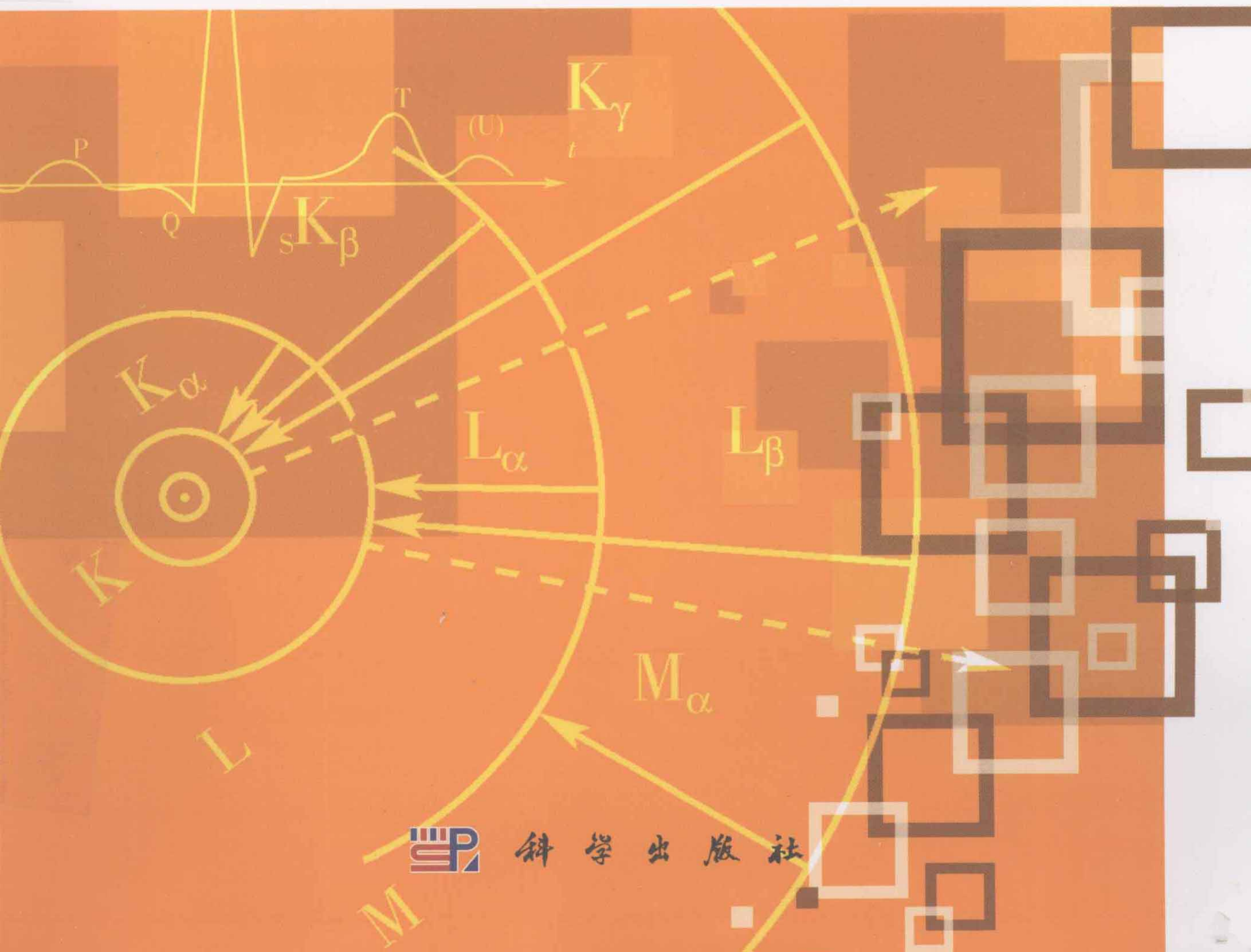
普通高等教育“十二五”规划教材

全国高等医药院校规划教材

物理学

第3版

侯俊玲　邵建华　刚　晶　主编



科学出版社

普通高等教育"十二五"规划教材
全国高等医药院校规划教材

物　理　学

第 3 版

侯俊玲　邵建华　刚　晶　主编

科　学　出　版　社
北　京

内 容 简 介

本教材是在2009年第2版的基础上，由北京、上海、辽宁等全国十余所高等医药院校的专家教授参照教育部对高等医药院校物理学教学的基本要求，总结多年来教学改革的经验，吸取了国内外相关教材的优点编写修订而成的第3版教材。同时还配有《物理学实验》和《物理学习题指导》。本书共十三章，包括力学、热力学、分子物理学、电磁学、声学、光学、原子物理学和量子物理学等内容。其主要特点是"少而精"，在保持物理学基本理论的系统性的前提下，突出医药院校物理学的特色，注重物理学在医药学中的应用，同时为学生学习其他专业课程打下坚实的基础。

本书可供全国高等医药院校医药学等各专业本科生使用，也可作为成人教育，生命科学、卫生管理等相关专业以及医药工作者和爱好者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

