

WULIXUE

NEIRONGTIYAO

YU

XITI

物理学内容提要与习题

王 照

主 编

北京大学医学出版社

物理学内容提要与习题

主 编 王 照

副主编 (按姓氏笔划为序)

刘筑闻 苏光郡

赵玉衡 谭耀东

北京大学医学出版社

WULIXUE NEIRONG TIYAO YU XITI

图书在版编目 (CIP) 数据

物理学内容提要与习题/王照主编·—北京:北京医科大学中国协和医科大学联合出版社,1995.8 (2007.11 重印),
高等医药院校教材
ISBN 7-81034-489-7

I. 物… I. 王… III. ①物理学-内容提要-高等学校-教材②物理学-习题-高等学校-教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 03272 号

物理学内容提要与习题

主 编:王 照

出版发行:北京大学医学出版社 (电话:010-82802230)

地 址:(100083)北京市海淀区学院路 38 号 北京大学医学部院内

网 址:<http://www.pumpress.com.cn>

E - mail: booksale@bjmu.edu.cn

印 刷:莱芜市圣龙印务有限责任公司

经 销:新华书店

责任编辑:张晓华 责任校对:齐 欣 责任印制:郭桂兰

开 本:787mm×1092mm 1/16 印张:6 字数:142 千字

版 次:1995 年 8 月第 1 版 2007 年 11 月第 7 次印刷 印数:25001-30000 册

书 号:ISBN 7-81034-489-7/R·488

定 价:9.80 元

版权所有,违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

前 言

高等医药院校学生在学习物理课的过程中,普遍体会到深入理解基本概念和提高分析问题能力的重要意义,希望有适合于自己需要的习题。针对这种情况,我们四所院校在总结过去教学经验的基础上,编写了这本内容提要与习题。

该书是《物理学》的配套教材,全书包括十七章,每章分基本要求、内容提要、例题和习题几个部分。

基本要求指出学习该章必须达到的要求和掌握的程度。内容提要是对每章基本内容的小结。例题中举了一些典型题的解法,这些题目对于巩固基本概念、掌握基本规律都会有所帮助。习题中包括相当数量的选择题、思考题和计算题。力争题型多样,题目新颖。通过这些习题的练习,能帮助学生正确理解物理概念与规律,有助于提高分析问题和解决问题的能力。

本书的编者也就是《物理学》一书的编者,他们是北京医科大学、大连医科大学、首都医科大学和天津医科大学的王照、王春燕、邓德宁、刘志成、刘筑闻、苏光郡、闵德芬、郑兴树、张茹、赵玉衡、高福英、喀蔚波、谭耀东等同志。

本书编写参考了若干现有教材、辅导书、习题集,在此不一一列举,仅表示感谢。

由于我们的水平有限,编写这类教材又是初次,书中不妥和错误之处在所难免,恳请广大读者批评指示。

编者 1995年2月

目 录

第一章 力学基本定律.....	(1)
第二章 流体的运动.....	(8)
第三章 振动和波动	(13)
第四章 声波和超声波	(22)
第五章 分子动理论	(25)
第六章 液体的表面现象	(29)
第七章 热力学基本定律	(32)
第八章 静电场	(35)
第九章 直流电	(42)
第十章 电磁现象	(46)
第十一章 波动光学	(54)
第十二章 几何光学	(60)
第十三章 量子物理基础	(65)
第十四章 光谱与激光	(69)
第十五章 X 射线	(72)
第十六章 原子核和放射性	(76)
第十七章 核磁共振	(79)
习题答案	(81)

第一章 力学基本定律

一、基本要求

本章是在中学质点动力学的基础上,着重讨论变力做功、保守力做功的特点和势能问题。要求掌握。对于中学没有涉及或涉及较少的力学内容将是本章的重点,具体要求是:

掌握量纲及量纲公式,并会运用。掌握刚体的概念。掌握刚体定轴转动的角位移、角速度和角加速度的概念。掌握角量与线量的关系及刚体匀变速转动公式。了解角速度矢量及角加速度矢量。掌握力矩的概念,明确其矢量性。掌握转动定律及其应用。掌握转动惯量的概念。掌握力矩的功和功率的概念。掌握刚体定轴转动的动能定理,及其应用。掌握质点的角动量的定义和刚体的角动量。掌握角动量定理。掌握角动量守恒定律及其应用。了解旋进现象、会确定旋进的方向。会计算旋进角速度。了解经典力学的适用范围及质速关系式。掌握矢量的标积和矢积。

二、内容提要

1. 量纲式 $[Q] = M^p L^q T^r$ 。

2. 牛顿运动定律 第一定律;第二定律 $F=ma$;第三定律 $F_1=-F_2$ 。惯性系和非惯性系。

3. 变力的功 $A = \int_a^b F \cos \alpha ds$; 动能定理 $A = \frac{1}{2}mv_b^2 - \frac{1}{2}mv_a^2 = E_k - E_{k0}$; 保守力和非保守力; 弹性势能 $E_p = \frac{1}{2}kx^2$; 功能原理 $\sum A_{\text{外}} + \sum A_{\text{非保内}} = (\sum E_k + \sum E_p) - (\sum E_{k0} + \sum E_{p0})$; 机械能守恒定律 $\sum A_{\text{外}} + \sum A_{\text{非保内}} = 0$ 时, $\sum E_k + \sum E_p = \sum E_{k0} + \sum E_{p0}$ 。

