讨,了解后续学习对物理课程的要求,目的是力求编写出一本具有高职院校特色的物理教材.今年,在南京大学出版社的支持下,我们将几年来使用的讲义进行整理加工,以正式教材的形式出版.在编写中,我们坚持“凸显高职特色,强化能力本位”的原则,把“必须”、“够用”及为专业课程服务、为学生发展服务的思想贯穿编写过程.具体而言,本教材有如下特点:

(1) 在不影响物理学基本体系的前提下,注重内容的整合,在强调基础知识的同时,注意知识的提升.

(2) 强调物理与生活、技术的联系,体现应用性、实践性、生活性,反映新知识、新技术、新工艺、新方法.

(3) 在内容上采取模块式的编写方式,注意各章和实验的相对独立性,各专业可以根据不同的需要选择教学内容.

(4) 在每章的开始部分设置了“导学”内容,试图对每章的重点作一概述,便于学生在学习中把握重点.

(5) 为开好知识的“窗口”,预留与应用技术的接口,在书中设置了“阅读材料”.

(6) 在书中设置了“思考与讨论”栏目,通过设计各种问题,开拓学生的不断思维、创新与实践的空间.

本教材由江苏省淮安信息职业技术学院物理教研室老师编写,于正权担任主编,鲍正祥、鲍立峰担任副主编.具体分工如下:第1章、实验部分由周洪亮编写;第2章、第4章由鲍立峰编写;第3章由于正权编写;第5章、第10章由胡鹏编写;第6章、第7章由鲍正祥编写;第8章、第9章由徐磊编写.常州机电职业技术学院郝超副院长担任主审,在此谨致谢忱.

在南京大学出版社的大力支持下,本教材得以顺利出版,在此表示衷心的感谢.

尽管我们作了许多的努力,但由于水平有限,书中难免有不当或错误之处,恳请读者批评指正,以便再版时改进.

编 者

2008年7月

目 录

第 1 章 力与运动	1
§ 1.1 力的概念	1
§ 1.2 力的合成与分解	6
§ 1.3 力矩 力矩的平衡	9
§ 1.4 描述运动的一些概念	11
§ 1.5 牛顿定律	15
第 2 章 功和能	27
§ 2.1 功 功率	27
§ 2.2 动能 动能定理	30
§ 2.3 势能	32
§ 2.4 机械能守恒	34
第 3 章 刚体定轴转动	39
§ 3.1 刚体定轴转动的描述	39
§ 3.2 刚体定轴转动的转动定律 刚体的角动量守恒定律	43
§ 3.3 刚体定轴转动的动能定理	47
第 4 章 振动和波	52
§ 4.1 简谐振动	52
§ 4.2 单摆	53
§ 4.3 阻尼振动 共振	55
§ 4.4 机械波	57
第 5 章 恒定电流	67
§ 5.1 电流 欧姆定律	67
§ 5.2 电阻定律 电阻的串、并联	69
§ 5.3 电功 电功率	74
§ 5.4 电源 电动势	76
§ 5.5 闭合电路欧姆定律 基尔霍夫定律	79

第 6 章 静电场	88
§ 6.1 引力场	88
§ 6.2 电荷守恒定律 真空中的库仑定律	89
§ 6.3 电场 电场强度	91
§ 6.4 静电场高斯定理	94
§ 6.5 电势能 电势	95
§ 6.6 等势面 电势差与场强的关系	98
§ 6.7 静电场中的导体	99
第 7 章 电容器 电容 电介质	108
§ 7.1 电容器 电容	108
§ 7.2 电容器的连接	110
§ 7.3 电容器的充电和放电过程	112
§ 7.4 电容器的能量 静电场的能量	113
第 8 章 稳恒磁场	118
§ 8.1 磁场 磁感应强度	118
§ 8.2 电流的磁场	122
§ 8.3 磁场对通电导线的作用力	126
§ 8.4 磁场对运动电荷的作用力	130
第 9 章 电磁感应 电磁波	139
§ 9.1 电磁感应定律	139
§ 9.2 互感和自感	146
§ 9.3 电磁振荡 电磁波	152
第 10 章 光学基础	160
§ 10.1 光的折射	160
§ 10.2 全反射	163
§ 10.3 透镜	167
§ 10.4 光电效应 光量子学说	169
实验	176
预备知识	176
实验 1 测定规则形状固体的密度	179
实验 2 刚体转动惯量的测量	182

实验 3	研究单摆振动的周期及测定重力加速度	187
实验 4	测导体的电阻	189
实验 5	惠斯登电桥	192
实验 6	测电源电动势和内阻	195
实验 7	静电场的描绘	197
实验 8	霍尔效应	199
实验 9	感应电流方向的研究	203
实验 10	多用表的基本原理与使用一	205
实验 11	多用表的基本原理与使用二	209
实验 12	牛顿环	213

第 1 章

力与运动

导学:在本章,我们学习描述力与运动的有关概念和定理.本章的重点是力的概念,力的合成运算,描述运动的几个物理量(位移、速度、加速度),直线运动的运动规律,牛顿定律.

