医学课程学习纲要与强化训练

医学物理学学习指导

潘志达　盖立平　主编

科学出版社
www.sciencep.com

医学课程学习纲要与强化训练

医学物理学学习指导

主　编　潘志达　盖立平

编　委　（以姓氏笔画为序）

王保芳　河南大学

白翠珍　山西医科大学

仲伟纲　泰山医学院

刘志翔　首都医科大学

苏永春　南方医科大学

李海涛　第四军医大学

肖　俊　贵阳医学院

洪　洋　中国医科大学

莫　华　广西医科大学

柴　英　大连医科大学

盖立平　大连医科大学

董须恩　福建医科大学

潘志达　大连医科大学

冀　敏　复旦大学

科学出版社

北　京

内 容 简 介

本书是潘志达主编案例版《医学物理学》的配套教材。全书包括人体力学的基础知识、声波和超声波、流体的运动、分子动理论、生命过程中的热力学、人体的生物电场、磁场的生物效应、光的波动性和粒子性、激光和X射线、核医学及核磁共振等17个章节。除了对相关的理论和计算问题作了详细的解答之外还包括案例分析、名人史料、检测、模拟测试等内容。希望本书能解决学生在学习医学物理学过程中所遇到的问题和困难，同时也能给从事这门课程教学的教师提供一些帮助。

本书适合医药院校本科生使用。

图书在版编目(CIP)数据

医学物理学学习指导/潘志达，盖立平主编. —北京：科学出版社，2008
(医学课程学习纲要与强化训练)
ISBN 978-7-03-021128-6

Ⅰ. 医… Ⅱ. ①潘…②盖… Ⅲ. 医用物理学－医学院校－教学参考资料 Ⅳ. R312

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第027853号

策划编辑：胡治国／责任编辑：胡治国／责任校对：鲁　素
责任印制：刘士平／封面设计：黄　超

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

铭浩彩色印装有限公司印刷
科学出版社发行　各地新华书店经销
*
2008年5月第　一　版　开本：787×1092　1/16
2008年5月第一次印刷　印张：12 3/4
印数：1—5 000　字数：359 000

定价：19.80元

(如有印装质量问题，我社负责调换〈环伟〉)

前　　言

医学物理学是全国高等医药院校中的一门重要课程。科学出版社为适应目前高等医学教育的现状，为深化课程体系与教学方法的改革，借鉴国外先进的 PBL(Problem-Based Learning)教学方法，采用案例与教学内容相结合的模式，组织全国十多所医科大学的教授编写了案例版《医学物理学》。为了更好地贯彻少而精的原则，让学生能用较少的时间掌握较多的医学物理学知识，提高学生分析问题和解决问题的能力，编委会又组织编写了《医学物理学学习指导》，与潘志达主编的案例版《医学物理学》教材相配套。

本书全面总结、归纳了医学物理学的基本内容、基本概念、重点难点、基本医学应用、重要计算方法。以这些概念和方法的实际应用为基础在内容提要部分编写了每一章的主要知识点；典型例题部分精选每一章例题进行了解析，给出了解题思路和解题方法；案例分析部分选取与理论教学内容相关的案例进行详细分析，用案例引导教学，并以此作为学生获取知识和解决问题的切入点；习题解答部分给出了每题的详细参考答案；名人或史料介绍部分把与每一章内容相关的名人和史料放在章节最后供学生和教师学习用，使学生在学习基本理论知识的同时也学习物理学家“独创”的思维方法和刻苦钻研的精神。为了检查学生掌握知识的情况，在章节后配有检测题，在全书的结尾配有考试模拟测试题。

限于编者水平，书中错误和不当之处在所难免。我们诚恳地希望同行和使用本书的广大师生不吝赐教，予以指正，也借此机会向各位读者及在编写过程中关心和给予我们帮助的领导、编辑、同事、朋友表示由衷的感谢。

编　者

2007 年 10 月于大连医科大学

目　　录

第一章　人体力学基础知识

内容提要

1. 刚体　指在外力的作用下，大小、形状等保持不变的物体。

刚体绕某一固定轴转动时的角速度与角位移的关系：

$$\boldsymbol{\omega} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{\theta}}{\mathrm{d}t}$$

刚体的角加速度为

$$\boldsymbol{\alpha} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{\omega}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{\theta}}{\mathrm{d}t^2}$$