4. 动量 $p = mv$; 冲量 $I = \int_{t_1}^{t_2} F dt$; 动量定理 $\int_{t_1}^{t_2} F dt = mv_2 - mv_1$; 动量守恒定律 $\sum F_{\text{外}} = 0$ 时, $\sum P = \text{恒矢量}$ 。

5. 角位移 $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$; 角速度 $\omega = \frac{d\theta}{dt}$; 角加速度 $\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$; 角量与线量的关系 $\Delta s = r\Delta\theta$ $v = r\omega$ $a_t = r\beta$ $a_n = r\omega^2$ $a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = r\sqrt{\beta^2 + \omega^4}$; 匀变速转动公式 $\omega = \omega_0 + \beta t$ $\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}\beta t^2$ $\omega^2 = \omega_0^2 + 2\beta\theta$; 角速度矢量的方向: 沿转轴, 符合右手螺旋法则。

6. 力矩 $M = r \times F$, 其大小 $M = Fd = Fr \sin \varphi$ (φ 为 F 和 r 的夹角), 其方向符合右手螺旋法则; 转动定律 $M = J\beta$; 转动惯量 $J = \sum m_i r_i^2$ $J = \int r^2 dm = \int r^2 \rho dV$ 。

7. 力矩的功 $A = \int_0^\theta M d\theta$; 力矩的瞬时功率 $P = \frac{dA}{dt} = M\omega$; 转动动能 $E_k = \frac{1}{2}J\omega^2$; 刚体定轴转动的动能定理 $A = \frac{1}{2}J\omega_2^2 - \frac{1}{2}J\omega_1^2$, 对于绕同一定轴转动的物体系有 $A_{\text{外}} + A_{\text{内}} = \frac{1}{2}J_2\omega_2^2 - \frac{1}{2}J_1\omega_1^2$ 。

8. 质点的角动量 $L = r \times mv$; 其大小为 $mvr \sin \alpha$ (α 为 r 与 mv 间小于 180° 的夹角), 其方

向符合右手螺旋法则；刚体的角动量 $L = J\omega$ ；角动量定理 $Mdt = dL$ ， $\int_{t_1}^{t_2} Mdt = \int_{L_1}^{L_2} dL = L_2 - L_1 = J\omega_2 - J\omega_1$ ，对绕同一定轴转动的物体有 $\int_{t_1}^{t_2} Mdt = \int_{L_1}^{L_2} dL = L_2 - L_1 = J_2\omega_2 - J_1\omega_1$ ；冲量矩为 $\int_{t_0}^t Mdt$ ；角动量守恒定律 $\dot{M} = 0$ 时， $J\omega = \text{恒矢量}$ 。

9. 旋进角速度 $\omega_p = \frac{d\theta}{dt} = \frac{M}{J\omega}$ 。

10. 经典力学的适用范围；质速关系式 $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ 。

三、例题

[例 1-1] 一蒸汽机的飞轮，以 $150 \text{ rev} \cdot \text{min}^{-1}$ 的恒定角速度转动，关掉蒸汽后飞轮均匀减速，经 2.2 小时停止转动。求 (1) 飞轮的角加速度；(2) 停止转动之前它所转过的圈数；(3) 在关掉蒸汽后 1 小时飞轮的角速度；(4) 当飞轮转速为 $75 \text{ rev} \cdot \text{min}^{-1}$ 时，离轴 0.5m 处的一点的切向加速度和法向加速度。

解 (1) 飞轮的初始角速度

$$\omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60} = \frac{2\pi \times 150}{60} = 15.7 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$$

所以飞轮的角加速度

$$\beta = \frac{0 - \omega_0}{t} = \frac{-15.7}{2.2 \times 3600} = -1.98 \times 10^{-3} \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-2}\text{)}$$

式中负号表示 β 的方向与 ω_0 的相反。

(2) 由匀变速转动公式 $\omega^2 = \omega_0^2 + 2\beta\theta$ 求出飞轮停止转动前转过的角度

$$\theta = \frac{0 - \omega_0^2}{2\beta} = \frac{0 - 15.7^2}{2 \times (-1.98 \times 10^{-3})} = 6.22 \times 10^4 \text{ (rad)}$$

转过的圈数为

$$N = \frac{\theta}{2\pi} = \frac{6.22 \times 10^4}{2\pi} = 9.91 \times 10^3 \text{ (rev)}$$

(3) 由公式 $\omega = \omega_0 + \beta t$ 求出关掉蒸汽后 1 小时飞轮的角速度

$$\omega_1 = \omega_0 + \beta t_1 = 15.7 + (-1.98 \times 10^{-3}) \times 3600 = 8.57 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$$

(4) 飞轮每分钟 75 转时的角速度

$$\omega = \frac{2\pi \times 75}{60} = 7.85 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$$

离轴 0.5m 处一点的法向加速度为

$$a_n = r\omega^2 = 0.5 \times 7.85^2 = 30.8 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-2}\text{)}$$

a_n 的方向沿半径指向轴心；切向加速度为

$$a_t = r\beta = 0.5 \times (-1.98 \times 10^{-3}) = -9.90 \times 10^{-4} \text{ (m} \cdot \text{s}^{-2}\text{)}$$

a_t 的方向沿切线与转动方向相反。

[例 1-2] 圆心在同一竖直线上的上、下两个水平匀质圆盘，绕通过其圆心的竖直轴转动，它们的角速度和转动惯量分别为 ω_1 、 ω_2 和 J_1 、 J_2 。上盘底面有销钉，如上盘落下则销钉嵌入下盘，使两盘合成一体，求 (1) 合为一体之后两盘共同转动的角速度 ω ；(2) 两盘结合

