全国高等医药院校药学类第四轮规划教材·配套教材

供药学类专业用

基础物理学学习指导

（第2版）

□ 主编　李　辛

中国医药科技出版社

全国高等医药院校药学类第四轮规划教材·配套教材

基础物理学学习指导

（供药学类专业用）

第 2 版

主　编　李　辛

副主编　陈　曙　章新友　支壮志

编　者　(按姓氏笔画排序)

王　勤(贵阳中医学院)

王小平(第二军医大学)

支壮志(沈阳药科大学)

丘翠环(广东药学院)

刘彦允(四川大学)

李　辛(沈阳药科大学)

张盛华(桂林医学院)

赵　喆(沈阳药科大学)

陈　曙(中国药科大学)

章新友(江西中医药大学)

樊亚萍(西安交通大学)

中国医药科技出版社

内 容 提 要

本书是全国高等医药院校药学类规划教材之一，是与《基础物理学》相配套的辅助教材，是在第一版的基础上修订编写而成。全书共十八章，其内容与教材《基础物理学》各章完全对应，每章由四个部分内容组成，包括“基本要求”、“要点精讲”、“习题与解答”、“补充练习题”。本教材可供高等院校药学类专业本专科师生使用。

图书在版编目（CIP）数据

基础物理学学习指导/李辛主编．—2 版．—北京：中国医药科技出版社，2015.8

全国高等医药院校药学类第四轮规划教材配套教材

ISBN 978 - 7 - 5067 - 7608 - 0

Ⅰ．①基…　Ⅱ．①李…　Ⅲ．①物理学—医学院校—教学参考资料　Ⅳ．①04

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 187264 号

美术编辑　陈君杞
版式设计　郭小平

出版　中国医药科技出版社
地址　北京市海淀区文慧园北路甲 22 号
邮编　100082
电话　发行：010 - 62227427　邮购：010 - 62236938
网址　www.cmstp.com
规格　787 × 1092mm $^{1}/_{16}$
印张　$9^{3}/_{4}$
字数　197 千字
初版　2009 年 8 月第 1 版
版次　2015 年 8 月第 2 版
印次　2015 年 8 月第 1 次印刷
印刷　三河市汇鑫印务有限公司
经销　全国各地新华书店
书号　ISBN 978 - 7 - 5067 - 7608 - 0
定价　22.00 元

前言

本书是与《基础物理学》相配套的辅助教材，是在《基础物理学学习指导》（第一版）的基础上修订而成的。其内容与教材《基础物理学》各章完全对应，由原版教材编写者负责各自对应部分的编写。

本书各章由四个部分组成，包括“基本要求”“要点精讲”“习题与解答”“补充练习题”。各个部分的内容都是编者根据自己多年的教学经验，在对学生基本学习情况了解的基础之上完成。旨在使学生通过对《基础物理学学习指导》的学习，明确学习要求，牢固掌握课程内容，提高学生分析问题、解决问题以及自学的能力。

本书的特点：①每章中教学要求更加具体化，提出了明确的基本要求，对基本概念与基本理论的阐述简明扼要，学生读后可以对照检查自己是否已经达到目标；②在解题过程中，给出了正确运用基本定律解题的方法及解题步骤，并配备了相当数量的典型例题；③密切结合当前医药院校学生的实际学习状况，以较强的针对性设置补充习题，尽可能地使物理知识在医药专业学习中得到应用。

本书是医药院校本科生的学习辅导材料，希望本书不仅能对学生现在学好物理、培养独立的思考能力发挥作用，而且还可以成为今后工作中查阅有关物理问题和公式的极为方便的工具书。

本书在编写过程中，得到了《基础物理学学习指导》第一版主编赵清诚教授的鼎力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于编者学识和水平所限，本书存在不足和疏漏之处，热忱欢迎各位专家及使用本书的教师和同学们批评指正。