刚体的角位移、角速度、角加速度均为矢量，方向由右手螺旋法则确定。

转动惯量是刚体转动惯性的量度：

$$J = \int r^2 \mathrm{d}m$$

转动物体的动能为

$$E_k = \frac{1}{2}J\omega^2$$

（1）刚体定轴转动定律：刚体所受的外力对转轴的力矩之和等于刚体对该转轴的转动惯量与刚体的角加速度的乘积，即

$$\boldsymbol{M} = J\boldsymbol{\alpha}$$

（2）角动量：即动量距。刚体绕轴转动时，各质点对轴的角动量总和就是刚体的角动量，即

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

（3）角动量守恒定律：系统（包括刚体）所受的外力对某固定轴的合外力距为零时，则系统对此轴的总角动量保持不变，即

$$\sum J\boldsymbol{\omega} = \text{恒量}$$

2. 物体的弹性

（1）应力和应变：外力向物体内部传递时，引起物体内部相邻点之间的相对运动，进而导致其体积或形状的改变，使物体产生变形。用应力与应变来研究物体在外力作用下产生的变形。

1）应力：指作用于物体单位面积上的弹性力。它准确地描述了作用于物体内部力的分布情况，根据作用方式的不同，应力分正应力和切应力。

2）正应力：与作用面垂直的应力。

3）切应力：与作用面平行的应力。

4）应变：当物体受应力作用时，其长度、形状或体积都可能发生变化，这种变化的相对

量称为应变。应变为无量纲量,按变化量的不同,应变有正应变、切应变等多种。

5）正应变:当物体受应力作用时,其长度变化和原长之比,即 $\varepsilon = \dfrac{\Delta L}{L_0}$

6）切应变:当物体受剪切力作用时体积不变,只有形状发生变化的弹性形变,即 $\gamma = \tan\alpha$

（2）弹性模量

1）弹性模量:材料应力与应变的比值为该材料的弹性模量。

2）杨氏模量:物体单纯受张应力或压应力作用时,其应力与应变的比值,即

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

3）切变模量:切应力与切应变的比值,即

$$G = \frac{\tau}{\gamma}$$

3. 肌肉和骨骼的力学特性

（1）肌肉的力学性质:Hill 方程

$$(P+a)(v+b) = (P_0+a)b$$

方程中右侧为常数,它指出在等张收缩时肌肉的收缩速度 v 随负荷的增大呈双曲线式的下降。

（2）骨骼的力学性质:骨骼是典型的非线性弹性体,在不同方向载荷作用下表现出不同的力学性能,其变形、破坏与其受力方式有关。

4. 刚体平衡的充分必要条件

$$\sum_i F_i = 0$$

$$\sum_i M_i = 0$$

对于平面力系, $\sum_i F_i$ 可用其分量式表示

典型例题

例 1-1 求质量为 m,半径为 R 的均匀细圆环和圆盘的转动惯量,轴与圆平面垂直并且通过其圆心。

解:细圆环的质量可以认为全部分布在半径为 R 的圆周上,所以细圆环的转动惯量为

$$J = \sum R^2 \Delta m_i = R^2 \sum \Delta m_i = mR^2$$

对圆盘来说,其质量均匀分布在半径为 R 的整个盘面上,在离转轴的距离为 $r \sim r + \mathrm{d}r$ 处取一小环,其面积为 $\mathrm{d}S = 2\pi r\mathrm{d}r$,质量为 $\mathrm{d}m = \sigma\mathrm{d}S$,式中 σ 为圆盘的质量面密度,则小环的转动惯量为

$$J = \int \mathrm{d}J = \int_0^m r^2 dm = 2\pi\sigma\int_0^R r^3 dr = \frac{\pi}{2}\sigma R^4$$

质量面密度 $\sigma = \dfrac{m}{\pi R^2}$,代入上式可得

$$J = \frac{1}{2}mR^2$$

例 1-2　股骨是大腿中的主要骨骼。如果成年人股骨的最小截面积是 $6\times10^{-4}\text{m}^2$,问受压负荷为多大时将发生碎裂？又假定直至碎裂前,应力-应变关系还是线形,试求发生碎裂时的应变。(抗压强度 $\sigma_c = 17\times10^7\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$)

解:导致骨碎裂的作用力

$$F = \sigma_c \cdot S = 17\times10^7\times6\times10^{-4}\text{N} = 1.02\times10^5\text{N}$$