物理学 / 侯俊玲，邵建华，刚晶主编．—3版．—北京：科学出版社，2012.6
普通高等教育"十二五"规划教材 · 全国高等医药院校规划教材
ISBN 978-7-03-034874-6

Ⅰ. 物… Ⅱ. ①侯… ②邵… ③刚… Ⅲ. 物理学-医学院校-教材 Ⅳ. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第128841号

策划编辑：杨　扬　曹丽英 / 责任校对：李　影
责任印制：肖　兴 / 封面设计：范璧合

科学出版社 出版
北京东黄城根北街16号
邮政编码：100717
http://www.sciencep.com

北京市安泰印刷厂 印刷
科学出版社发行　各地新华书店经销
*
2003年6月第　一　版　　开本：787×1092　1/16
2012年6月第　三　版　　印张：13 1/2
2012年6月第十二次印刷　　字数：315 000

定价：29.80元

（如有印装质量问题，我社负责调换〈文林〉）

《物理学》第3版编委会名单

主　编　侯俊玲　邵建华　刚　晶

副主编　黄　浩　季成杰　柴　英　李　光　高建平　郭晓玉　王　力　韦相忠　鲁玮瑗

编　委　（按姓氏汉语拼音排序）

蔡　卓　（广西中医药大学）
陈继红　（河南中医学院）
高建平　（甘肃中医学院）
葛黎新　（陕西中医学院）
郭晓玉　（河南中医学院）
黄　浩　（福建中医药大学）
孔志勇　（山东中医药大学）
李维峰　（北京中医药大学）
刘　慧　（成都中医药大学）
罗来成　（广东药学院）
邵建华　（上海中医药大学）
王冬梅　（黑龙江中医药大学）
王　力　（天津中医药大学）
王文龙　（长春中医药大学）
危　芹　（山东中医药大学）
邬瑞光　（北京中医药大学）
叶　红　（上海中医药大学）
朱予民　（天津中医药大学）
柴　英　（大连医科大学）
刚　晶　（辽宁中医药大学）
高清河　（辽宁中医药大学）
顾柏平　（南京中医药大学）
侯俊玲　（北京中医药大学）
季成杰　（山东中医药大学）
李　光　（长春中医药大学）
林　蓉　（上海中医药大学）
鲁玮瑗　（首都医科大学）
彭春花　（上海中医药大学）
隋娜娜　（山东中医药大学）
王　礼　（大连医科大学）
王　勤　（贵阳中医学院）
王蕴华　（天津中医药大学）
韦相忠　（广西中医药大学）
谢仁权　（贵阳中医学院）
张　莉　（北京中医药大学）

第3版前言

当前，随着各种现代科学技术日新月异的迅猛发展，各个学科之间不断产生交叉、渗透、融合。物理学理论的完善和科学技术的进步很好地带动了其他学科的发展，特别是物理学为生物学、医药学的发展提供了现代化的研究手段和测量仪器，如电子显微镜、X射线断层扫描仪、核磁共振扫描仪、电子内窥镜等，并且为生命科学提供了理论概念和方法。

本教材是根据教育部对中医药院校各类专业物理学教学大纲的要求，为适应我国高等医药院校物理学现代化教育的需要而编写的。本系列教材的第1版即《物理学》、《物理学实验》及《物理学习题指导》已于2003年6月出版；第2版在第1版的基础上进行了修订。本教材是在第1版及第2版教材的基础上作了进一步的修订，补充和完善了当今物理学的新进展及物理学在医药领域中的应用。

物理学在中医药教育中起着重要作用，是学习其他专业课的必备基础。物理学的原理和方法在医药学中的应用越来越多，通过本课程的讲授不仅可以使学生很好地掌握物理学理论与知识，而且还能更好地树立正确的科学观念和思维模式。

本教材考虑到医药院校的特点及学时数的限制，在前两版的基础上，把知识点进行了整理、浓缩，并遵循“少而精”的原则，这就要求在兼顾物理学体系完整的前提条件下，要重点阐述与医药相关的内容，把与医药密切相关的物理学知识作为切入点来阐述重要的物理学知识，从而提高学生的学习兴趣。本教材的编写着重理论性与实用性相结合，科学性与系统性相结合的教学原则。

本教材共分十三章，对第一章、第十章、第十一章进行了较大篇幅的修改，同时对各章相应的内容也作了适当的调整和增补，更好地体现了物理学在医药方面的应用及发展，突出了理论与实践、科学与技术的有机结合。本教材是以培养适应中医药发展需要的研究型与应用型人才为目的，以满足中医药现代化发展为核心，适合高等中医药院校的本科生使用，同样也适合各类医学院校的成人教育、远程教育、中医药工作者以及爱好者使用，也可作为相关专业的参考书。