最后要特别说明的是，在本书编写过程中我们参考了大量同类教材，在诸多方面得到了启发和受益，在此亦一并表示衷心感谢！

编者

2015 年 4 月

目录

第十五章　光的量子性　/ 117

第十六章　相对论基础　/ 124

第十七章　量子力学基础　/ 133

第十八章　原子核与放射性　/ 141

第一章　刚体的转动

一、基本要求

1. 熟悉刚体定轴转动的角量描述，掌握转动惯量的概念及其简单计算。
2. 掌握力矩、转动动能、角动量、角冲量等基本概念。
3. 掌握转动定律和角动量守恒定律并能熟练应用。
4. 了解进动产生的原因和进动角速度的确定。

二、要点精讲

（一）基本概念

1. 转动惯量　物体转动惯性大小的量度。

（1）质点的转动惯量　$I = mr^2$

（2）刚体的转动惯量　$I = \sum_{i=1}^{n} r_i^2 \Delta m_i$

（3）质量连续分布时物体转动惯量　$I = \int r^2 \mathrm{d}m = \int r^2 \rho \mathrm{d}V$

2. 力矩　产生角加速度的原因。设作用在物体上的力 $\boldsymbol{F}$ 在转动平面内，径矢 $\boldsymbol{r}$ 由轴指向力 $\boldsymbol{F}$ 的作用点，则力矩定义式为

$$\boldsymbol{M} = \boldsymbol{r} \times \boldsymbol{F}$$

其量值为

$$M = rF\sin\varphi$$

3. 角动量（又称动量矩）　物体的转动惯量和角速度的乘积称为物体对转轴的角动量。它是描写物体某瞬时转动运动量大小的物理量，是状态量。定义式为

$$\boldsymbol{L} = I\boldsymbol{\omega}$$

4. 冲量矩　描写力矩在一段时间内累积作用的物理量，是过程量。

（1）力矩在 $\mathrm{d}t$ 时间内的冲量矩　$\boldsymbol{M} \cdot \mathrm{d}t$

（2）力矩在 $t_1 - t_2$ 时间内的冲量矩　$\int_{t_1}^{t_2} \boldsymbol{M} \cdot \mathrm{d}t$

（二）基本规律

1. 转动定律　刚体所受的合外力矩等于刚体的转动惯量与角加速度的乘积，即

$$\boldsymbol{M} = I\boldsymbol{\beta}$$

注意：此定律是瞬时作用规律，且式中 M，I，β 三个量都是对同一转轴而言。

2. 刚体定轴转动动能定理　作用在刚体上合外力矩的功等于刚体转动动能的增量，即

（1）刚体转过 $\mathrm{d}\theta$ 角时　$\mathrm{d}A = M\mathrm{d}\theta = \mathrm{d}E_k$

（2）刚体从 θ_1 转至 θ_2 时　$A = \int_{\theta_1}^{\theta_2} M\mathrm{d}\theta = \Delta E_k = \frac{1}{2}I\omega_2^2 - \frac{1}{2}I\omega_1^2$

3. 角动量定理　作用在刚体上合外力矩的冲量矩等于刚体转动角动量的增量，即

（1）合外力矩作用 $\mathrm{d}t$ 时间　$\boldsymbol{M} \cdot \mathrm{d}t = \mathrm{d}\boldsymbol{L} = \mathrm{d}(I\boldsymbol{\omega})$

（2）合外力矩作用 $t_2 - t_1$ 时间　$\int_{t_1}^{t_2} \boldsymbol{M} \cdot \mathrm{d}t = \boldsymbol{L}_2 - \boldsymbol{L}_1 = I\boldsymbol{\omega}_2 - I\boldsymbol{\omega}_1$