过程中所损失的动能。

解 (1) 两盘结合过程中无外力矩作用, 故系统的角动量守恒。根据角动量守恒定律有

$$(J_1 + J_2) \omega = J_1 \omega_1 + J_2 \omega_2$$

所以

$$\omega = \frac{J_1 \omega_1 + J_2 \omega_2}{J_1 + J_2}$$

(2) 两盘结合前系统的转动动能为

$$E_{k1} = \frac{1}{2} J_1 \omega_1^2 + \frac{1}{2} J_2 \omega_2^2$$

两盘结合后系统的转动动能为

$$E_{k2} = \frac{1}{2} (J_1 + J_2) \omega^2$$

故结合过程中损失的动能为

$$\Delta E_k = E_{k1} - E_{k2} = \frac{J_1 J_2}{2 (J_1 + J_2)} (\omega_1 - \omega_2)^2$$

四、习题

(一) 选择题

1—1 关于单位和量纲正确的说法是:

- A. 一个物理量只能有一个单位; B. 单位相同的物理量都有相同的意义; C. 量纲相同的物理量都有相同的意义; D. 不同的物理量可以有相同的量纲。

1—2 应用牛顿运动定律研究物体的机械运动时, 所选用的参照系必须是:

- A. 惯性系; B. 非惯性系; C. 两者都行; D. 两者都不行。

1—3 关于保守力做功与势能正确的说法是:

- A. 保守力做功使物体的势能改变; B. 保守内力做功使物体系势能改变; C. 保守外力做功使物体系势能改变; D. 保守内力和保守外力做功的代数和使物体系的势能改变。

1—4 由几个物体所组成的系统动量守恒的条件是:

- A. 系统的内力和所受外力均为零; B. 系统仅在内力作用下, 而不受外力或合外力为零; C. 系统仅在保守力作用下, 其它内力和外力均不做功; D. 系统一定要在重力或弹性力作用下, 不论其它力是否存在。

1—5 动量守恒定律、能量守恒定律、动量矩守恒定律三者适用的范围是:

- A. 只是宏观物质的运动; B. 自然界一切物质的运动; C. 一定是高速运动的微观粒子; D. 一定是运动速度不大的实物粒子; E. 运动速度远小于光速的宏观物质和微观粒子。

1—6 两物体质量之比为 1:2, 如果具有相同的动能, 那么两物体动量之比为:

- A. 1:2; B. 2:1; C. 1:1; D. $1:\sqrt{2}$; E. $\sqrt{2}:1$ 。

1—7 刚体受一恒力矩作用时, 刚体上到轴线距离不同的点的:

- A. 线速度和线加速度大小都不等, 但方向相同; B. 角速度和角加速度大小都相同, 方向也相同; C. 切向加速度和法向加速度大小都不等, 但方向相同。

1—8 两物体的转动惯量相等, 当其转动角速度之比为 2:1 时, 它们的转动动能之比为:

A. $4:1$; B. $2:1$; C. $\sqrt{2}:1$; D. $1:2$; E. $1:\sqrt{2}$ 。

1—9 当两物体的转动动能相同时,若转动惯量之比为 $4:1$,则两物体的角速度之比等于:

A. $4:1$; B. $2:1$; C. $\sqrt{2}:1$; D. $1:\sqrt{2}$; E. $1:2$ 。

1—10 刚体作定轴转动时,其所受外力矩的大小:

A. 仅与外力在垂直于转轴的平面内的分量的大小有关; B. 仅与外力在垂直于转轴的平面内的分量的大小和方向有关; C. 仅与外力的作用点到转轴的垂直距离有关; D. 与外力平行于轴的分力的大小无关。

1—11 一个均匀 $\frac{1}{4}$ 圆弧形金属细棒,质量为 m ,半径为 R ,则其对于垂直于弧所在的平面且通过弧的曲率中心的转轴的转动惯量为:

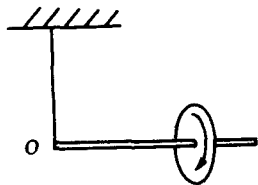
A. $\frac{1}{4}mR^2$; B. $\frac{1}{2}mR^2$; C. mR^2 。

1—12 一飞轮以角速度 ω 在轴上旋转,另一原静止的飞轮突然被耦合到同一转轴上,原静止飞轮对转轴的转动惯量为原转动飞轮对同一转轴转动惯量的 2 倍,转轴的转动惯量忽略不计,则耦合后系统的动能是:

A. 为原来动能的 $1/3$; B. 为原来动能的 $1/9$; C. 与原来的动能相等; D. 为原来动能的 $\frac{1}{6}$ 。

1—13 一质量为 m 的薄圆盘装在一根轻质细杆状的轴上,轴的一端通过细绳悬吊在天花板上,杆可绕 O 点任意转动。先在外力作用下使杆处于水平,并使圆盘以杆为轴高速自转(如图所示)。然后将外力撤去,于是:

A. 悬绳中张力为零; B. 细杆将迅速下垂至竖直位置; C. 由上向下看,细杆将绕悬绳作逆时针旋进; D. 由上向下看,细杆将绕悬绳作顺时针旋进。



习题 1—13 图

1—14 一物体静止时的质量为 m_0 ,当它以高速 v 运动时,其质量 m :