这个力是很大的,约为 70kg 重的人体所受重力的 15 倍。但如果一个人从几米高处跳到坚硬的地面上,就很容易超过这个力。

根据骨的杨氏模量 $E = 0.9\times10^{10}\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$,可求碎裂时的应变

$$\varepsilon = \frac{\sigma_c}{E} = \frac{1.7\times10^8}{0.9\times10^{10}} = 0.019 = 1.9\%$$

由此可见,在引起碎裂的负荷下,骨头的长度将减少 1.9% 。

例 1-3　一根 8m 长的铜丝和一根 4m 长的钢丝,横截面积均为 50mm^2,若使两根金属丝以一端相连,并加 500N 的张力,求两根金属丝长度一共改变了多少？(铜的杨氏模量为 $1.1\times10^{11}\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$,钢的杨氏模量为 $2.0\times10^{11}\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$)

解:横截面积均为 $S = 50\text{mm}^2 = 0.5\times10^{-4}\text{m}^2$

根据杨氏模量的定义　$E = \dfrac{Fl}{S\Delta l}$,

可求出铜丝的伸长量　$\Delta l_1 = \dfrac{Fl_1}{SE_1} = \dfrac{500\times8}{1.1\times10^{11}\times0.5\times10^{-4}} = 7.3\times10^{-4}\text{m}$

同理可求出钢丝的伸长量　$\Delta l_2 = \dfrac{Fl_2}{SE_2} = \dfrac{500\times4}{2.0\times10^{11}\times0.5\times10^{-4}} = 2.0\times10^{-4}\text{m}$

两根金属丝长度共改变　$\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2 = 7.3\times10^{-4} + 2.0\times10^{-4} = 9.3\times10^{-4}\text{m}$

例 1-4　一横截面积为 1.5cm^2 的圆柱形骨样品,在其上端加上质量为 10kg 的重物,其长度缩小了 0.0065% ,求骨样品的杨氏模量。

解: $\varepsilon = \dfrac{\Delta l}{l_0} = 6.5\times10^{-5}$

压应力为　$\sigma = \dfrac{F}{S} = \dfrac{mg}{S} = \dfrac{10\times9.8\text{N}}{1.5\times10^{-4}\text{m}^2} = 6.53\times10^5\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$

根据胡克定律　$\dfrac{F}{S} = E\dfrac{\Delta l}{l_0}$,即 $\sigma = E\varepsilon$。

则杨氏模量　$E = \dfrac{\sigma}{\varepsilon} = \dfrac{6.53\times10^5}{6.5\times10^{-5}}\text{N}\cdot\text{m}^{-2} = 1.0\times10^{10}\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$

案例分析

案例: Hill 方程阐述了骨骼肌由挛缩状态(张力为 T_0)开始收缩的过程中,收缩张力与收缩速度之间的关系。

问题:试用 Hill 方程探讨心脏每搏量一定时血压与心率的关系。

分析：心动周期可以分为等容收缩期、快速射血期、减速射血期、等容舒张期、心室充盈期等，其中减速射血期与 Hill 方程条件接近。减速射血期开始时的压强为机体的收缩压，即此时对应的心肌张力为 T_0，减速射血过程中心肌的张力为 T，减速射血过程中所用时间为 t_0，射血速度为 v，心肌减速射血长度缩短量为 ΔL，心肌减速射血过程中长度为 L。

由 Hill 方程可得：$v=\dfrac{T_0+a}{T+a}b$

由于：$$v=\frac{\mathrm{d}L}{\mathrm{d}t}$$

因此：$$\frac{\mathrm{d}L}{\mathrm{d}t}=\frac{T_0+a}{T+a}b$$

假设减速射血过程中，张力随时间 t 线性下降，即：$T=T_0-kt$，

带入上式后有：$$\mathrm{d}L=\frac{T_0+a}{T_0-kt+a}b\mathrm{d}t$$

积分后得 $$\Delta L=\frac{b(T_0+a)}{k}\ln\left(1-k\frac{t_0}{T_0+a}\right)+bt_0$$

即有：$$1-\frac{kt_0}{T_0+a}=\exp\left[k\frac{\Delta L-bt_0}{b(T_0+a)}\right]$$

心脏每搏量一定说明 ΔL 不变，血压升高与 T_0 增加相一致。因此，由上式可以看出，为了保证 ΔL 一定，当 T_0 增加时必须以 t_0 增加作补偿。因此我们可以说：心脏每搏量一定时血压升高将引起射血周期增加，即心率减慢。