4. 角动量守恒定律　当物体（或系统）所受合外力矩为零时，物体（或系统）的角动量保持不变，即

$$\sum \boldsymbol{L} = \sum I\boldsymbol{\omega} = \text{恒量}$$

该定律对转动惯量变化的物体或系统也成立。

5. 重力矩作用下，陀螺进动角速度

$$\Omega = \frac{mgr}{I\omega}$$

（三）常用公式

1. 角量与线量的关系

$$\mathrm{d}s = r \cdot \mathrm{d}\theta$$

$$v = r\boldsymbol{\omega}$$

$$a_t = r\beta$$

$$a_n = r\omega^2$$

2. 匀变速转动基本公式

$$\omega = \omega_0 + \beta t$$

$$\Delta\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}\beta t^2$$

$$\omega^2 - \omega_0^2 = 2\beta\Delta\theta$$

$$\bar{\omega} = \frac{\omega_2 + \omega_1}{2}$$

3. 常用转动惯量公式

（1）均匀细棒

$$I = \frac{1}{12}ml^2 \quad \text{（轴过中心，垂直于棒）}$$

$$I = \frac{1}{3}ml^2 \quad \text{（轴过端点，垂直于棒）}$$

（2）圆盘（或圆柱）

$$I = \frac{1}{2}mR^2 \quad \text{（轴通过中心，垂直于盘面）}$$

三、习题与解答

1. 一圆盘绕固定轴由静止开始做匀加速转动，角加速度为 3.14rad/s^2。求经过 1s

后盘上离轴 1.0cm 处的切向加速度和法向加速度各等于多少？在刚开始时，该点的切向加速度和法向加速度各等于多少？

解　由题意可知，圆盘做初角速度为零的匀加速转动，其加速度是恒量。在 $t=1\text{s}$ 时，由刚体做匀变速转动时的角速度公式，并考虑到 $\omega_0=0$，则有

$$\omega=\beta t=3.14\text{rad/s}$$

由刚体上任意一个点线量和角量的关系，可求得圆盘上离轴 $r=1.0\text{cm}$ 处的切向和法向加速度分别为

$$a_t=\beta r=3.14\text{cm/s}^2$$

$$a_n=\omega^2 r=9.9\text{cm/s}^2$$

因圆盘做初角速度为零的匀加速转动，所以 $t=0$ 时

$$\beta=3.14\text{rad/s}^2,\quad \omega=0$$

离轴 $r=1.0\text{cm}$ 处

$$a_t=\beta r=3.14\text{cm/s}^2,\quad a_n=\omega^2 r=0$$

2. 一轻绳绕于半径 $r=0.2\text{m}$ 的飞轮边缘，现以恒力 $F=98\text{N}$拉绳的一端，使飞轮由静止开始加速转动，如图 1－1（a)所示，已知飞轮的转动惯量 $I=0.5\text{kg}\cdot\text{m}^2$，飞轮与轴承之间的摩擦不计，求：