A. $>m_0$; B. $<m_0$; C. $=m_0$; D. 无一定关系。

(二) 思考题

1—15 什么是量纲,它的主要用途是什么。

1—16 动能定理和功能原理有着怎样的联系和区别。

1—17 动量和动能都与物体的质量和速度有关,都是物质运动的量度,那么二者有何不同。

1—18 一物体可否只具有机械能而无动量;可否只有动量而无能量。

1—19 物体的动量发生了变化,它的动能是否一定发生变化。

1—20 两质量不等的物体具有相等的动能,那么哪一个物体的动量较大;两质量不等的物体具有相等的动量,那么哪一个物体的动能较大。

1—21 采用角量描述刚体转动的好处是什么,为什么角量的单位要采用弧度制。

1—22 手表中的分针和秒针的角速度各为多少,角加速度各为多少。

1—23 以恒定角速度转动的飞轮上有两个点,一个点在飞轮的边缘,另一个点在二分之一半径处,试问在 Δt 时间内,哪一点运动的路程较长;哪一点转过的角度较大;那一点具有

较大的线速度、角速度、角加速度。

1—24 怎样确定角速度、角加速度、角动量、力矩矢量的方向。

1—25 转动惯量的物理意义是什么,它由哪些因素决定。

1—26 刚体在外力矩作用下绕定轴转动,当力矩增大时角速度和角加速度怎样变化;当力矩减小时,角速度和角加速度又怎样变化。

(三) 计算题

1—27 用力推地面的石块,力的方向与地面平行。石块运动时,推力随位移的增加而线性增加,即 $F=6x$, 其中 F 的单位为 N, x 的单位为 m。求石块由 $x_1=16\text{m}$ 移到 $x_2=20\text{m}$ 的过程中,推力所做的功。

1—28 一人从井中提水,起始时桶中装有 10kg 的水,由于水桶漏水,每升高 1m 要漏出 0.2kg 的水。水面距井口 10m , 求人将水桶匀速地从水面提到井口所做的功。

1—29 设两粒子之间的相互作用力是排斥力,其大小随它们之间的距离 r 而变化,规律为 $F=k/r^3$, k 为常数。求两粒子相距为 r 时的势能(设力为零处,势能为零)。

1—30 质量为 m 、速度为 v_0 的小球,以入射角 α 斜向与墙壁碰撞,又以速度 v_0 从墙壁弹回,反射角为 α 。设碰撞时间为 t , 求墙壁受到的平均冲力。

1—31 倔强系数为 $100\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ 的弹簧,一端固定,另一端与一质量为 0.99kg 的木块相连,静止在光滑平面上。一质量为 0.01kg 的子弹水平射入木块,使弹簧压缩了 0.1m , 求(1)弹簧的最大势能;(2)子弹射入木块后的速度;(3)子弹的初速度。

1—32 一人手握哑铃置于胸前,并坐在一摩擦可忽略的转台上,转台以一定角速度转动。若人将两手平伸,使人和转台的转动惯量增加为原来的 2 倍时,问人和转台的角速度变化多少?转动动能变化多少?

1—33 一飞轮直径为 0.3m , 质量为 5kg , 边缘绕有绳子,现用恒力拉绳子的一端,使其由静止均匀地加速,经 0.5s 转速达每秒 10 转,假定飞轮可看作匀质圆盘求:(1)飞轮的角加速度及在这段时间内转过的转数;(2)拉力及拉力所做的功;(3)拉动后 10s 时,飞轮的角速度及其边缘上一点的速度和加速度。

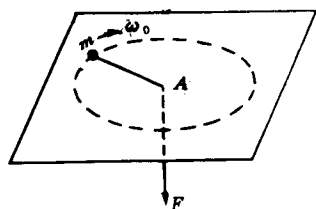
1—34 质量为 m , 半径为 r 的匀质圆环和圆盘,绕通过中心并与圆面垂直的转轴转动,分别求圆环和圆盘的转动惯量。

1—35 求质量为 m , 内半径为 R_1 , 外半径为 R_2 , 长为 L 的匀质圆筒绕其中心轴的转动惯量。

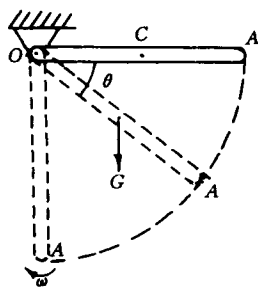
1—36 绳的一端系一质量 $m=50\text{g}$ 的物体,绳的另一端穿过一光滑桌面上的小孔 A 用手拉着,如图所示。物体距小孔 0.2m , 且以角速度 $3\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ 绕小孔做圆周运动。现将绳往下拉 0.1m , 将物体视为质点,求其角速度、线速度和能量变化。

1—37 如图所示,一长为 l 、质量为 m 的匀质细棒,可绕通过其一端的光滑水平轴在竖直平面内转动。设棒原水平横放,后使其自由下摆,求棒摆到与竖直方向成 30° 角时的角速度。

1—38 求地球自转时绕自身轴转动的角动量和转动动能。已知 $Me=6\times 10^{24}\text{kg}$, $Re=6.4\times 10^6\text{m}$, $\omega=7.27\times 10^{-5}\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$, 设地球