书中存在的不妥之处，恳请专家和读者提出宝贵意见，以便进一步修订。

编　者

2012年3月

目　　录

第一章 刚体力学及物体的弹性

在中学物理中，我们所讨论的力学原理主要是对质点而言的，当然我们所研究的物体有它的大小与形态，但是只要这个物体的大小和形状与所讨论的问题无关紧要时，我们都可以用质点这个模型来表示这个物体。

但是，质点这个模型在很多问题中并不适用，如物体做转动时，物体上各个点的运动规律并不相同，物体上各个点的运动与物体的大小、形状都有关，这样就不能再把这个物体看做质点了，为了研究这类物体的运动，我们再引入另外一个理想模型——**刚体**。所谓刚体是指形状完全确定并且在外力作用下，它的形状及大小都不发生改变的物体。这是一个理想模型，因为真实的物体受到力的作用时，它的形状总是或多或少地发生改变，但是当物体的形变很小时，我们可以把它近似看成刚体。

第一节 刚体的转动

一、刚体的平动与转动

1. 刚体的平动

刚体在运动过程中，若刚体上任意两点的连线始终与初始位置平行，如图 1-1 中 AC 连线，则此刚体的运动就称为**平动**。

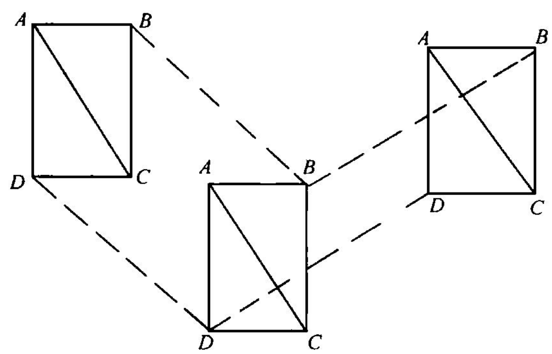


图 1-1 刚体的平动

由图 1-1 可知，当刚体做平动时，因各个点的运动情况与质心的运动情况完全一样，所以此时可以把这个刚体看成一个质点。关于质点的运动在中学物理学中已涉及，在此就不再赘述。因此，描述质点运动的物理量以及质点运动学的规律对刚体的平动都是适用的。

2. 刚体的转动

若刚体内的各个点在运动过程中都围绕同一直线做圆周运动，这种运动就称为**转动**。这一直线称为转轴。若转轴是固定不动的，则刚体的转动就称为定轴转动。例如，电动机的转子绕其转轴的运动。

二、刚体定轴转动的描述

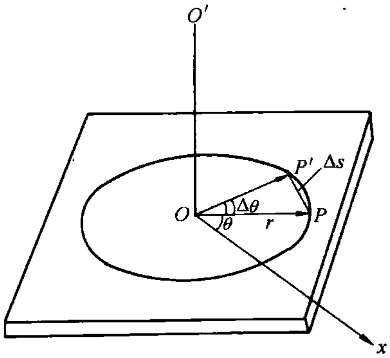


图 1-2 刚体的转动

1. 角坐标、角位移

为了描述刚体的转动，取一垂直于转轴的平面作为转动平面，如图 1-2 所示，OO'为转轴，Ox 轴是位于转动平面内的一条与 OO'轴垂直的参考线。我们研究该转动平面上的一点 P，从圆心 O 到 P 点的连线即 P 点的矢径$\boldsymbol{r}$，它与Ox线的夹角 θ 就是**角坐标**，该参量可以描写刚体的位置。在转动过程中，角 θ 随时间变化，设在 Δt 时间内，P 点移到 P'的位置，P 点的矢径扫过 $\Delta\theta$ 角，也就是刚体转过 $\Delta\theta$ 角，则 $\Delta\theta$ 称为刚体在 Δt 时间内的**角位移**。它是描述刚体转动程度的物理量，而且是一个矢量。角位移的单位是**弧度**。

2. 角速度

描述刚体转动快慢的物理量是**角速度**，用 ω 表示。角位移的变化量 $\Delta\theta$ 与所经过的时间 Δt 的比值，称为这段时间的平均角速度，用 $\bar{\omega}$ 表示，即

$$\bar{\omega}=\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

当 $\Delta t\to 0$ 时，平均角速度的极限值称为 t 时刻的瞬时角速度，简称角速度，用 ω 表示，即

$$\omega=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\theta}{\Delta t}=\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} \qquad (1\text{-}1)$$

角速度的单位为弧度/秒(rad/s)，角速度也是矢量。

角位移、角速度都是矢量，它们的方向常用右手螺旋定则表示，如图 1-3 所示。例如，角速度矢量的表示方法是：在转动轴上取一有向线段，当右手四指与大拇指相垂直时，让四个手指代表刚体转动的方向，这时大拇指所指的方向即代表角速度矢量的正方向，而所取的有向线段长度即可按一定比例代表角速度的大小。