2 000 多年前阿基米德就得出物体在水中受到浮力的结论;我国战国时代,人们就懂得使用司南指示方向;在宋代,人们将火药用于战争,可见人类很早就认识力、利用力.同时,自然界中存在着各式各样的物体,所有这些物体都在运动,从我们日常看到的汽车奔驰、百米赛跑,到大至月球、太阳的运行,小至分子、原子的运动等都呈现着运动的形态.力与运动之间存在着密切的联系.

§ 1.1 力的概念

1.1.1 力

力是用于概括自然界物体之间的作用的名词,如生活中我们经常说的风力、水力、电力、引力、推力、摩擦力.力是物体对物体的作用.力的符号是 F ,单位是牛顿,符号 N.

力的定义指出了力的物质性,没有脱离物体而存在的力.也指出力的相互性,一个孤立的物体不会产生力.某物体受力,一定有另一个物体对它施加作用,也一定对施加作用的物体产生反作用,即力是不能离开施力物体和受力物体而独立存在的.如图 1.1.1,小球受到重力的作用,施力物体是地球,同时小球对地球产生向上的引力;小球还受到弹簧秤拉力作用,施力物体是弹簧秤,同时小球对弹簧产生向下的拉力.

力是抽象的、看不见摸不着的,那么我们怎么知道是否有力存在?当我们看到球踢飞了,或看到球压扁了,就知道有力作用于球,也就是说我们是通过物体受到力的作用后,作用力产生的效果来判断力的存在.当力作用于物体上时,会使物体产生形状的改变,或者运动状态的改变,或者两者同时发生.

从力的性质上分,有些力是要接触才能产生的,如摩擦力、弹力;有些力不需要接触就能

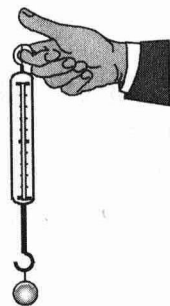


图 1.1.1 弹簧秤拉小球

产生,如重力、万有引力、电场力、磁场力.这些不直接接触的物体产生力的作用也并不是无距离的瞬间就产生,而是通过“场”的传播进行的,如引力场、磁场、电场等.

从力的作用效果来分类,有压力、推力、拉力、阻力、动力等.同一种力可以产生不同的效果,同一个效果也可以来源于不同性质的力.如图 1.1.2,人推小车和拉小车从性质看都是弹力,但效果不同,一个是推力,一个是拉力.

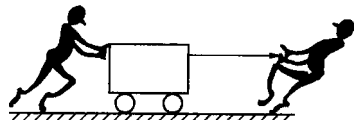


图 1.1.2 力的效果

力作用于物体上时,影响力的效果的基本要素有三个,即力的大小、方向、作用点.我们把力的大小、方向、作用点称为力的三要素.一个力的三要素确定了,这个力的作用效果就完全确定了.

要表达一个力,一般用力的图示法.方法是从力的作用点作一根带箭头的有向线段,箭头的方向表示力的方向,线段的长短表示力的大小,这样力的三要素都用这条线段表示出来了.为了表达力的大小,在图旁要注明比例.

图 1.1.3 表示力 F 的大小为 35 N,作用于点 O ,方向水平向右.

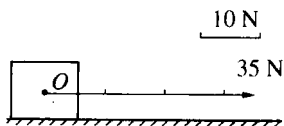


图 1.1.3 力的图示

在表达力时,同时要注明力的大小和方向.物理中还有一些类似的量,我们把像力这样的既有大小又有方向的量称为**矢量**,而只有大小没有方向的量称为**标量**,如温度、长度等.通常用加粗的符号表示矢量,如 $\mathbf{F}$,或在符号上加上单箭头上标,如 $\vec{F}$.

在人们的生活中,最常见的力有三种,即重力、弹力、摩擦力.

1.1.2 重力

宇宙中任何两个物体之间都有相互吸引力,这种力叫**万有引力**.不管物体大小,大到天体,小到原子、质子,不管距离远近,万有引力都是客观存在的.万有引力是由于物体具有质量而在物体之间产生的一种相互作用力.质量分别为 M 和 m 的两个质点,相距为 r 时,它们之间的引力为

$$F = G \frac{Mm}{r^2} \quad (1.1.1)$$

G 为万有引力常数, $G = 6.672\,59 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$, 1798 年,英国物理学家卡文迪许用扭秤第一次测量出万有引力常数.