习题 1—36 图



习题 1—37 图

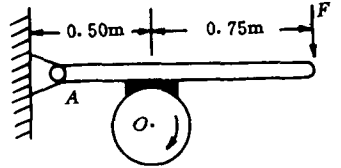
是匀质球体。

1—39 一质量 $m_1=1.0\text{kg}$ ，长 $l=0.40\text{m}$ 的匀质细棒，可绕通过其中点并与棒垂直的水平轴转动，开始时静止于竖直位置。一质量 $m_2=0.010\text{kg}$ 的子弹，以 $v=200\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的速度射入棒端，其方向与棒及转轴相正交，求棒所得到的角速度。

1—40 一人坐在可以自由旋转的平台中心，双手各持一哑铃且平展双臂于身体两侧。设每个哑铃质量 $m=2\text{kg}$ ，两哑铃相距 $l_1=1.5\text{m}$ ，平台转速 $\omega_1=2\pi\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ 。当此人回收双臂使两哑铃间距离减至 $l_2=0.8\text{m}$ 时，平台转速增加为 $\omega_2=3\pi\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ 。设人与平台对转轴的转动惯量不变，求人所作的功。

1—41 一卡车车箱重一吨，四只车轮（连轴）各重 100kg ，半径均为 40cm ，转动惯量为 $8\text{kg}\cdot\text{m}^2$ ，当该卡车以 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的速率正常行驶时其动能为多少？

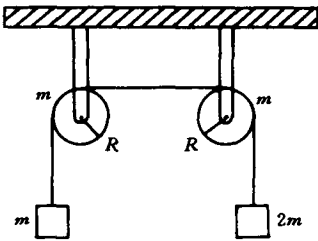
1—42 圆柱体的质量为 60kg ，半径为 0.25m ，绕垂直于其截面的中心轴转动，转速为 $1000\text{rev}\cdot\text{min}^{-1}$ （转/分），如图所示。现要求在 5s 内使其制动，求①制动力 F ；②摩擦力矩所做的功。已知闸杆尺寸如图所示，闸瓦与圆柱体的摩擦系数 $\mu=0.4$ 。



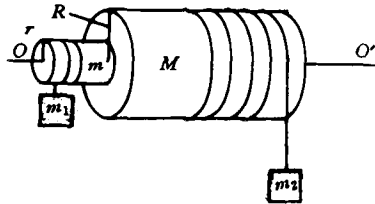
习题 1—42 图

1—43 如图所示，一轻绳跨过两个质量均为 m 、半径均为 R 的定滑轮，绳的两端所系重物的质量分别为 m 和 $2m$ ，将系统由静止释放，求两滑轮间绳子的张力。设绳子长度不变，质量不计，绳子与滑轮间不打滑，滑轮质量均匀，其转动惯量可按圆盘计算，轴处摩擦不计。

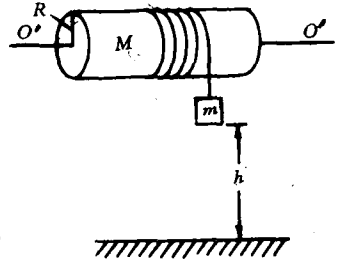
1—44 固定在一起的两个同轴均匀圆柱体可绕其光滑水平轴 oo' 转动，（如图所示）大小圆柱体半径分别为 R 和 r ，质量分别为 M 和 m ，绕在两柱上的绳子分别与物体 m_1 和 m_2 相连， m_1 和 m_2 挂在圆柱体两侧。设 $R=0.2\text{m}$ ， $r=0.1\text{m}$ ， $M=20\text{kg}$ ， $m=2\text{kg}$ ， $m_1=m_2=2\text{kg}$ ，求圆柱体转动时的角加速度。



习题 1—43 图



习题 1—44 图



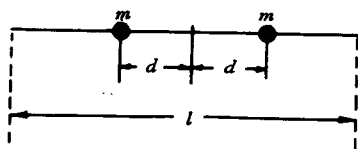
习题 1—45 图

1—45 如图所示，在质量为 M 、半径为 R 、可绕一水平光滑轴 $o'o'$ 转动的均匀圆柱体上绕有细绳，绳的一端挂有质量为 m 的物体， m 从高 h 处由静止下降，设绳子长度不变，在圆柱体上不滑动，质量略去不计。求：（1） m 下降的加速度 a ；（2）绳的张力 T ；（3） m 到达地面时的速度；（4） m 到达地面所需的时间 t 。

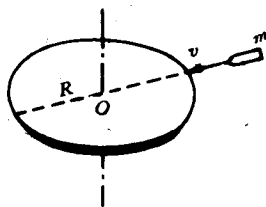
1—46 长度 $l=20\text{cm}$ 的水平刚性轻细杆上对称地串着两质量均为 m 的小球，（如图所示）现让细杆绕通过其几何中心的竖直轴转动，当转速达到 ω_0 时两球开始自 $d=4\text{cm}$ 处向杆的两端滑动，此时撤去外力任杆自由转动（转轴和空气阻力不计），求两球都滑至杆端时系统的角速度。

1—47 如图所示，质量为 M 的匀质圆盘，绕通过盘心 o 的竖直轴在水平面内转动。当圆

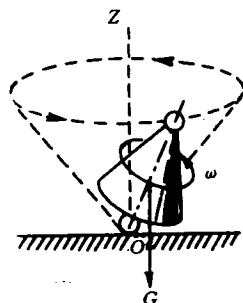
盘以 ω_0 匀速转动时, 有一质量为 m 的子弹以速度 v 沿径向射入盘边缘处嵌住。已知圆盘半径为 R , 求 (1) 子弹射入后, 圆盘的角速度; (2) 子弹的动能变化。