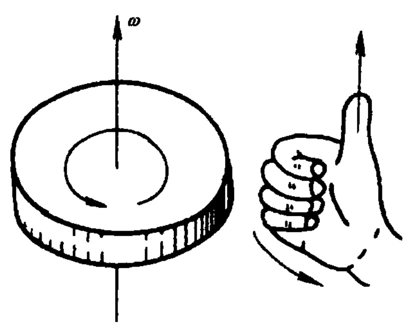


图 1-3 螺旋法则

3. 角加速度

如果刚体在 t_1 时刻的角速度为 ω_1，经过 Δt 时间后，角速度变为 ω_2，则在 Δt 时间内，刚体角速度的变化量为 $\Delta\omega=\omega_2-\omega_1$，我们把 $\Delta\omega$ 与这段时间间隔 Δt 的比值，称为刚体在这段时间内的平均角加速度，用$\bar{\beta}$表示，即

$$\bar{\beta}=\frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

当 $\Delta t\to 0$ 时，平均角加速度的极限值称为瞬时角加速度，简称**角加速度**，并用 β 表示，即

$$\beta=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\omega}{\Delta t}=\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2\theta}{\mathrm{d}t^2} \qquad (1\text{-}2)$$

角加速度的单位为弧度/秒^2(rad/s^2)，角加速度也是矢量，角加速度的方向与 $\mathrm{d}\omega$ 方向一致。

4. 角量与线量的关系

我们通常把描写质点运动的量称为线量，把描写刚体转动的量称为角量。

当刚体做定轴转动时，刚体上各点在做圆周运动，所以刚体上某一点的运动可以用中学物理学学过的位移、速度、加速度等来加以描述，既然角量与线量都可以用来描述刚体的运动规律，那么线

量与角量之间必然有一定的关系。

如图 1-2 所示，刚体上某点 P 在 Δt 时间内转过的角位移为 $\Delta\theta$，从而到达 P' 处，此时点 P 发生的位移大小为 Δs，当 Δt 很小时，弦长可近似等于弧长，即

$$\Delta s = r \cdot \Delta\theta$$

或

$$\mathrm{d}s = r \cdot \mathrm{d}\theta \tag{1-3}$$

式中，r 为 P 点到转轴的垂直距离。根据速度的定义，P 点的速度为

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{r \cdot \Delta\theta}{\Delta t} = r \cdot \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

即

$$v = r \cdot \omega \tag{1-4}$$

(1-4)式若写成矢量式则为

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{r} \tag{1-5}$$

若将(1-4)式两侧对时间 t 求导数，又可得

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = r\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}$$

上式等号左侧是质点的切向加速度，用 a_t 表示，$\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}$为刚体的角加速度，故有

$$a_t = r \cdot \beta \tag{1-6}$$

由于向心加速度 $a_n = v^2/r$，即 $a_n = r\omega^2$，所以刚体上任一点的总加速度 $\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}_t + \boldsymbol{a}_n$，其大小为

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2} \tag{1-7}$$

第二节　转动动能　转动惯量

一、刚体的转动动能

当刚体绕固定轴转动时，我们可以将刚体看成是由许许多多的质量元组成的，假设这些质量元的质量分别为 $\Delta m_1, \Delta m_2, \cdots, \Delta m_n$，这些质量元对应于转轴的距离分别为 $r_1, r_2, \cdots, r_n$，各质量元绕转轴转动的角速度都等于 ω，但各质量元的线速度不同，分别为 $v_1, v_2, \cdots, v_n$，刚体的动能就是各个质量元的动能之和，即

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{1}{2}\Delta m_1 v_1^2 + \frac{1}{2}\Delta m_2 v_2^2 + \cdots + \frac{1}{2}\Delta m_n v_n^2 \\ &= \sum \frac{1}{2}\Delta m_i v_i^2 \\ &= \sum \frac{1}{2}\Delta m_i r_i^2 \omega^2 \\ &= \frac{1}{2}\left(\sum \Delta m_i r_i^2\right)\omega^2 \end{aligned} \tag{1-8}$$

二、转 动 惯 量

(1-8) 式中的 $\sum \Delta m_i r_i^2$ 用 I 来表示，称为刚体对某给定转轴的**转动惯量**。因此，刚体的动能又可写成

$$E_k = \frac{1}{2}I\omega^2 \tag{1-9}$$

若把(1-9)式与质点的动能$\frac{1}{2}mv^2$ 相对照，(1-9) 式中的 ω 相当于质点运动的 v，I 相当于质点的质量

m,m是表示质点运动惯性大小的物理量,类似地,I则是表示刚体转动惯性大小的物理量。转动惯量I的计算如下:

$$I=\sum \Delta m_i r_i^2 \tag{1-10}$$

若刚体质量分布是连续的,则刚体的转动惯量I可写成积分的形式,即

$$I=\int r^2\cdot \mathrm{d}m=\int r^2\cdot\rho\cdot \mathrm{d}V \tag{1-11}$$

式中,$\mathrm{d}V$表示$\mathrm{d}m$处的体积元;ρ表示刚体在某体积元$\mathrm{d}V$处的密度,r表示体积元到转轴的距离。转动惯量的单位是千克·米^2($\mathrm{kg\cdot m^2}$)。