在地球上,物体由于受到地球吸引而产生的力称为**重力**,重力的符号是 G ,大小与物体的质量成正比,方向竖直向下.实验表明质量为 m 的物体受到的重力 G 为

$$G = mg \quad (1.1.2)$$

式中 g 称为重力加速度,计算中 g 取 9.8 N/kg ,即 9.8 m/s^2 .重力加速度在地球上某个点是个常数,在地球上不同地方的重力加速度略有不同,赤道地区比两极小些.

物体的每一部分都要受到重力作用.为了研究问题方便,从效果上看,我们可以认为物体受到的重力集中作用在一点,这一点叫物体的**重心**.质量分布均匀的物体,重心的位置只跟物体的形状有关.均匀三角板的重心在三条中线的交点,均匀球的重心在球心,均匀圆饼的重心在圆心.形状不对称和质量分布不均匀的物体,重心的位置跟质量的分布情况有

关,物体的重心也可能不在物体上,如圆环. 电线杆的重心靠近粗的一侧. 起重机的重心,随着提升重物的质量和高度而变化,重心随重物质量增大而前移,随提升高度增大而上移. 图 1.1.4 表示几种常见形状物体的重心.

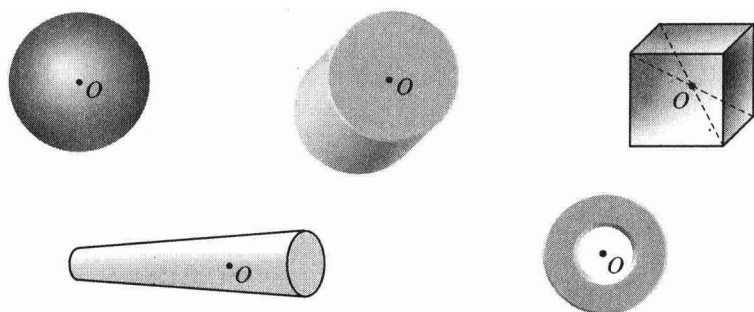


图 1.1.4 物体的重心

重心的高低和支持面的大小决定物体的稳定程度. 由于重力总是竖直向下的,物体都有一个趋势使自身的重心降低以保持稳定,重心越低物体的稳定性就越好,例如赛车的底盘都做的尽可能低.

通常可以采用悬挂法找物体的重心,见图 1.1.5.

1.1.3 弹力

用手捏橡皮泥、用力拉弹簧、用力压塑料瓶,它们的形状会发生变化. 杂技演员在弹簧床上可以蹦得很高;不小心走进沼泽地后脚陷进去拔不出来,这是为什么呢?

用竹竿推动圆木,竹竿就会弯曲,即竹竿的形状发生了改变,见图 1.1.6. 又如弹簧不受力时,长度不变,受到压力,就会缩短,受到拉力又会伸长,可见这些力有个共同的特点:使物体发生形状的改变.

把一块木板压弯后,放手木板又恢复原形,把弹簧拉长后也能恢复原形. 这些物体称为弹性体,它们在受力时发生形变,外力消失后又恢复原状. 能够恢复原来形状的形变,叫做弹性形变.

一块橡皮泥可以捏成各种形状,并且它将保持这种形状,棉线弯曲后的形状也不再复原. 不能够恢复的形变,叫做塑性形变.

用力压弹簧,弹簧发生形变,而产生恢复力,其方向与形变的方向相反,并且外力越大,弹簧形变越大,产生的恢复力也越大,见图 1.1.7. 物体在发生形变时,会产生作用力使自身形状恢复,这个力称为弹力. 弹力产生的条件是两个物体相互接触,并且发生形变. 弹力的方向垂直于接触面,跟物体

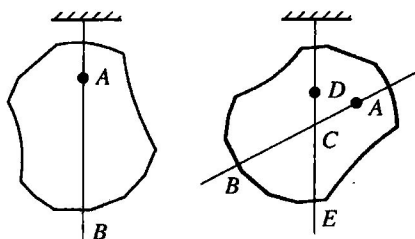


图 1.1.5 悬挂法找物体重心



图 1.1.6 弹性形变

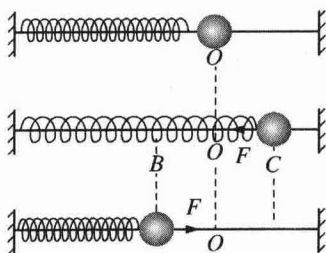


图 1.1.7 弹力

恢复形状的方向一致. 弹力的作用点是两个相互作用的物体接触点(面).

弹力是在两个相互接触的物体之间, 并且要有形变才产生, 不接触的物体不能产生弹力. 形变有时很明显, 有时不是太明显, 这时我们就要根据力的效果来判断有无弹力的存在.