习题 1—46 图



习题 1—47 图



习题 1—48 图

1—48 一个质量为 m 的陀螺绕自身对称轴转动的角速度为 ω (如图所示)。其对自身转轴的转动惯量为 J , 质心到支点 o 的距离为 r , 试证陀螺旋进角速度为

$$\omega_p = \frac{mgr}{J\omega}$$

1—49 自行车前轮的转动惯量为 $0.4\text{kg} \cdot \text{m}^2$, 半径为 0.5m , 前进速度为 $5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在车轮与接触点的右边(或左边)水平距离 0.02m 处, 车上质量为 60kg 的人有一使车倾斜的力矩, 求自行车前轮绕竖直轴作旋进的角速度。

(天津医科大学 张 茹)

第二章 流体的运动

一、基本要求

牢固掌握理想流体、稳定流动的概念。确切理解连续性方程、伯努利方程的物理意义，熟练掌握它们的应用。

了解实际流体的粘滞性，了解牛顿流体与非牛顿流体的特点。掌握层流、湍流与雷诺数的概念。掌握牛顿粘滞定律、泊肃叶公式和斯托克斯公式。掌握粘性流体流动的规律。了解血液循环的过程。

二、内容提要

(一) 基本概念

1. 理想流体；2. 稳定流动；3. 流线、流管；4. 层流、湍流；5. 粘滞系数 η 及其单位；6. 牛顿流体与非牛顿流体；7. 速度梯度；8. 雷诺数 $Re = \rho v r / \eta$ ；9. 流阻 $R_f = 8\eta L / \pi R^4$ 。

(二) 基本定律

1. 连续性方程 $Sv = \text{恒量}$

2. 理想流体的伯努利方程 $\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh + p = \text{恒量}$

3. 非理想流体的伯努利方程 $\frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 + p_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 + p_2 + w$

4. 牛顿粘滞定律 $F = \eta S \frac{dv}{dx}$

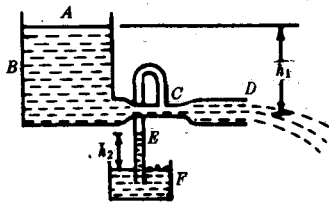
5. 泊肃叶定律 $Q = \frac{\pi R^4 (p_1 - p_2)}{8\eta L}$

6. 斯托克斯定律 $f = 6\pi\eta rv$

7. 血液循环过程中血压及血流速度的变化规律

三、例题

如图 2.1，两个盛水的开口容器 B、F，容器 B 底部接一水平流管，其中 C 处的截面积是 D 处的 1/2，且 D 处截面积远小于容器 B 的横截面积，在 C 处开口引管 E 浸入容器 F 内的水内。如果水沿水平管作稳定流动，且 D 处与容器 B 中液面高度差为 h_1 ，试求 E 管内水上升的高度 h_2 。



例 2.1 图

解：将水视为理想流体，在水中从 A 至 D 取一流管

$$\text{选 A、D 两点} \quad p_A + \frac{1}{2}\rho v_A^2 + \rho gh_A = p_D + \frac{1}{2}\rho v_D^2 + \rho gh_D \quad (1)$$

因 $S_A \gg S_D$ ，由连续性方程有 $v_A \approx 0$

$$\text{因此 } v_D = \sqrt{2gh_1} \quad (2)$$

选同一流管中 C、D 两点 $S_C v_C = S_D v_D$

$$v_c = 2v_D = 2\sqrt{2gh_1} \quad (3)$$

$$p_c + \frac{1}{2}\rho v_c^2 + \rho gh_c = p_D + \frac{1}{2}\rho v_D^2 + \rho gh_D \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{由 (3)、(4) 得 } p_c &= p_D + \frac{1}{2}\rho v_D^2 - \frac{1}{2}\rho v_c^2 \\ &= p_0 - 3\rho gh_1 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{又 } p_c + \rho gh_2 = p_0 \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{由 (5)、(6) 得 } p_0 - 3\rho gh_1 &= p_0 - \rho gh_2 \\ h_2 &= 3h_1 \end{aligned} \quad (7)$$

四、习题

(一) 选择题

2—1 理想流体作稳定流动时,

- A. 流体流经空间各点速度一定相同; B. 流体流经空间的流线是一组平行的曲线;
C. 流体流经空间各点的速度不随时间而变化; D. 流体粒子的流动没有加速度。

2—2 理想流体在粗细不均匀, 位置高低不同的管中作稳定流动时,

- A. 位置低处的压强一定比较大; B. 位置低处的流速一定比较大; C. 位置高处的单位体积流体的动能总是比较小;
D. 压强较小处, 单位体积动能和重力势能之和一定较大。

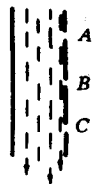
2—3 用抽水机的管子吸水, 设大气压强为 10^5Pa , $g = 10 \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$, 要使抽水工作得以进行, 抽水机

- A. 一定与水面同高; B. 一定低于水面; C. 一定高于水面; D. 不得高出水面 10m 以上。

2—4 用一粗细均匀的虹吸管从一圆形游泳池中吸水。当水池中的水面高出虹吸管出口的高度为 h 时, 虹吸管出口速度 v 为

- A. $v \propto h$; B. $v \propto 1/h$; C. $v \propto \sqrt{h}$; D. v 与 h 无关。

2—5 一粗细均匀的竖直水管中有水自上向下稳定流动, 管壁上不同高度的 A、B、C 三处开有三个相同的小孔, 如图所示。已知 B 孔无水流出也无气泡进入水中, 则