刚体的转动惯量不仅取决于刚体总质量的大小,还和刚体的形状、大小及各部分质量的分布有关,同一物体由于轴的位置不同,转动惯量也不同。

如图1-4所示,棒长为l、质量为m的均匀细棒,其截面面积为S,转轴与棒垂直。

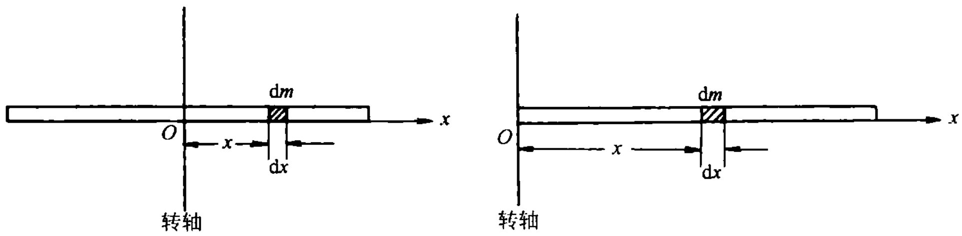


图1-4 转轴位置不同

当转轴位于棒中心处时,转动惯量为

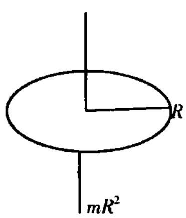
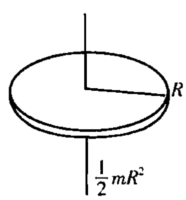
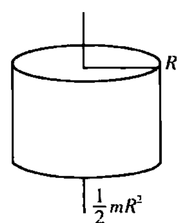
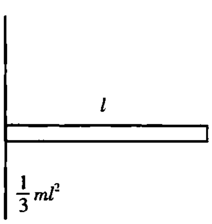
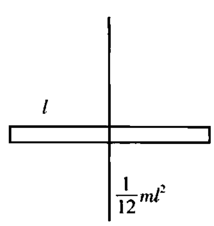
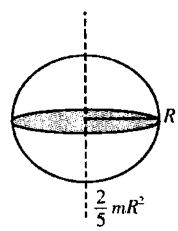
$$I=\int x^2\cdot \mathrm{d}m=\int x^2\cdot\rho\cdot S\cdot \mathrm{d}x=\int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}}x^2\cdot\frac{m}{S\cdot l}\cdot S\cdot \mathrm{d}x=\frac{1}{12}ml^2$$

当转轴位于棒的端点时,转动惯量为

$$I=\int x^2\cdot \mathrm{d}m=\int x^2\cdot\rho\cdot S\cdot \mathrm{d}x=\int_0^l x^2\cdot\frac{m}{S\cdot l}\cdot S\cdot \mathrm{d}x=\frac{1}{3}ml^2$$

对于几何形状比较简单,密度分布均匀或有规律的物体,可以用数学方法求出物体的转动惯量,否则需用试验方法测定。表1-1给出了几种常见物体的定轴转动的转动惯量,以供参考。

表1-1 几种特殊形状物体的转动惯量

细圆环	薄圆盘	圆柱体
 R mR^2	 R $\frac{1}{2}mR^2$	 R $\frac{1}{2}mR^2$
均匀细棒	**均匀细棒**	**球体**
 l $\frac{1}{3}ml^2$	 l $\frac{1}{12}ml^2$	 R $\frac{2}{5}mR^2$

例 1-1 如图 1-5 所示，试求一质量为 m、半径为 R 的均匀圆盘围绕过其圆心且垂直于圆面的定轴转动的转动惯量。

解 取半径为 r、宽度为 $\mathrm{d}r$ 的细圆环为质量元 $\mathrm{d}m$，设圆盘的面密度即单位面积的质量为 σ，则$\sigma=\frac{m}{\pi R^2}$，那么质量元 $\mathrm{d}m$ 应为

$$\mathrm{d}m=\sigma\cdot 2\pi r\cdot \mathrm{d}r$$

所以

$$I=\int r^2\cdot \mathrm{d}m=\int_0^R r^2\cdot\sigma\cdot 2\pi r\cdot \mathrm{d}r$$

$$=2\pi\sigma\int_0^R r^3\cdot \mathrm{d}r=\frac{1}{2}mR^2$$

即此圆盘的转动惯量为$\frac{1}{2}mR^2$。

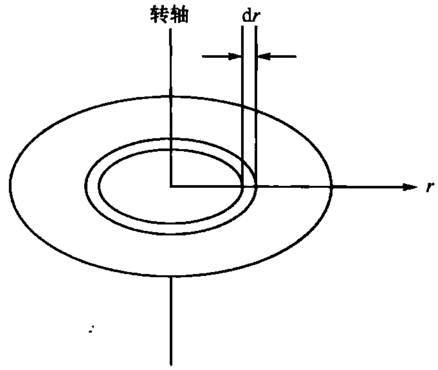


图 1-5

三、质心坐标的确定

若把刚体看成是由质点系组成的，那么对这些质点可以写出牛顿第二定律，即

$$m_i\boldsymbol{a}_i=\boldsymbol{f}_i+\boldsymbol{F}_i \tag{1-12}$$

式中，m_i 表示第 i 个质点的质量；$\boldsymbol{a}_i$ 是它的加速度；$\boldsymbol{F}_i$ 是它所受的外力；$\boldsymbol{f}_i$ 是其他质点对它的作用力（内力）。显然这类方程的数目应该与质点的数目相等，由于方程的数目非常大，解方程找出质点的运动状态是非常困难的。