物体的弹性形变是有限的, 一旦超过物体的承受能力, 物体的形变就不可恢复. 但只要有形变, 不管是否能完全恢复, 形变过程都有力的作用.



思考与讨论

浮力是不是弹力?

实验表明, 弹力的大小跟弹性形变的长度 x 成正比, 这个规律称为胡克定律, 用公式表示为

$$F = -kx \quad (1.1.3)$$

式中 k 称为弹簧的劲度系数, 负号表示弹性力与形变反方向, 即弹性力总是指向要恢复它原来长度的方向, 单位牛每米, 符号 N/m . k 在弹性限度内是个常数.

【例 1.1.1】 有一根弹簧的长度是 0.15 m , 在下面挂上 0.5 kg 的物体后, 长度变成了 0.18 m , 求弹簧的劲度系数.

解 根据胡克定律, 拉力 $F = 0.5 \times 9.8 \text{ N}$, 弹簧形变 $x = 0.18 \text{ m} - 0.15 \text{ m}$, 弹簧的劲度系数

$$k = F/x = -mg/(l - l_0) = \frac{0.5 \times 9.8}{0.18 - 0.15} = 163 \text{ N/m}$$

1.1.4 摩擦力

在道路上有积雪积冰时, 汽车会打滑; 磁悬浮列车在空气中运行, 速度远高于地面上的火车; 用钉子、绳子可以牢牢将物体扣住. 这些都是因为摩擦力在作用.

彼此接触并作相对运动的两个物体, 接触面粗糙, 在接触面上产生的阻碍物体相对运动的力叫做滑动摩擦力, 如图 1.1.8 所示. 滑动摩擦力的方向沿着接触面与相对运动的方向相反. 实验证明, 滑动摩擦力 F 的大小与压力 F_N 成正比, 比例系数 μ 称为动摩擦因数, 用公式表示为

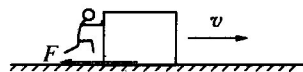


图 1.1.8 滑动摩擦力

$$F = \mu F_N \quad (1.1.4)$$

μ 是个常数, 没有单位, 它取决于两个相互接触的物体的材质. 表 1.1.1 列出一些常见材料之间的动摩擦因数.

表 1.1.1 几种材料的动摩擦因数

材料	钢-钢	钢-钢(润滑)	木-木	木-金属	钢-冰	橡胶-路面
μ	0.25	0.07	0.30	0.20	0.02	0.7

【例 1.1.2】 质量 1 kg 的木块放在桌面上, 已知木块与桌面间的动摩擦因数 $\mu = 0.3$, 求木块在桌面上滑动时受到的滑动摩擦力 F_f .

解 物体在桌面上受到的重力为 $G = mg$, 木块与桌面之间的弹力 $N = G$. 由 $F_f = \mu F_N$

直接将数值代入公式得滑动摩擦力大小 $F_f = 0.3 \times 1 \times 9.8 = 29.4 \text{ N}$, 方向平行于桌面, 与木块运动方向相反。

当两个物体相互接触, 接触面粗糙, 并且有弹力作用, 同时两个物体有相对运动趋势时, 产生的阻碍物体相对运动趋势的力称为**静摩擦力**。静摩擦力作用于接触面, 方向与物体相对运动趋势方向相反, 大小在达到最大静摩擦力之前是个变量。最大静摩擦力类似滑动摩擦力, 与滑动摩擦力大致相等, 也与压力成正比, 与摩擦因数有关。

在达到最大静摩擦力前, 物体受到的静摩擦力是个不定的值, 要根据物体受力和运动情况综合判断。如图 1.1.9 所示, 当物体静止或处于平衡状态时, 静摩擦力的大小随推力大小的变化而变化直到最大静摩擦力。最大静摩擦力等于使物体刚开始运动所需的最小推力。而在图 1.1.10 中, 物体静止, 不论压力 F 大小, 静摩擦力又始终等于物体的重力。

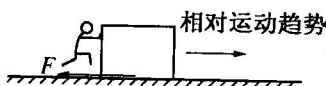


图 1.1.9 静摩擦力

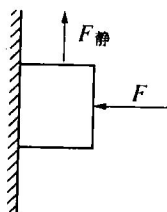


图 1.1.10 静摩擦力



阅读材料

测量原子的摩擦力

早在 1989 年, 美国 IBM 的 Donald M Eigler 就用 35 个氦原子拼写出了“IBM”三个字母, 从此, IBM 的科学家们就不断地“摆弄”着原子, 以期探索出用单个原子构建特定结构和电子元件的方法(图 1.1.11)。1991 年 IBM 科学家演示了一个原子开关。