- A. A 孔有气泡进入水中, C 孔有水流出; B. A 孔有水流出, C 孔有气泡进入水中;
C. A、C 两孔均有气泡进入水中; D. A、C 两孔均有水流出。

习题 2—5 图

2—6 实际流体在粗细不均匀的水平管中流动时, 随着流体向前流动, 则

- A. 压强一定不断减小; B. 单位体积流体的动能一定不断减小; C. 压强与该处单位体积的动能之和一定会不断减小;
D. 压强与该处单位体积的动能之和一定不变。

2—7 同一种液体在内径不同的管道中流动时, 若二者的流量相等, 则

- A. 内径大者雷诺数大; B. 内径小者雷诺数大; C. 二者一定皆为层流或皆为湍流;
D. 可能一管中为层流, 而另一管中为湍流。

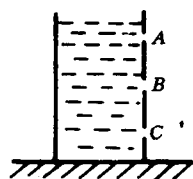
2—8 一容量很大的水箱置于水平地面, 箱壁上不同高度处开有 A、B、C 三个小孔, 见下图, 其中 B 恰在水深一半处, 则

(1) 从三孔中射出的水落到地面时的速率

A. A 孔的最大; B. B 孔的最大; C. C 孔的最大; D. 一样大。

(2) 各孔射出的水的水平射程

A. A 孔的最远; B. B 孔的最远; C. C 孔的最远; D. 一样远。



习题 2—8 图

(二) 思考题

2—9 什么是理想流体? 什么是流线和流管? 什么叫稳定流动?

2—10 流体的连续性方程和伯努利方程的适用条件各是什么? 在推导过程中何处用过?

2—11 有人认为从连续性方程来看管子愈粗, 流速愈慢; 而从泊肃叶公式来看则管子愈粗流速愈快, 两者似有矛盾。你以为如何? 为什么?

2—12 当水从水笼头缓慢流出而自由下落时, 水流随位置的下降而变细, 为什么?

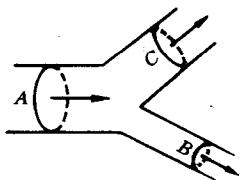
2—13 粘性流体在流动过程中, 为什么会有能量损失? 其能量损失与哪些因素有关?

2—14 什么是层流? 什么是湍流? 根据哪些条件来确定流体的流动形态?

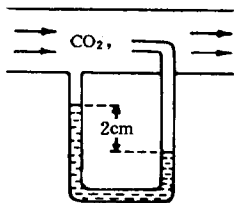
2—15 血液循环过程中, 血压和血流速度如何变化? 为什么?

(三) 计算题

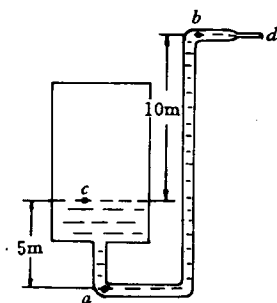
2—16 如图所示的水管, 在流过 A 管后, 分两支由 B、C 二管流去。已知三管的横截面积分别为 $S_A = 100\text{cm}^2$ 、 $S_B = 40\text{cm}^2$ 、 $S_C = 80\text{cm}^2$, A、B 二管中的流速分别为 $v_A = 40\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $v_B = 30\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 。求 C 管中的流速。



习题 2—16 图



习题 2—18 图



习题 2—20 图

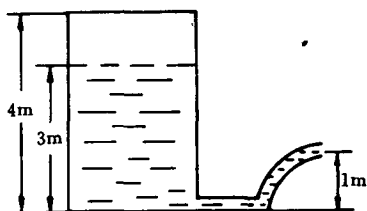
2—17 用一截面为 5cm^2 的虹吸管把容积极大的容器中的水吸出。虹吸管最高点在水面上 1.2m 处, 出口在水面下 0.6m 处。求在稳定流动的条件下, 管内最高点压强和虹吸管流量?

2—18 如图所示的采气管, 采集 CO_2 气体。如果压强计的水柱差为 2cm, 采气管的截面积是 10cm^2 , 求 5 分钟所采集的 CO_2 气体的量是多少 m^3 ? 已知 CO_2 的密度是 $2\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

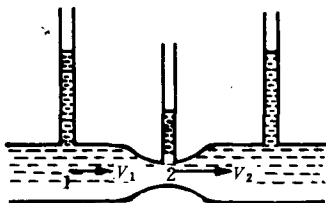
2—19 用皮托管插入水中测水流速度, 若其两管中水柱上升的高度分别为 0.5cm 和 5.4cm, 求水流速度。

2—20 有一截面很大的压力水柜 (见图), 水柜上面封闭气体的压强为 10atm , 其下端连接一水管, 水管直径为 10cm, 出口处直径为 5cm, 求 a 点、b 点的压强。

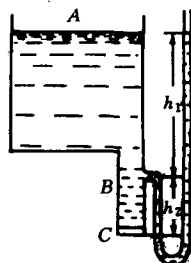
2—21 有一截面很大的水箱 (如图所示), 其下部与一弯管相连接, 水箱顶部被密封, 顶部与水面之间存有压缩空气。当箱内水深 3m 时, 箱内上方气压高于大气压 $1.0 \times 10^5\text{Pa}$ 。求 (1) 水从弯管中流出的速度是多少? (2) 当箱内水深降至 2m 时, 出口处的流速又是多少? (此过程为等温过程)