（1）飞轮的角加速度；

（2）绳子拉下 5m 时，飞轮的角速度和飞轮获得的动能；

（3）这动能和拉力 F 对物体所做的功是否相等，为什么？

（4）如以重量 $P=98\text{N}$ 的物体 m 挂在绳端（图 1－1b)，飞轮将如何运动？试计算飞轮的角加速度和绳子拉下 5m 时飞轮获得的动能。

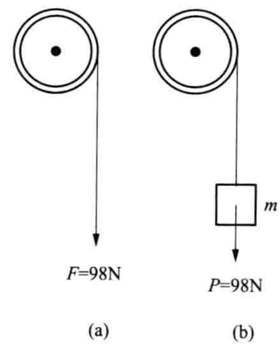

图 1－1

解　（1）因为 $\boldsymbol{M}=I\boldsymbol{\beta}$

所以
$$\beta=\frac{M}{I}=\frac{Fr}{I}=\frac{98\times0.2}{0.5}=39.2\text{rad/s}^2$$

（2）当绳子下拉了 $l=5\text{m}$ 时，飞轮转过的角度

$$\varphi=\frac{l}{r}=\frac{5}{0.2}=25\text{rad}$$

$$\omega^2=2\beta\varphi=2\times39.2\times25=1960$$

$$\omega=44.3\text{rad/s}$$

$$E_k=\frac{1}{2}I\omega^2=\frac{1}{2}\times0.5\times1960=490\text{J}$$

（3）力 $\boldsymbol{F}$ 所做的功

$$A=\boldsymbol{F}\cdot\boldsymbol{l}=98\times5=490\text{J}$$

因为此时除拉力 $\boldsymbol{F}$，再无其他外力做功，且系统势能不变，只有力 $\boldsymbol{F}$ 所做的功使飞轮的动能增加。

（4）按转动定律和牛顿第二定律有

$$Tr = I\beta$$

$$P - T = ma$$

$$a = r\beta \quad T = T'$$

则
$$\beta = \frac{rP}{I + mr^2} = \frac{0.2 \times 98}{0.5 + \frac{98}{9.8} \times 0.2^2} = 21.8\text{rad/s}$$

当重物拉下 5m 时，根据机械能守恒定律，可得

$$Pl = \frac{1}{2}I\omega^2 + \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}I\omega^2 + \frac{1}{2}mr^2\omega^2$$

$$\omega^2 = \frac{2Pl}{I + mr^2}$$

$$E_k = \frac{1}{2}I\omega^2 = \frac{IPl}{I + mr^2} = \frac{0.5 \times 98 \times 5}{0.5 + 10 \times 0.2^2} = 272.2\text{J}$$

而重力做功 $A = Pl = 98 \times 5 = 490\text{J}$

所以 $E_k < A$

因为在这个过程中，是绳子张力对飞轮做功，增加了飞轮的动能，而重力对物体做的功，等于重物动能的增量加上重力反抗绳子张力的功，所以重力做功要大于飞轮的总动能。飞轮以角加速度 21.8rad/s 转动。

3. 固定在一起的两同轴均匀圆柱体可绕其光滑水平对称轴 OO'转动，设大小圆柱的半径分别为 R 和 r，质量分别为 M 和 m，绕在两柱体上的细绳分别与物体 m_1 和 m_2 相连，m_1 和 m_2 则挂在圆柱体的两侧，如图 1－2 所示，设 $R = 0.20\text{m}$，$r = 0.10\text{m}$，$m = 4\text{kg}$，$M = 10\text{kg}$，$m_1 = m_2 = 2\text{kg}$，且开始时离地均为 $h = 2\text{m}$，求：

（1）柱体转动时的角加速度；

（2）两侧细绳的张力。

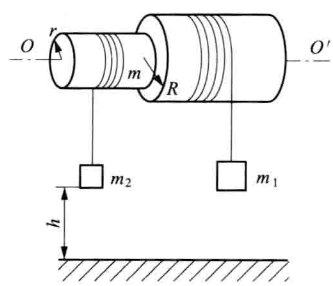

图 1－2

解 设 a_1、a_2、β 分别为 m_1、m_2 和柱体的角速度及角加速度，则有

$$T_2 - m_2 g = m_2 a_2$$

$$m_1 g - T_1 = m_1 a_1$$

$$T'_1 R - T'_2 r = I\beta$$

式中，$T'_1 = T_1 \quad T'_2 = T_2$，$a_1 = R\beta$，$a_2 = r\beta$

$$I = \frac{1}{2}MR^2 + \frac{1}{2}mr^2$$

由上式求得

$$\beta = \frac{Rm_1 - rm_2}{I + m_1 R^2 + m_2 r^2} g = 6.13\text{rad/s}$$

$$T_2 = m_2 r\beta + m_2 g = 2 \times 0.10 \times 6.13 + 2 \times 9.8 = 20.8\text{N}$$

$$T_1 = m_1 g - m_1 R\beta = 2 \times 9.8 - 2 \times 0.2 \times 6.13 = 17.1\text{N}$$

4. 如图 1－3 所示的装置中，物体的质量 m_1、m_2，定滑轮的质量 M_1、M_2，半径 R_1、R_2 都已知，且 $m_1 > m_2$，设绳子长度不变，质量不计，绳子与滑轮间不打滑，而滑轮质量均匀分布，其转动惯量可按均匀圆盘计算，滑轮轴承处光滑无摩擦阻力，试应用牛顿定律和转动定律写出这一系统的运动方程，求出物体 m_2 的加速度和绳的张力 T_1、T_2、T_3。