2008 年, 利用原子力显微镜(AFM), IBM 公司研究人员与德国科学家一道, 首次测定出了驱动单个原子在平面上运动所需要的力。他们发现, 让单个钴原子在光滑的铂平面运动需要的力为 210 pN(皮牛), 而在铜表面仅为 17 pN。这是因为铜的“粘性”没有白金大, 因此能更轻松地推动钴原子。这一基础性研究成果有望为未来设计出原子尺度的设备(比如计算机芯片和小型化存储装置)提供重要信息和依据。

实验示意图(图 1.1.12): 棕色区域为原子力显微镜的振动尖端, 黄色为钴原子, 灰色为滑动材料的表面原子。螺旋线代表作用力。

道理很简单, 要在纳米世界中制造特定的结构, 就需要用较强的原子间相互作用让该坚固的地方坚固, 而用较弱的化学键令需要移动的地方可移动。

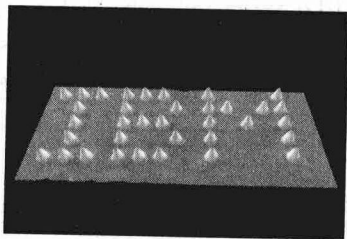


图 1.1.11 原子拼成的 IBM

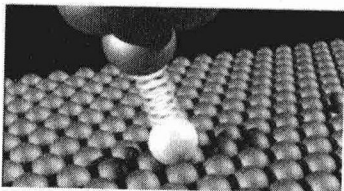


图 1.1.12 实验示意图

在实验中, Heinrich 等人与德国雷根斯堡大学的合作者一道, 用原子力显微镜的尖端推动单个钴原子. 为了精确测量力的大小和方向, 该尖端与一微型音叉(tuning fork, 常见于石英手表中)绑定在一起. 初始时, 显微镜尖端与音叉每秒钟振动 2 万次, 当尖端接触并推动钴原子之后, 音叉就会像跳板一样变弯曲, 振动频率也会突然发生微小减弱. 通过这种变化, 研究人员就能分析计算出显微镜尖端与钴原子间的相互作用力.

实际上, 准确地说, 单个原子不会滚动, 而所谓的光滑表面实际上也并不光滑. 因此, 研究中钴原子会在一个个锯齿状小栅格中稍事停顿, 看起来更像是在鸡蛋堆里推一颗鸭蛋. 这种阻力(宏观上就是摩擦力)实际上来自于钴原子和滑动表面原子间化学键重组的能量需要, 因此要推动钴原子得有外力帮助重新调整钴原子和滑动表面的结合力. 当数十亿个原子相加时, 这种阻力就会形成摩擦力.

§ 1.2 力的合成与分解

力的种类较多, 但是力作用于物体时的规律却是共同的. 在分析物体受力时, 我们不考虑力的种类, 而是从力的效果和力的三要素入手, 将所有的力都抽象成具有共性的大小、方向、作用点的物理量, 这时所有的力均遵循相同的运算规则.

1.2.1 力的合成

一个人用力 F 把一桶水慢慢地提起, 或者两个人同时用 F_1, F_2 两个力共同把同样的一桶水慢慢地提起, 那么力 F 的作用效果与 F_1, F_2 的共同作用的效果是一样的. 如果几个力都作用在物体的同一点, 或者它们的作用线相交于同一点, 这几个力叫做共点力. 如果力 F 与共点力 F_1, F_2 的作用效果是一样的, 那么力 F 就叫做 F_1 与 F_2 的合力, F_1 与 F_2 叫做 F 的分力. 求 F_1 和 F_2 的合力 F , 就叫力的合成.

力的合成遵循平行四边形定则. 如果用表示两个共点力 F_1 和 F_2 的线段为邻边作平行四边形, 那么, 合力 F 的大小和方向就可以用平行四边形的对角线表示出来, 这叫做力的合成的平行四边形定则, 如图 1.2.1 所示.

两个互成角度的力 F_1, F_2 的夹角在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 间变化, 那么合力大小为

$$F_{\text{合}} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\angle F_1OF_2} \quad (1.2.1)$$

合力方向从 O 点指向平行四边形的对角线方向.

【例 1.2.1】力 $F_1 = 45 \text{ N}$, 方向竖直向上, 力 $F_2 = 60 \text{ N}$, 方向水平向右, 用作图法求解 F_1, F_2 合力 $F_{\text{合}}$ 的大小和方向.

解 如图 1.2.2 所示, $F_{\text{合}} = 75 \text{ N}$, 方向与水平成 36.9° 右上.

【例 1.2.2】如果两个分力 F_1, F_2 , 它们的夹角不定, 求其合力的范围.