但是，试验证明，在刚体上存在一特殊点，该点的加速度 $\boldsymbol{a}_C$ 等于刚体上所受的外力的矢量和 $\boldsymbol{F}$ 与刚体的质量 m 的比值，即

$$\boldsymbol{a}_C=\frac{\boldsymbol{F}}{m} \tag{1-13}$$

也就是说，可以认为刚体的全部质量和所受的一切外力都集中在这一点上，并且可以按质点运动规律求出它的加速度，这样一个特殊点称为刚体的质量中心或简称**质心**。

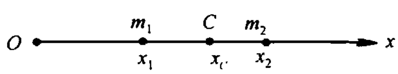


图 1-6

下面我们讲解如何确定质心的位置，首先讨论由两个质点所组成的质点系，设两个质点的质量分别为 m_1 和 m_2，在两质点的连线上作一坐标轴即 Ox 轴，如图 1-6 所示。设 m_1 的坐标为 x_1，m_2 的坐标为 x_2，假设 C 点为质心，则 C 点的坐标 x_C 应满足下式：

$$m_1(x_C-x_1)=m_2(x_2-x_C)$$

即

$$x_C=\frac{m_1x_1+m_2x_2}{m_1+m_2}$$

对于由三个质点组成的质点系，可以先就其中两个质点按上述方法确定出质心，把该质心看成是一个新的质点，然后用同样的方法把此新的质点与第三个质点的质心找出来，最后确定的这个质心才是这三个质点所组成的质点系的质心。据上述道理，对于多个质点所组成的系统，质心的位置由下列三个公式确定：

$$x_C=\frac{\sum m_ix_i}{\sum m_i} \tag{1-14}$$

$$y_C=\frac{\sum m_iy_i}{\sum m_i} \tag{1-15}$$

$$z_C = \frac{\sum m_i z_i}{\sum m_i} \tag{1-16}$$

四、平行轴定理与垂直轴定理

在计算刚体的转动惯量时，经常用到平行轴定理及垂直轴定理。

1. 平行轴定理

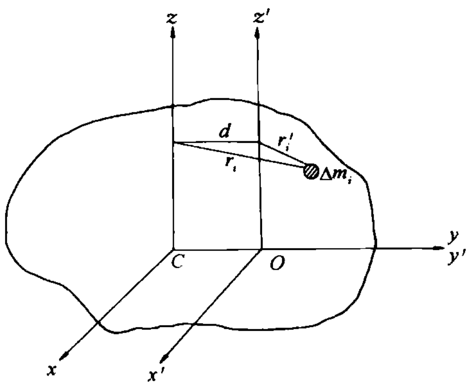


图 1-7 平行轴定理

同一刚体对于不同的轴有不同的转动惯量，设有两个转动轴，其中 Cz 轴通过刚体的质心，C 点为刚体的质心；另一与它平行的轴是 Oz' 轴，如图 1-7 所示。取坐标系 $Cxyz$ 及 $Ox'y'z'$，且使 Cy 轴与 Oy' 轴重合，Cz 轴与 Oz' 轴之间的垂直距离为 d；质量元 Δm_i 到 Cz 轴及 Oz' 轴的距离分别为 r_i 及 r_i'；Δm_i 在 $Cxyz$ 坐标系及 $Ox'y'z'$ 坐标系中的坐标分别为 (x_i, y_i, z_i) 及 (x_i', y_i', z_i')。按照转动惯量的定义，则刚体对 Cz 轴及对 Oz' 轴的转动惯量分别为

$$I_{Cz} = \sum \Delta m_i r_i^2 = \sum \Delta m_i (x_i^2 + y_i^2)$$

$$I_{Oz'} = \sum \Delta m_i {r'_i}^2 = \sum \Delta m_i ({x'_i}^2 + {y'_i}^2)$$

Δm_i 在两坐标系中的坐标有如下关系：

$$x_i' = x_i$$
$$y_i' = y_i - d$$
$$z_i' = z_i$$

将上述关系代入 $I_{Oz'}$ 的表达式中可得

$$\begin{aligned} I_{Oz'} &= \sum \Delta m_i [x_i^2 + (y_i - d)^2] \\ &= \sum \Delta m_i (x_i^2 + y_i^2) + d^2 \sum \Delta m_i - 2d \sum \Delta m_i y_i \end{aligned}$$