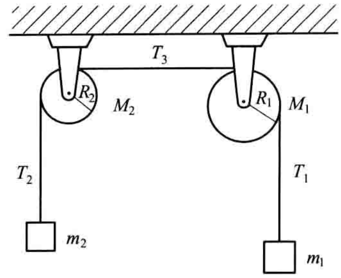

图 1－3

解　按题意，设 m_1 以加速度 a 向下运动，应用牛顿定律和转动定律得

$$m_1 g - T_1 = m_1 a \tag{1}$$

$$T_2 - m_2 g = m_2 a \tag{2}$$

$$(T_1 - T_3)R_1 = \frac{1}{2}M_1 R_1^2 \beta_1 \tag{3}$$

$$(T_3 - T_2)R_2 = \frac{1}{2}M_2 R_2^2 \beta_2 \tag{4}$$

$$\beta_1 = \frac{a}{R_1} \tag{5}$$

$$\beta_2 = \frac{a}{R_2} \tag{6}$$

解方程组得

$$a = \frac{2(m_1 - m_2)}{2(m_1 + m_2) + (M_1 + M_2)}g,\quad T_1 = \frac{4m_1 m_2 + m_1(M_1 + M_2)}{2(m_1 + m_2) + (M_1 + M_2)}g,$$

$$T_2 = \frac{4m_1 m_2 + m_2(M_1 + M_2)}{2(m_1 + m_2) + (M_1 + M_2)}g,\quad T_3 = \frac{4m_1 m_2 + m_1 M_2 + m_2 M_1}{2(m_1 + m_2) + (M_1 + M_2)}g$$

5. 一个质量为 m、长度为 l 的均匀细杆可围绕通过其一端 O 且与杆垂直的光滑水平轴转动，如图 1－4 所示，若将此杆在水平横放时由静止释放，求当杆转动到与水平方向成 30°角时的角速度。

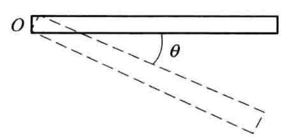

图 1－4

解　(1) 根据转动定律 $M = I\beta$，将 $M = \frac{mgl}{2}\cos\theta$，$I = \frac{1}{3}ml^2$ 代入上式，则有

$$\frac{mgl}{2}\cos\theta = \frac{1}{3}ml^2\beta = \frac{1}{3}ml^2\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{3}ml^2\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}\theta}\cdot\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}$$

式中，$\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} = \omega$，所以将上式化简并同乘 $\mathrm{d}\theta$，得

$$\omega\mathrm{d}\omega = \frac{3g}{2l}\cos\theta\mathrm{d}\theta$$

积分
$$\int_0^\omega \omega\mathrm{d}\omega = \frac{3g}{2l}\int_0^\theta \cos\theta\mathrm{d}\theta$$

得
$$\omega = \sqrt{\frac{3g\sin\theta}{l}} = \sqrt{\frac{3\sqrt{3}}{2l}}$$

（2）用动能定理求解

重力矩所做的功等于转动动能的增量，即

$$\int_0^\theta mg\frac{l}{2}\cos\theta \mathrm{d}\theta = \frac{1}{2}I\omega^2$$

$$\omega = \sqrt{\frac{3g\sin\theta}{l}}$$

（3）用机械能守恒定律求解

运动过程中只有重力矩做功，故系统机械能守恒。取初始的水平位置为重力势能零点，则有

$$\frac{1}{2}I\omega^2 - \frac{1}{2}mg\sin\theta = 0$$

得

$$\omega = \sqrt{\frac{3g\sin\theta}{l}}$$

请同学们自己对这三种解法做评述。

6. 如图 1－5 所示，质量为 m_1、长为 l 的匀质棒竖直悬在水平轴 O 上，一个质量为 m_2 的小球以水平速度 v 与棒下端相碰，碰后速度 v'。在碰撞中因时间很短，棒可看作仍保持竖直位置，求棒在碰撞后的角速度。