习题解答

1-1 一个人站在旋转平台的中央，两臂侧平举，整个系统以 $2\pi\mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1}$ 的角速度旋转，转动惯量为 $6.0\mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}^2$。如果将两臂收回则该系统的转动惯量为 $2.0\mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}^2$。试求此时系统的转动动能与原来的转动动能之比。

解：封闭系统角动量守恒

$$J_1\omega_1 = J_2\omega_2$$

两臂收回后系统角速度 $\omega_2=\dfrac{J_1\omega_1}{J_2}=\dfrac{6.0\times2\pi}{2.0}=6\pi\mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1}$

则 $$\frac{E_{k2}}{E_{k1}}=\frac{\frac{1}{2}J_2\omega_2^2}{\frac{1}{2}J_1\omega_1^2}=\frac{\frac{1}{2}\times2.0\times(6\pi)^2}{\frac{1}{2}\times6.0\times(2\pi)^2}=\frac{3}{1}$$

即此时系统的转动动能与原来的转动动能之比为 3∶1。

1-2 有两个质量可忽略的弹簧，上端固定，原长都是 10cm，第一个弹簧下挂一个质量为 m 的物体后，长 11cm，而第二个弹簧下挂质量为 m 的物体后，长 13cm，现将两弹簧串联，上端固定，下面仍挂质量为 m 的物体，则两弹簧的总长为多少？

解：第一个弹簧的倔强系数为 $\dfrac{1}{mg}$

第二个弹簧的倔强系数为 $\dfrac{3}{mg}$

则两弹簧串联后的倔强系数为 $\frac{4}{mg}$

所以两弹簧的总长为 $10+10+\frac{4}{mg}\cdot mg=24\text{cm}$

1-3 一个转动惯量为 J 的圆盘绕定轴转动，其初角速度为 ω_0，阻力矩与转动角速度成正比，即 $M=-k\omega$（k 为正常数），求：

（1）圆盘的角速度从 ω_0 变为$\frac{\omega_0}{2}$所经历的时间和转过的角度；

（2）上述过程中阻力矩所做的功。

解：（1）转动定律 $M=J\alpha$

$$\therefore\quad -k\omega=J\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}$$

根据初始条件，分离变量

$$\int_{\omega_0}^{\frac{\omega_0}{2}}\omega\mathrm{d}\omega=-\int_0^t\frac{k}{J}\mathrm{d}t,\ t=\frac{J}{k}\ln 2$$

$$\because\quad -k\omega=J\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}\theta}\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}=J\omega\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}\theta}$$

分离变量，积分

$$-\int_{\omega_0}^{\frac{\omega_0}{2}}\frac{k}{J}\mathrm{d}\omega=\int_0^\theta\mathrm{d}\theta,\ \theta=\frac{J}{2k}\omega_0$$

（2）上述过程中阻力矩所做的功，根据动能定理

$$W=\frac{1}{2}J\omega^2-\frac{1}{2}J\omega_0^2=\frac{1}{2}J\left(\frac{\omega_0}{2}\right)^2-\frac{1}{2}J\omega_0^2=-\frac{3}{8}J\omega_0^2$$

1-4 设某人一条腿骨长 0.6m，平均横截面积为 3cm^2，骨的杨氏模量为 $10^{10}\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$，当站立时两腿支撑整个体重 800N 时，求此人一条腿骨缩短了多少？

解：$\sigma=\frac{F}{S},\ \varepsilon=\frac{\Delta l}{l_0},\ E=\frac{\sigma}{\varepsilon}$

$$\therefore\ \Delta l=\frac{l_0F}{SE}=\frac{0.6\times\frac{800}{2}}{3\times10^{-4}\times10^{10}}=8\times10^{-5}\text{m}$$

1-5 松弛的二头肌，伸长 5cm，所需的力为 25N，如果把二头肌看作是一条长为 0.2m，横截面积为 50cm^2 的圆柱体，则杨氏模量为多少？

解：$\sigma=\frac{F}{S},\ \varepsilon=\frac{\Delta l}{l_0},\ E=\frac{\sigma}{\varepsilon}$

$$\therefore\ E=\frac{Fl_0}{S\Delta l}=\frac{2.5\times0.2}{50\times10^{-4}\times0.05}=2\times10^4\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$$