习题 2-21 图



习题 2-24 图



习题 2-25 图

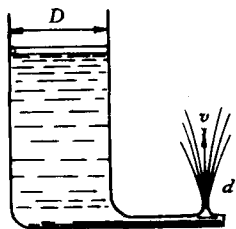
2-22 匀速地将水注入一容器中,注入的流量为 $Q=150\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,容器底有面积为 $S=0.5\text{cm}^2$ 的小孔,使水不断流出。求达稳定状态时,容器中水的深度。

2-23 油箱的底部有一个小孔,被一个塞子塞住。今在箱内盛以水和油,水层的厚度为 $h_1=4\text{m}$,油层的厚度为 $h_2=1\text{m}$ 。若油的密度为 $\rho=0.9 \times 10^3 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$,求刚拔开塞子时水由小孔流出的速度。

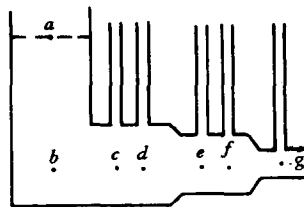
2-24 密度为 $600\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 的液体流过水平的管道,如图所示,如果横截面积的比为 $S_1:S_2=1.5$,而 1 处和 2 处的压强差为 0.05atm 。求:(1) 1 处的液体的流速;(2) 若 1 处管的直径为 $8.0 \times 10^{-2}\text{m}$,求流量。

2-25 如图所示,在宽广容器 A 的底部,接着一根竖直管 B, B 的侧面安装有一个 U 字形压强计。(1) 将 B 管下部用木塞 C 塞紧时,问压强计右管中的水面在何处?为什么?(2) 若将木塞拔去,使水流出,问压强计右管中的水面应在何处?

2-26 如图所示,水从大圆筒容器的小孔中喷出。喷出的速度为 $12\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,容器的直径为 2m ,喷口的直径为 2cm 。求:(1) 水在大容器中的下降速度;(2) 大容器中距底面 4m 处的压强;(3) 圆筒内的水位和喷泉水柱高度。



习题 2-26 图



习题 2-29 图

2-27 一圆桶的横截面积为 0.06m^2 ,桶中水深 0.7m ,桶底上有一面积为 $1.0 \times 10^{-4}\text{m}^2$ 的小孔。问容器中水流尽需多长时间?

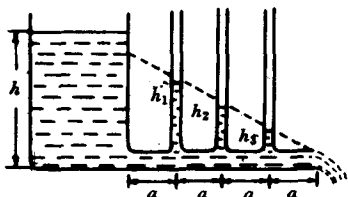
2-28 从容器底部的小孔流出的水流形成水柱铅直下落时,问水柱的横截面积 S 随高度 z 如何变化?(计算时不考虑表面张力和空气的影响,且小孔处水流的横截面积为 S_0 ,速度为 v_0 。)

2-29 有一开口的截面积很大的水箱,如图所示,水深为 40.0cm ,底部与一水平管相连。水平管的截面积依次为 1.0cm^2 , 0.5cm^2 , 0.2cm^2 。求:(1) 流量和水平管每一段的流速;(2) 与水平管相通的各竖直管中的液柱高度。

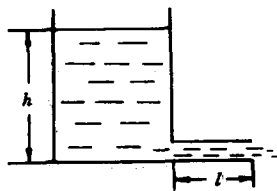
2-30 若上题是粘性液体,其粘滞系数为 $0.5\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,密度为 $0.8\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$,流量

为 $56.0\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, c 和 d 及 e 和 f 点的距离均为 20cm , 各段水平管的截面积与上题相同。求:
(1) c 和 d 、 e 和 f 管中液柱的高度差; (2) 每段水平管轴线上的流速。

2—31 如图所示为牛顿流体沿水平管流动时, 压强沿管路降低的情况。若图中 $h=23\text{cm}$; $h_1=15\text{cm}$; $h_2=10\text{cm}$; $h_3=5\text{cm}$; $a=10\text{cm}$, 求流体流动的速度。



习题 2—31 图



习题 2—32 图

2—32 如图所示, 在大容器中装入密度为 ρ 的液体, 液体从液面下 h 深的长为 l 、半径为 a 的细管中流出, 若单位时间内流出的体积为 Q , 求粘滞系数 η 。

2—33 20°C 的水, 在半径为 1.0cm 的管内流动, 如果管中心处的流速是 $10\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 。求由于粘滞性使得管长为 2m 的两个端面间的压强差是多少? ($\eta=1.009 \times 10^{-3}\text{Pa} \cdot \text{s}$)

2—34 使体积为 25cm^3 的液体在均匀的水平管内从压强为 $1.3 \times 10^5\text{Pa}$ 的截面移动到压强为 $1.1 \times 10^5\text{Pa}$ 的截面, 求克服摩擦力所做的功。

2—35 设某人的心输出量为 $0.83 \times 10^{-4}\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 体循环总压强差为 90mmHg , 求此人体循环的总流阻。

2—36 液体中有一空气泡, 泡的直径为 1mm , 液体的密度为 $0.9 \times 10^3\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 粘度为 $0.15\text{Pa} \cdot \text{s}$, 求空气泡在该液体中上升的收尾速度。

(首都医科大学 王春燕)