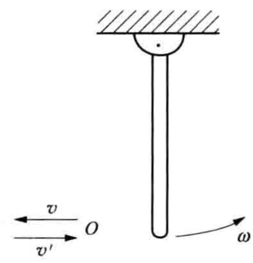

图 1－5

解 小球和棒组成系统受到的外力为重力和轴支持力，这两力对 O 的力矩为零，故系统的角动量守恒。设碰后棒角速度方向为正，故有

$$m_2lv = -m_2lv' + (1/3)m_1l^2\omega$$

所以

$$\omega = \frac{3m_2(v+v')}{m_1l}$$

7. 如图 1－6 所示，质量为 m、长为 l 均匀细棒 AB，可绕一水平光滑轴在竖直平面内转动，轴 O 离 A 端 $l/3$。今使棒从静止开始从水平位置绕轴 O 转动，求起动时的角加速度及转到竖直位置时 A 点的速度和加速度。

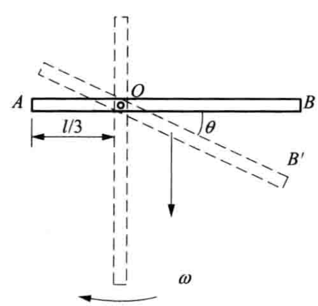

图 1－6

解 棒对轴的转动惯量

$$I = \frac{ml^2}{12} + m\left(\frac{l}{6}\right)^2 = \frac{1}{9}ml^2$$

细棒在转动过程中受重力 mg 及轴支承力 N，N 的力矩为零。因此起动时的角加速度为

$$\beta = \frac{M}{I} = \frac{mgl/6}{ml^2/9} = \frac{3g}{2l} \quad (1)$$

细棒在转动过程中，只有重力矩做功。当细棒转过角度 θ 时，重力矩为 $(mgl\cos\theta)/6$，设转到竖直位置时角速度为 ω，由刚体定轴转动时的动能定理，有

$$\frac{1}{2}I\omega^2 = \int_0^{\frac{\pi}{2}} mg\frac{l}{6}\cos\theta \mathrm{d}\theta = mgl/6 \quad (2)$$

由（1）、（2）可得

$$\omega=\sqrt{\frac{mgl}{3I}}=\sqrt{\frac{3g}{l}}$$

细棒在竖直位置时的角速度可由转动定律得出

$$\beta=M/I=0$$

这样，转到竖直位置时，A 点的速度和加速度分别为

$$v_A=\omega r_A=\sqrt{\frac{lg}{3}}\qquad（方向向右）$$

$$a_t=\beta r_A=0$$

$$a_n=\omega^2 r_A=g\qquad（方向向下）$$

8. 如图 1－7 所示，一块长为 $L=0.60\text{m}$、质量为 $M=1\text{kg}$ 的均匀薄木板，可绕水平轴 OO' 无摩擦地自由转动。当木板静止在平衡位置时，有一质量为 $m=10\times10^{-3}\text{kg}$ 的子弹垂直击中木板 A 点，A 离转轴 OO' 距离 $l=0.36\text{m}$，子弹击中木板前的速度为 500m/s，子弹穿出木板后的速度为 200m/s，求：

（1）木板获得的角速度；

（2）木板的最大摆角；

（3）子弹穿过木棒的过程中，木板所受冲量矩。

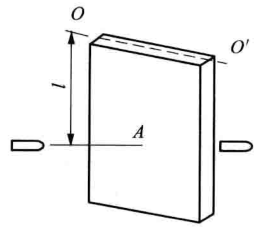

图 1－7

解　（1）以子弹和木棒为系统，角动量守恒有

$$mv_1 l=mv_2 l+I\omega=mv_2 l+ML^2\omega$$

$$m(v_1-v_2)l=\frac{1}{3}ML^2\omega$$

$$\omega=3m(v_1-v_2)l/(ML^2)=9\text{rad/s}$$

（2）由机械能守恒定律有

$$\frac{1}{2}I\omega^2=Mg\frac{L}{2}(1-\cos\theta)$$

$$1-\cos\theta=\frac{\frac{1}{2}I\omega^2}{Mg\frac{L}{2}}=\frac{\frac{1}{2}\times\frac{1}{3}ML^2\omega^2}{Mg\frac{L}{2}}=\frac{\omega^2 L}{3g}=1.653$$