1-6 一长肌的横截面积为 50cm^2，长为 15cm，每平方厘米的张力为 80N，设缩为原长的一半，试求该肌肉每收缩一次所做的功。

解：$W=Px=80\times50\times\frac{15\times10^{-2}}{2}=300\text{N}\cdot\text{m}$

1-7 弹跳蛋白是一种存在于跳蚤中的弹跳机构以及昆虫的飞翔机构中的弹性蛋白，其

杨氏模量接近于橡皮。今有一截面为 $3\times10^{-3}\text{m}^2$ 的弹跳蛋白，在270N的拉伸下，长度变为原长的1.5倍，求弹跳蛋白的杨氏模量。

解: 假设弹跳蛋白的原长为 l_0，则拉长后的长度为

$l_0+\Delta l=1.5l_0$，故张应变 $\varepsilon=\dfrac{\Delta l}{l_0}=0.5$

张应力 $\sigma=\dfrac{F}{S}=\dfrac{270}{0.003}=9\times10^4\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$，所以杨氏模量为

$$E=\frac{\sigma}{\varepsilon}=\frac{9\times10^4}{0.5}=1.8\times10^5\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$$

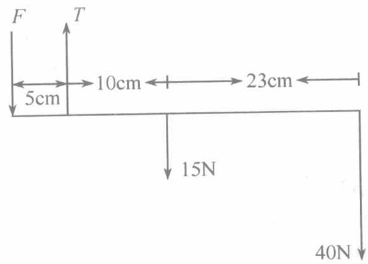

图 1-1　习题 1-8

1-8　一人上臂垂直，前臂水平，手中持一40N的重物，设前臂重15N，作用在前臂上的四个力如图1-1所示。F 是作用在肘部的力，T 是作用于二头肌的力，试计算 F 和 T。

解: 受力平衡方程：

$$T-F-15-40=0$$

力矩平衡方程：

$$F\times5-15\times10-40\times(10+23)=0$$

得　$F=294\text{N}$

　　$T=349\text{N}$

1-9　一架匀质的梯子，重为 P、长为 $2l$，上端靠于光滑墙上，下端置于粗糙地面上，梯与地面的夹角为 φ，摩擦系数为 μ。有一体重为 P_1 的人攀登到距梯下端 h 的地方。试求梯子不滑动的条件。

解: 梯子不滑动

则应有 $Pl\cos\varphi+P_1h\cos\varphi<N2l\sin\varphi$

$N=\mu(P+P_1)$

$\therefore$ 有 $\dfrac{Pl+P_1h}{2l}\text{ctg}\varphi<\mu(P+P_1)$

1-10　一匀质的铅丝竖直悬挂，铅丝的密度为 $\rho=11.3\times10^3\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$，长度为 L。求：

(1) 铅丝自身重量所产生的应力在距悬点 $\dfrac{L}{4}$ 处的值是距悬点 $\dfrac{3}{4}L$ 处值的多少倍？

(2) 已知铅丝内某处的应力达 $2\text{kg}\cdot\text{mm}^{-2}$ 时，铅丝在该点被拉断。问铅丝长度 L 为何值时，它将在自身所受重力的作用下被拉断？

解: (1) $\sigma=\dfrac{F}{S}$

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2}=\frac{F_1}{F_2}=\frac{\int_0^{\frac{3l}{4}}\rho g\mathrm{d}l}{\int_0^{\frac{l}{4}}\rho g\mathrm{d}l}=3$$

(2) $\sigma=\dfrac{F}{S}$

$$\int_0^L\rho g\mathrm{d}l=2\times10^6$$

得 $L = \dfrac{2\times10^6}{11.3\times10^3\times10} = 177\text{m}$

1-11 有一铜杆长 2m，横截面积 2.0cm^2；另一钢杆长 L，横截面积为 1.0cm^2。今将两杆接牢，然后在两杆外端加以相等而反向的拉力 F，$F = 3\times10^4\text{N}$。已知杨氏模量为 $E_{铜} = 1.1\times10^{11}\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$，$E_{钢} = 2.0\times11^{11}\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$。问：