式中，$\sum \Delta m_i y_i$ 根据质心坐标确定的(1-15)式可得

$$\sum \Delta m_i y_i = y_C \cdot \sum \Delta m_i$$

因 y_C 为刚体质心的坐标，令刚体质心在坐标系 $Cxyz$ 中的坐标为(0,0,0)即与坐标原点重合，故 $y_C = 0$，因而有 $\sum \Delta m_i y_i = 0$，又因为 $I_{Cz} = \sum \Delta m_i (x_i^2 + y_i^2)$，于是

$$I_{Oz'} = I_{Cz} + md^2 \tag{1-17}$$

(1-17)式表明，刚体对于某轴的转动惯量等于刚体对于通过其质心且与该轴平行的轴的转动惯量加上刚体的质量与两轴间距离平方的乘积。这就是**平行轴定理**。

2. 垂直轴定理

设有一个厚度均匀的薄板，取坐标系 $Oxyz$，Oz 轴垂直于薄板，Ox 轴及 Oy 轴都位于薄板内，Ox 轴、Oy 轴、Oz 轴都交于薄板内一点 O，如图 1-8 所示。则薄板对 Oz 轴的转动惯量为

$$\begin{aligned} I_{Oz} &= \sum \Delta m_i (x_i^2 + y_i^2) \\ &= \sum \Delta m_i x_i^2 + \sum \Delta m_i y_i^2 \\ &= I_{Ox} + I_{Oy} \end{aligned} \tag{1-18}$$

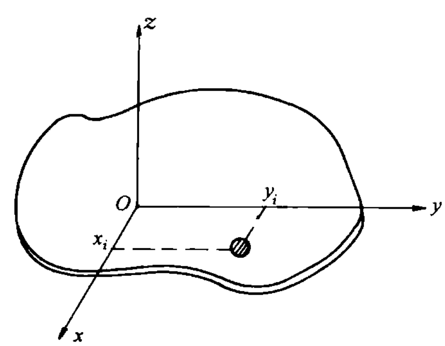


图 1-8 垂直轴定理

(1-18)式表明：薄板对于垂直于板面的轴 Oz 的转动惯量

等于薄板对于位于板面内与 Oz 轴交于一点的两相互垂直的轴 Ox 和 Oy 的转动惯量之和。这就是**垂直轴定理**。

例 1-2　试求质量为 m、半径为 R 的均匀圆盘对于通过它边缘上某点 A 且垂直于盘面的轴的转动惯量 I_A，如图 1-9 所示。

解　我们已知质量为 m、半径为 R 的圆盘对于通过其质心且垂直于盘面的轴的转动惯量 $I_C=\frac{1}{2}mR^2$。

根据平行轴定理，则有

$$I_A=I_C+mR^2$$

$$=\frac{1}{2}mR^2+mR^2=\frac{3}{2}mR^2$$

所以，此圆盘对于通过它边缘上某点 A 且垂直于盘面的轴的转动惯量为 $\frac{3}{2}mR^2$。

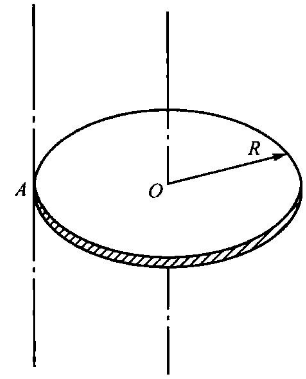


图 1-9

例 1-3　试求质量为 m、半径为 R 的均匀薄圆盘对于通过它直径的轴 OP 的转动惯量 I_P 为多少？如图 1-10 所示。

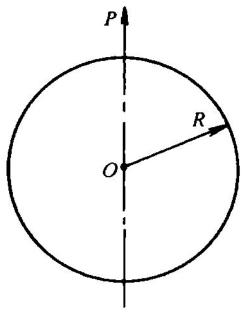


图 1-10

解　因为圆盘对于通过其圆心 O 且垂直于盘面的轴的转动惯量 $I_O=\frac{1}{2}mR^2$。

利用垂直轴定理可得

$$I_O=2I_P$$

所以

$$I_P=\frac{1}{2}I_O=\frac{1}{4}mR^2$$

即薄圆盘围绕通过其直径轴的转动惯量为 $\frac{1}{4}mR^2$。

第三节　转动定律

一、力　矩

一个具有固定转动轴的刚体，在外力作用下，刚体转动状态的改变不仅与力的大小、方向有关，而且与力的作用点的位置有关。这时我们使用力矩的概念。

设刚体所受的外力 $\boldsymbol{F}$ 在垂直于转轴 OO' 的平面内，如图 1-11 所示。力的作用线与转轴之间的垂直距离 d 称为力臂。力与力臂的乘积称为**力矩**。用 M 表示，即

$$M=Fd \tag{1-19}$$

设力的作用点是 P，P 点的位置矢量为 $\boldsymbol{r}$，从图上可求出 $d=r\cdot\sin\phi$，ϕ 是矢量 $\boldsymbol{F}$ 与 $\boldsymbol{r}$ 间的夹角，所以(1-19)式可以写成