$$\theta=130.8°$$

（3）木板所受冲量矩

$$\int M\text{d}t=\Delta(I\omega)=I\omega=ML^2\omega/3=1.08\text{mNs}$$

9. 如图 1－8 所示，在光滑的水平面上有一木杆，其质量 $m_1=1.0\text{kg}$，长 $l=40\text{cm}$，可绕通过其中点并与之垂直的轴转动。一质量为 $m_2=10\text{g}$ 的子弹，以 $v=200\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 速度射入杆端，其方向与杆及轴正交。若子弹陷入杆中，试求杆得到的角速度。

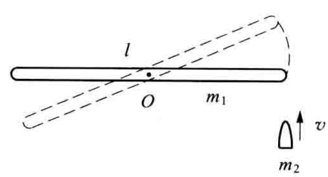

图 1－8

解　射入前子弹对点 O 的角动量为

$$L_1=I_1\omega_0=m_2\left(\frac{l}{2}\right)^2\omega_0$$

$$\omega_0 = \frac{2v}{l}$$

子弹射入杆内，子弹和杆对点 O 的角动量为

$$L_2 = (I_1 + I_2)\ \omega$$

子弹射入杆前后，子弹和杆组成的系统角动量守恒，即 $L_1 = L_2$，所以

$$\omega = \frac{I_2\omega_0}{I_1 + I_2} = \frac{m_2\left(\frac{l}{2}\right)^2\omega_0}{m_2\left(\frac{l}{2}\right)^2 + \frac{1}{12}ml^2} = \frac{6 \times 0.01 \times 200}{(1.0 + 3 \times 0.01) \times 0.40} = 29.1\text{rad/s}$$

四、补充练习题

1. 一个质量为 m 的小球由一绳系着，以角速度 ω_0 在无摩擦的水平面上，绕半径为 r_0 做圆周运动。如图1－9所示，如果在绳的另一端作用一个铅直向下拉力，小球则以半径 $r_0/2$ 做圆周运动。试求：

（1）小球新的角速度；

（2）拉力所做的功。

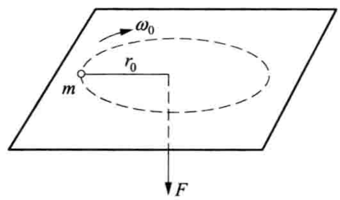

图 1－9

解 （1）小球做圆周运动，在沿轴的外力作用下，其半径发生变化。此力对过 O 的转轴不产生力矩，因而在此过程中没有外力矩作用，角动量守恒，所以

$$I_0\boldsymbol{\omega}_0 = I_1\boldsymbol{\omega}_1$$

$$\omega_1 = \frac{I_0}{I_2}\omega_0 = \frac{mr_0^2}{\frac{1}{4}mr_0^2}\omega_0 = 4\omega_0$$

（2）小球转动半径由 r_0 变为 $r_0/2$ 时，其转动动能增加了，这是由于拉力做功的结果。

$$A = \frac{1}{2}I_1\omega_1^2 - \frac{1}{2}I_0\omega_0^2 = \frac{3}{2}mr_0^2\omega_0^2$$

2. 如图 1－10 所示，A 与 B 两飞轮的轴可由摩擦啮合连接，A 轮的转动惯量 $I_1 = 10\text{kg}\cdot\text{m}^2$，开始时 B 轮静止，A 轮以 $n = 600$ 转/分的转速转动，然后是 A 与 B 连接，因而 B 轮得到加速而 A 轮减速，直到两轮的速度都等于 $n = 200$ 转/分为止。求：