(1) 如果两杆伸长相等，钢杆长 L 为多少？

(2) 各杆中的应力为多少？

(3) 求各杆中的应变是多少？

解：(1) 杨氏模量 $E = \dfrac{Fl}{S\Delta l}$

$\therefore\ \Delta l = \dfrac{Fl}{SE}$

两杆伸长相等，则有 $\Delta l_1 = \Delta l_2$

$$\frac{Fl_1}{S_1E_1} = \frac{Fl_2}{S_2E_2}$$

$$l_2 = \frac{l_1S_2E_2}{S_1E_1} = \frac{2\times1.0\times10^{-4}\times2.0\times10^{11}}{2.0\times10^{-4}\times1.1\times10^{11}} = 1.8\text{m}$$

$$(2)\ \sigma_1 = \frac{F}{S_1} = \frac{3\times10^4}{2.0\times10^{-4}} = 1.5\times10^8\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$$

$$\sigma_2 = \frac{F}{S_2} = \frac{3\times10^4}{1.0\times10^{-4}} = 3\times10^8\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$$

$$(3)\ \Delta l_1 = \Delta l_2 = \frac{Fl_1}{S_1E_1} = \frac{3\times10^4\times2}{2.0\times10^{-4}\times1.1\times10^{11}} = 2.7\times10^{-3}\text{m}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta l}{l_1} = \frac{2.7\times10^{-3}}{2} = 1.35\times10^{-3}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta l}{l_2} = \frac{2.7\times10^{-3}}{1.8} = 1.5\times10^{-3}$$

名人或史料介绍

1. 伽俐略 伽俐略·伽利雷(Galileo Galilei;1564—1642)是意大利的物理学家和天文学家。1564 年 2 月 15 日出生于意大利比萨。伽俐略曾学习哲学、宗教，后来听从父命去比萨大学学习医学，在上学时无意中发现比萨大教堂吊灯摆动的周期与振幅无关，用自己脉搏测量，吊灯摆动时不论振幅大小，其往复一次的时间总是一样的，他用这一原理制造了脉搏计时器。伽俐略听到数学家里斯(Ricc)介绍几何学的演讲后，对数理科学产生了浓厚的兴趣。1586 年设计准确测定固体比重的天平，发表了固体重心论文，引起数理学界的注意。1592 年伽俐略在帕多瓦大学当教授。他在帕多瓦大学工作达 18 年，期间提出了"斜面定律"、"惯性定律"、"抛体定律"以及相关概念。还研究了光学问题，提出了光速恒定的观点，设计了测光速的实验。为观察天体的运动情况，他在 1609 年制造了伽俐略望远镜，通过观察他坚信地球在自转并围绕太阳运行，有力地支持了哥白尼的天文系统。这与统治整个欧洲的天主教教义中的"地球是宇宙的中心"相左，1615 年他受到宗教裁判所的传讯和警告。

坚持真理的伽俐略于1632年发表了《关于两大世界体系的对话》,来辩论哥白尼学说的是非真伪,结果教皇下令逮捕了伽俐略。在监禁期间伽俐略着手写《关于力学和局部运动两门新科学的对话》,将以前的实验结果和领悟而得的力学原理记录成书。1642年1月8日,为科学和真理而奋斗的科学巨人与世长辞,终年78岁。

爱因斯坦对伽俐略有一评价:"伽俐略的发现以及他所应用的科学推理方法,是人类思想史上最伟大的成就之一,而且标志着物理学的真正开端。"

2. 牛顿 伊萨克·牛顿(Isnnc Newton;1642—1727)是英国一位伟大的物理学家和数学家。1642年出生于英国林肯郡,1661年进入剑桥大学三一学院学习数学,并得到著名数学家巴罗的指导,1665年元月获学士学位。1667年后返回剑桥,进三一学院攻读研究生,1669年由数学家巴罗推荐任数学讲座教授,时年27岁。牛顿在剑桥担任数学讲座教授共30年,1687年出版了科学名著《自然哲学的数学原理》,在这本著作中,牛顿提出了经典力学的各种基本概念和原理,还叙述了万有引力理论。1696年牛顿任皇家造币厂厂长,1703年当选为皇家学会会长。1727年3月31日,牛顿在伦敦去世,享年86岁。

牛顿在物理学上的成就是发现了万有引力定律,综合并表述了经典力学的三大定律,即牛顿三定律,并引入了质量、动量、力、加速度、向心力等基本概念,完成了物理学发展史上的天、地间第一次大综合。在光学上,他做了用棱镜把白光分解为七色光的实验研究。在数学上,牛顿创建了微积分,还建立了二项式定理。由此可见,牛顿不但是理论力学的奠基人,也是分析数学的奠基人。