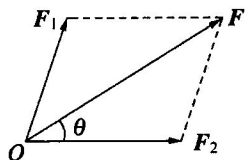


图 1.2.1 平行四边形定则

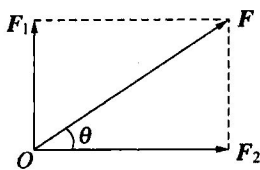


图 1.2.2

解 $F_{\max} = F_1 + F_2$ (两力夹角为 0°), $F_{\min} = |F_1 - F_2|$ (两力夹角为 180° , $F_{\text{合}}$ 与大的力方向一致), 当夹角在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 之间, 力的大小介于 $F_{\min}$ 与 $F_{\max}$ 之间.

如果是三个以上共点力作用在物体上, 又如何求它们的合力呢? 如图 1.2.3, 步骤是先求出任意两个力的合力 $F_{\text{合}1}$, 再求出这个合力跟第三个力的合力 $F_{\text{合}2}$, 直到把所有的力都合成进去, 就得到这些力的总合力. 每一次合成都遵循平行四边形定则.

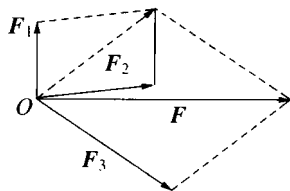


图 1.2.3 三个共点力的合成

1.2.2 力的分解

力的分解是力的合成的逆运算, 如果两个力 F_1, F_2 的作用效果和一个力 F 的作用效果相同, 这两个力 F_1, F_2 就叫 F 的分力. 求一个已知力的分力叫力的分解. 根据定义就可知, 力的分解是力的合成的逆运算, 既然分力可以用平行四边形定则求合力, 同理合力也可以用平行四边形定则来分解.

力的合成结果是唯一的, 力的分解结果是不是唯一的呢? 因为力的合成和分解需要根据力的作用效果来进行, 分力与合力是在相同作用效果的前提下才能相互替换, 所以在分解某力时, 其各个分力应该有实际的意义, 在这个意义上讲, 力的分解是唯一的.

【例 1.2.3】放在水平面上的物体受到一个斜向上方的拉力 F , 这个力与水平面成 θ 角, 求力 F 的分解.

解 力 F 有水平向前拉物体和竖直向上提物体的效果, 那么 F 的两个分力可以表示在水平和竖直两个方向.

方向确定, 根据平行四边形定则, 力的分解就是唯一的; 如图 1.2.4 所示, F 分解为竖直方向的分力 F_1 , 水平方向的分力 F_2 , 大小分别是 $F_1 = F \cos \theta$, $F_2 = F \sin \theta$.

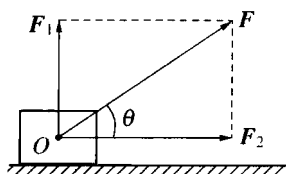


图 1.2.4

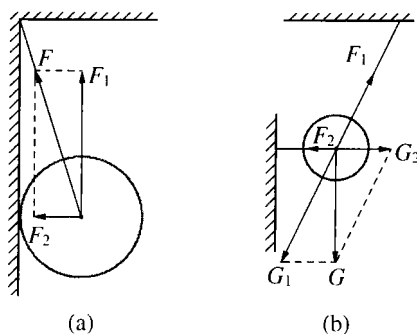


图 1.2.5

【例 1.2.4】(1) 如图 1.2.5(a) 所示, 小球挂在墙上, 绳与墙的夹角为 θ , 可以分解为哪两个方向的力来代替 F ? (2) 如图 1.2.5(b) 所示, 小球受到绳拉力 F_1, F_2 和重力作用, F_1 与重力成 θ 角, 如何分解重力 G ?

解 (1) 球靠在墙上处于静止状态, 拉力 F 在竖直方向的分力 F_1 产生向上提拉小球的效果来平衡球受的重力, 水平方向的分力 F_2 向左紧压墙面来平衡墙对球的弹力.

(2) 重力 G 产生两个效果, 一个沿 F_1 的反方向的分力 G_1 来平衡 F_1 , 一个沿 F_2 的反方向

的分力 G_2 来平衡 F_2 ; $G_1 = G/\cos \theta$, $G_2 = G \tan \theta$. 这里分力 G_1 比 G 要大.

在【例 1.2.4】中, 以 O 为原点, 水平方向为 x 轴、竖直方向为 y 轴建立直角坐标系, 力 F 沿 x, y 方向分解为水平方向的分力 $F_x = F \cos \theta$, 和竖直方向的分力 $F_y = F \sin \theta$, 结果如图 1.2.6, 将力沿两个互相垂直的方向进行分解, 称为力的正交分解.

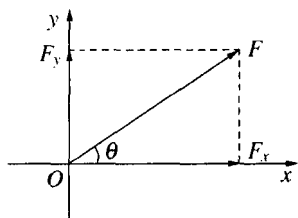


图 1.2.6 力的正交分解

1.2.3 共点力的平衡

物体保持静止或匀速直线运动(或匀速转动)称为物体处于平衡状态. 如果有多个力作用于物体, 并且这些力作用于同一点, 在这些共点力作用下物体保持平衡的条件是物体受到的合外力等于零, 用公式表示

$$\sum_{i=1}^n F_i = 0 \quad (1.2.2)$$

也可以说某一个力与所有另外几个力的合力平衡.