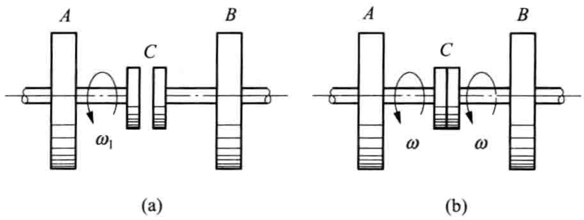

图 1－10

（1）B 轮的转动惯量；

（2）在啮合过程中损失的机械能为多少？

解 （1）两飞轮啮合过程中无外力矩作用，角动量守恒，有

$$I_1\omega_1 = (I_1 + I_2)\omega_2$$

$$I_2 = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_2} I_1 = \frac{n_1 - n_2}{n_2} I_1 = 20\text{kg} \cdot \text{m}^2$$

（2）两飞轮啮合过程中，转动动能的变化为

$$\begin{aligned}\Delta E &= \frac{1}{2}(I_1 + I_2)\omega_2^2 - \frac{1}{2}I_1\omega_1^2 \\ &= \frac{1}{2}(10 + 10) \times \left(\frac{2\pi}{60} \times 200\right)^2 - \frac{1}{2} \times 10 \times \left(\frac{2\pi}{60} \times 200\right)^2 \\ &= -1.32 \times 10^4 \text{J}\end{aligned}$$

3. 一个质量为 M，半径为 R 的转台，以角速度 ω_a 转动，转轴的摩擦略去不计，有一质量 m 的蜘蛛垂直落在转台边缘上。求：

（1）转台新的角速度 ω_b 为多少？

（2）然后蜘蛛慢慢地爬向转台中心，当蜘蛛离转台中心 O 的距离为 r 时，转台的角速度 ω_c 为多少？（设蜘蛛落下前距转台很近，蜘蛛沿径向爬行的速度很慢）

解　以转台和蜘蛛组成的系统为讨论对象，在蜘蛛落下及慢慢爬向中心的过程中，系统均未受到外力矩作用，故角动量守恒。

（1）蜘蛛垂直落在转台边缘时

$$I_0\omega_a = (I_0 + I_1)\omega_b$$

$$\omega_b = \frac{I_0\omega_a}{(I_0 + I_1)} = \frac{\frac{1}{2}MR^2\omega_a}{\frac{1}{2}MR^2 + mR^2} = \frac{M}{M + 2m}\omega_a$$

（2）蜘蛛爬至距中心 r 时

$$I_0\omega_a = (I_0 + I_1)\omega_c$$

$$\omega_c = \frac{I_0\omega_a}{(I_0 + I_2)} = \frac{\frac{1}{2}MR^2\omega_a}{\frac{1}{2}MR^2 + mr^2} = \frac{MR^2\omega_a}{MR^2 + 2mr^2}$$

4. 一个质量为20kg的小孩站在一个半径为3m，转动惯量为450kg·m^2 的静止水平转台边缘上。此转台可绕过通过转台中心的铅直轴转动，转台与轴间摩擦不计。如果此小孩相对转台以1m/s的速率沿转台边缘行走，问转台的角速度有多大？

解　取小孩和转台系统为讨论对象，在小孩相对转台行走的过程中，系统未受到外力矩作用，故角动量守恒，设小孩绕台转动方向为正，则有

$$I_0\omega_0 + I_1(\omega_0 + \omega_1) = 0 \qquad (1)$$

式中，I_0，I_1 分别为转台和小孩对转轴的转动惯量；ω_0 为转台对地面的角速度；ω_1 为小孩相对转台的角速度；$\omega_0 + \omega_1$ 为小孩对地面的角速度，因而

$$\omega_1 = \frac{v}{R} \qquad (2)$$

由（1）、（2）得

$$\omega_0 = -\frac{mR^2}{I_0 + mR^2} \cdot \frac{v}{R} = -\frac{20 \times 3^2}{450 + 20 \times 3^2} \times \frac{1}{3} = -9.52 \times 10^{-2}\text{rad/s}$$

（李辛　陈曙）