检测题

(一) 选择题

1. 下列物体哪种是刚体( )

A. 固体　B. 液体　C. 气体　D. 都不是

2. 刚体的转动惯量与下列哪种因素无关( )

A. 刚体的质量　B. 刚体所受的力

C. 刚体转轴的位置　D. 刚体质量的分布情况

3. 刚体角动量守恒的充分必要条件是( )

A. 刚体不受外力矩的作用　B. 刚体所受合外力矩为零

C. 刚体所受合外力和合外力矩均为零　D. 刚体的转动惯量和角速度均保持不变

4. 质量完全相同的两个细棒,第一根轴过垂直中心,第二根轴在一端与棒长垂直,其两者转动惯量之比为( )

A. 1∶4　B. 1∶2　C. 1∶1　D. 2∶1

5. 有一半径为 R 的水平圆转台,可绕通过其中心的竖直轴转动,转动惯量为 J,开始时转台以匀角速度 ω 转动,此时有一质量为 m 的人站在转台中心。随后人沿半径向外跑去,当人到达转台边缘时,转台的角速度为( )

A. $\dfrac{J}{J+mR^2}\omega$　B. $\dfrac{J}{(J+m)R^2}\omega$　C. $\dfrac{J}{mR^2}\omega$　D. ω

6. 应力是( )

A. 作用在某物体两端上的力　B. 作用在物体中点上的力

C. 作用在物体任意一个截面上的力　D. 作用在物体上任一单位截面积上的力

7. 在各种应变中应力的方向( )

A. 可能与截面垂直　B. 可能与截面平行　C. 两者都对　D. 两者都不对

8. 把一块不锈钢放在静止的深水中，它所受到的应力是(　　)

A. 线应力　　B. 压应力　　C. 切应力　　D. 三者都有

9. 长为 l_0 的金属丝受力作用时长度变为 l，此时金属丝的线应变为(　　)

A. $\frac{l_0}{l}$　　B. $\frac{l-l_0}{l_0}$　　C. $\frac{l-l_0}{l}$　　D. $\frac{l_0-l}{l_0}$

（二）填空题

10. 一质量 $m=2200\text{kg}$ 的汽车以 $v=60\text{km/h}$ 的速度沿一平直公路开行。则汽车对公路一侧距公路 $d=50\text{m}$ 的一点的角动量 L_1 ________；对公路上任一点的角动量 L_2 ________。

11. 两物体的转动惯量 $J_1=J_2$，当其转动角速度 $\omega_1:\omega_2=1:2$ 时，两物体的转动动能（$E_1:E_2$）之比为________。

12. 一个哑铃由两个质量为 m，半径为 R 的铁球和中间一根长 l 的连杆组成。和铁球的质量相比，连杆的质量可以忽略。则此哑铃对于通过连杆中心并和它垂直的轴的转动惯量为 $J=$________。

13. 长度为 0.75m、直径为 $1.3\times10^{-3}\text{m}$ 的金属丝下悬挂重为 8kg 的重物后伸长了 $3.5\times10^{-4}\text{m}$。则金属丝内的应力为________，应变为________。

（三）名词解释

14. 刚体

15. 转动惯量

16. 应变

17. 弹性模量

（四）判断题（在正确的题后面画√，错误的题后面画×）

18. 定轴转动的物体，转动动能一定时，转动惯量与角速度的平方成正比。

19. 系统所受的外力对某固定轴的合外力矩为零时，则系统对此轴的总角动量保持不变。

20. 当把肌肉看作由多个单元模型并联时，肌肉两端所受作用力等于每个单元模型所受作用力之和。

21. 与一般金属相比，骨骼可近似地认为是线性弹性体。

22. 沿骨骼轴向，骨骼刚度和强度最大。

（五）论述题

23. 刚体的平衡条件是什么？它与质点的平衡条件有何不同？

（六）计算题

24. 试求如图 1-2 所示的圆柱体绕中心轴的转动惯量。设圆柱体的质量为 m，半径为 R，4 个圆柱形空洞的半径均是 $R/3$，从中心轴到各个空洞中心的距离均为 $R/2$。