【例 1.2.5】当人在雪橇上沿斜坡匀速下滑时, 分析将人和雪橇做为一个整体的受力情况.

解 这里将人和雪橇做为一个整体, 受力分析如图 1.2.7 所示. 当雪橇匀速下滑时, 处于平衡状态, 雪橇受到重力 G , 斜坡支持力 F_2 , 摩擦力 F_1 的作用, 三个力的合力为零, 用公式表示为 $G + F_1 + F_2 = 0$. 根据力的合成的平行四边形定则, 有 $F_1 = G \sin \theta$, $F_2 = G \cos \theta$.

在使用平衡条件时, 也可以不求合力, 采用分量表达形式

$$\sum_{i=1}^n F_{x_i} = 0 \text{ 和 } \sum_{i=1}^n F_{y_i} = 0 \quad (1.2.3)$$

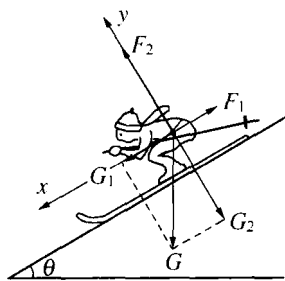


图 1.2.7

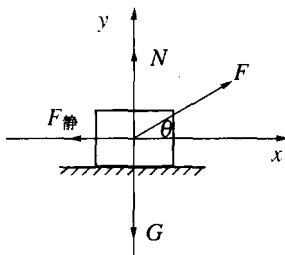


图 1.2.8

【例 1.2.6】如图 1.2.8, 重量 $G = 100 \text{ N}$ 的物体置于粗糙水平面上, 给物体施加一个与水平方向成 $\theta = 30^\circ$ 的拉力 F , $F = 10 \text{ N}$, 物体仍处于静止状态, 作图求地面对物体的静摩擦力; 地面对物体的支持力.

解 力的图示如图 1.2.8.

首先确立水平、竖直方向分别为坐标轴 x, y , 将力 F 分解为 F_x 和 F_y 两个方向的分力, $F_x = F \cos 30^\circ$, $F_y = F \sin 30^\circ$, 根据物体平衡的条件, 在水平方向物体受到两个力的作用, F_x 和静摩擦力 $F_{\text{静}}$, 两个力平衡, $F_x = F_{\text{静}}$; 在竖直方向受到三个力的作用: 重力 G , 物体受到

的支持力 N, F_y , 且 $G = N + F_y$. 所以地面对物体的静摩擦力 $F_{\text{静}} = 8.7 \text{ N}$, 方向水平向左, 地面对物体的支持力 $N = 95 \text{ N}$, 方向竖直向上.

§ 1.3 力矩 力矩的平衡

起重机上使用滑轮可以让我们能够容易吊起重物, 使用扳手可以轻易扳动螺丝, 使用自行车可以比行走更快, 杂技演员走钢丝时使用一根长杆保持平衡, 这些都是物体定轴转动和力矩的问题. 古希腊物理学家阿基米德说过“给我一个支点和一根足够长的杠杆, 就能把地球撬起来”, 这句话形象而精辟的阐明了力矩的意义.



图 1.3.1 阿基米德

1.3.1 力矩

物体有两种运动方式: 平动和转动. 物体可以发生平动、转动或者两者同时发生. 转动效果不仅与力的大小有关, 还与力的作用点位置和力的方向有关, 即与力矩有关.

力矩 $\boldsymbol{F}$ 对参考点 O 的力矩为力 $\boldsymbol{F}$ 的作用点 A 相对于参考点 O 的位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 与力 $\boldsymbol{F}$ 的矢量积(叉乘)

$$\boldsymbol{M} = \boldsymbol{r} \times \boldsymbol{F} \quad (1.3.1)$$

力矩是矢量, 垂直于由矢量 $\boldsymbol{r}$ 和 $\boldsymbol{F}$ 所决定的平面, 指向由右手定则确定: 右手的四指由 $\boldsymbol{r}$ 的方向经小于 180° 的角转向 $\boldsymbol{F}$ 的方向, 伸直的拇指所指的方向就是力矩 $\boldsymbol{M}$ 的方向. 力矩的大小等于以 $\boldsymbol{r}$ 和 $\boldsymbol{F}$ 为邻边的平行四边形的面积, 即

$$|\boldsymbol{M}| = |\boldsymbol{r}| \cdot |\boldsymbol{F}| \sin \angle(\boldsymbol{r}, \boldsymbol{F}) \quad (1.3.2)$$

力矩的单位是牛·米, 符号是 $\text{N} \cdot \text{m}$.