$$M=F\cdot d=F\cdot r\sin\phi \tag{1-20}$$

也可以按右手螺旋法则确定出力矩的方向，并写出矢量表达式

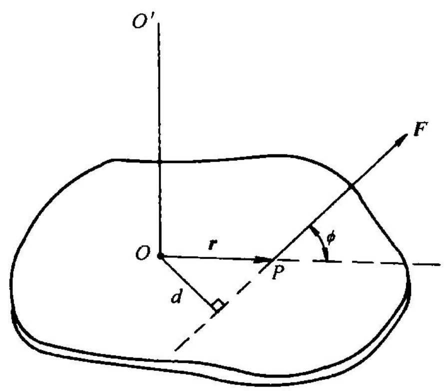


图 1-11

$$\boldsymbol{M}=\boldsymbol{r}\times\boldsymbol{F} \tag{1-21}$$

(1-21)式表明力矩矢量的方向是：当右手四指沿着从 $\boldsymbol{r}$ 的方向，经过小于 180°的角度，转到力 $\boldsymbol{F}$ 的方向，此时大拇指的方向就是力矩的方向。力矩的单位为牛顿·米(N·m)。

如果外力不在垂直于转轴的平面内，那就必须把外力分解成相互垂直的两个分力，一个与转轴平行，另一个与转轴垂直。前者不能使刚体转动，后者才能使刚体转动。

二、转动定律

首先我们先讨论力矩所做的功，如图 1-12 所示，设一刚体在力 $\boldsymbol{F}$ 作用下绕OO'轴转动，当在 $\mathrm{d}t$ 时间内，刚体绕转轴转过一个角位移 $\mathrm{d}\theta$，力 $\boldsymbol{F}$ 作用点的位移 $\mathrm{d}s=r\cdot\mathrm{d}\theta$，力 $\boldsymbol{F}$ 所做的元功为

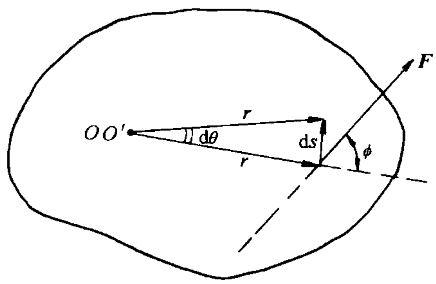


图 1-12 力矩做功

$$\mathrm{d}A=F\cdot\sin\phi\cdot\mathrm{d}s$$
$$=F\cdot\sin\phi\cdot r\cdot\mathrm{d}\theta$$

式中，$F\cdot\sin\phi\cdot r$ 根据(1-20)式可知

$$F\cdot\sin\phi\cdot r=M$$

所以

$$\mathrm{d}A=M\cdot\mathrm{d}\theta \tag{1-22}$$

由功能原理可知，力矩对刚体所做的功应等于刚体转动动能的增量，于是可得

$$M\cdot\mathrm{d}\theta=\mathrm{d}\left(\frac{1}{2}I\omega^2\right)$$

当 I 固定不变时，则有

$$M\cdot\mathrm{d}\theta=I\omega\cdot\mathrm{d}\omega$$

上式两边同时除以 $\mathrm{d}t$ 可得

$$M\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}=I\omega\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}$$

即

$$M=I\beta \tag{1-23}$$

(1-23)式指出，转动刚体的角加速度与作用在刚体上的力矩成正比，与刚体的转动惯量成反比。这一定律称为**转动定律**。

第四节 角动量守恒定律

一、角动量 L

1. 质点的角动量(动量矩)

当我们研究某些物体的运动时，经常会遇到质点绕某一定点或某一定轴转动的情况。例如，原子内电子绕核转动，地球围绕太阳运转，等等。

设某一质点的质量为 m，速度为$\boldsymbol{v}$，则它的动量 $\boldsymbol{p}=m\boldsymbol{v}$，此质点相对于某一固定点 O 的位置矢量为$\boldsymbol{r}$，如图 1-13 所示。则此质点相对于 O 点的角动量(动量矩)$\boldsymbol{L}$ 的定义如下：

$$\boldsymbol{L}=\boldsymbol{r}\times\boldsymbol{p}=\boldsymbol{r}\times m\boldsymbol{v} \tag{1-24}$$

式中，$\boldsymbol{L}$ 的方向垂直于$\boldsymbol{r}$ 与 $\boldsymbol{p}$ 所构成的平面，$\boldsymbol{L}$ 的方向

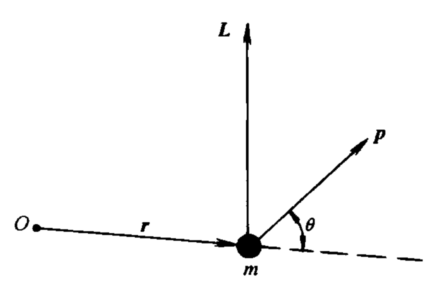


图 1-13 质点角动量的确定