力矩的大小也可以表示为力 $\boldsymbol{F}$ 和力臂 L 的乘积

$$\boldsymbol{M} = \boldsymbol{F} \cdot \boldsymbol{L} \quad (1.3.3)$$

力臂 L 是转动轴到力的作用线的垂直距离, 注意不是转动轴到力的作用点的距离. 如果力的作用线通过转动轴, 则这个力的力臂为零, 因此力矩也是零.

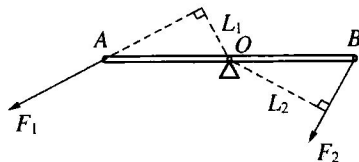


图 1.3.2 力矩

力矩对物体作用时, 使物体发生转动状态的改变.

物体绕轴转动有两个不同的转向, 或者是顺时针转动, 或者是逆时针转动, 为了区别力矩的这两种不同作用效果, 常规定使物体绕逆时针方向转动的力矩为正值, 使物体绕顺时针方向转动的力矩为负值. 有了这样的规定后, 力矩的运算就可以用代数运算法则进行运算.

注意物体绕轴转动的两个不同转向, 并不是力矩的方向, 物体的转动方向与力矩的方向是两个完全不同的概念.

通过力矩的定义可知, 通过改变力臂的长短, 可以改变力矩的大小, 以较小的力和较长的力臂获得足够的力矩是我们常用的方法. 大多数的机械结构中都离不开传动装置和转动

装置,以及力矩的传递.

1.3.2 有固定转轴物体的平衡

一个有固定转动轴的物体,在力矩的作用下,如果保持静止或匀速转动,我们称这个物体处于转动平衡状态.

物体转动平衡的条件是所有力对转动轴的力矩的代数为零,即

$$\mathbf{M}_1 + \mathbf{M}_2 + \mathbf{M}_3 + \cdots + \mathbf{M}_i + \cdots = 0 \quad (1.3.4)$$

或者

$$\sum_{i=1}^n \mathbf{M}_i = 0 \quad (1.3.5)$$

在分析有关力矩平衡问题时也常写成 $M_{\text{逆}} = M_{\text{顺}}$. 对有固定转动轴物体的平衡问题,其关键是计算力矩.

应用有固定转动轴物体的平衡条件解决问题的基本方法是:

- (1) 明确研究对象,即绕固定转动轴的物体是哪个物体;
- (2) 分析物体受力(大小和方向),画出受力分析图;
- (3) 选取坐标轴、转动轴,找出各个力对转动轴的力臂和力矩(包括大小和方向);
- (4) 根据平衡条件 $\sum_{i=1}^n \mathbf{M}_i = 0$ 列方程求解.

1.3.3 两个平衡条件的综合应用

几个物体相互作用处于平衡状态时,往往要同时用到共点力平衡条件和力矩平衡条件,这时要找到相互间的关系,利用这些关系综合求解.

【例 1.3.1】如图 1.3.3 所示,BO 是一根质量均匀的横梁,重量 $G_1 = 80 \text{ N}$,BO 垂直于墙面,BO 的一端可绕 B 点转动,另一端用钢绳 AO 拉着,横梁保持水平,与钢绳的夹角 $\theta = 30^\circ$,在横梁的 O 点挂一个重物 D,重量 $G_2 = 240 \text{ N}$. 求:

- (1) 钢绳对横梁的拉力 F_1 ; (2) B 点对横梁的作用力的方向.

解 (1) 本题中的横梁是一个有固定转动轴 B 的物体; 分析横梁的受力,横梁共受到三个力的作用:绳 AO 对 O 点拉力 F_1 ,横梁受到的重力 G_1 ,物体 D 对 O 点拉力 F_2 ;

找到三个力的力臂并写出各自的力矩: F_1 的力矩

$$\mathbf{M}_1 = F_1 l \sin \theta, G_1 \text{ 的力矩 } \mathbf{M}_2 = \frac{1}{2} G_1 l, F_2 \text{ 的力矩 } \mathbf{M}_3 = G_2 l.$$

根据力矩平衡条件有 $F_1 l \sin \theta - \frac{1}{2} G_1 l - G_2 l = 0$,代入数据求得 $F_1 = 560 \text{ N}$.

(2) 根据共点力的平衡,横梁受到 4 个力的作用, F_1, F_2, G_1 的合力向左下,所以 B 点对横梁的作用力的方向为向右上方.

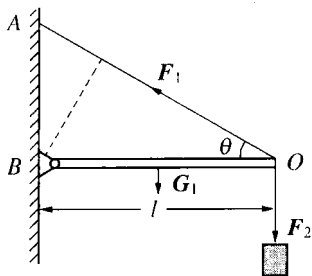


图 1.3.3