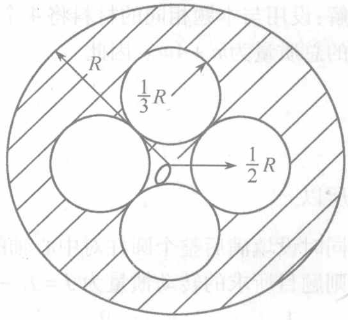

图 1-2　检测题 24

检测题答案

（一）选择题

1. D; 2. B; 3. B; 4. A; 5. A; 6. D; 7. C; 8. B; 9. B

（二）填空题

10. $1.83\times10^{6}\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$; 0

11. 4:1

12. $J=m\left[\frac{14}{5}R^2+2lR+\frac{l^2}{2}\right]$

13. $5.9\times10^7\,N/m^2$; 4.67×10^{-4}

（三）名词解释

14. 刚体指在外力的作用下，大小、形状等保持不变的物体，是固体物件的理想化模型。

15. 转动惯量是刚体转动惯性的量度，它决定于刚体的质量、形状、质量分布和转轴位置。

16. 当物体受应力作用时，其长度、形状或体积都可能发生变化，这种变化的相对量称为应变。

17. 材料所受应力与应变的比值为该材料的弹性模量。

（四）判断题

18. ×；19. √；20. √；21. √；22. √

（五）论述题

23. 质点的平衡条件很简单，即加于它的诸力之和必须等于零。然而对于一个刚体来讲，即使加于它的合力等于零，它也可能运动。显然，合力为零这一条件还不足以保证刚体处于静力平衡状态。

当刚体受几个力作用时，从其作用效果来看，可以分为两部分来考虑：一部分是将所有力移到任一点，求其合力，此合力的作用使刚体发生平移。另一部分是考虑各个力对同一转轴所产生的力矩之和，此合力矩的作用使刚体发生转动。因此，欲使刚体平衡（一般指刚体静止）必须满足的条件是 $\sum_i F_i=0$，并且 $\sum_i M_i=0$，这是刚体平衡的充分必要条件。

（六）计算题

24. 试求如图 1-2 所示的圆柱体绕中心轴的转动惯量。设圆柱体的质量为 m，半径为 R，4 个圆柱形空洞的半径均是 $R/3$，从中心轴到各个空洞中心的距离均为 $R/2$。（$J=\frac{59}{90}mR^2$）

解：设用与本题相同的材料将 4 个圆柱形空洞填满。设填满之后每个小圆柱体的质量为 m'，则填满后的总质量为$m+4m$。因此

$$\frac{m+4m'}{m'}=\frac{\pi R^2L}{\pi\left(\frac{R}{3}\right)^2L}=9$$

所以

$$m'=\frac{1}{5}m$$

同时设填满后整个圆柱对中心轴的转动惯量为 J_1，填满后的 4 个小圆柱体对中心轴的转动惯量为 J_2，则题目所求的转动惯量为 $J=J_1-J_2$，而

$J_1=\frac{1}{2}(m+4m')R^2=\frac{9}{10}mR^2$ 由平行轴定理，得

$$J_2=4\left[\frac{1}{2}m'\left(\frac{1}{3}R\right)^2+m'\left(\frac{1}{2}R\right)^2\right]=\frac{11}{45}mR^2$$

故

$$J=J_1-J_2=\frac{9}{10}mR^2-\frac{11}{45}mR^2=\frac{59}{90}mR^2$$

（李海涛）

第二章　振动和波

内容提要

1. 简谐振动　是一种最简单、最基本的振动。任何复杂的振动都是由一些简谐振动所组成。

（1）运动学特征方程

$$x = A\cos(\omega t + \varphi)$$

当物体做简谐振动时，相对于平衡位置的位移是时间的余弦（或正弦）函数。

（2）动力学特征方程

$$\boldsymbol{F} = -k\boldsymbol{x}$$

当物体做简谐振动时，力 $\boldsymbol{F}$ 与位移 $\boldsymbol{x}$ 成正比，但方向始终相反。

（3）简谐振动物体的速度、加速度

$$v = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = -A\omega\sin(\omega t + \varphi)$$

$$a = \frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} = -A\omega^2\cos(\omega t + \varphi)$$

2. 简谐振动的能量

$$E = E_p + E_k = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mA^2\omega^2$$

尽管简谐振动系统的势能和动能都随时间做周期性变化，但总的机械能守恒。

3. 阻尼振动、受迫振动、共振

（1）阻尼振动：振动物体在阻力作用下，振幅随时间而减小的振动。

（2）受迫振动：在振动系统中，作用于振动物体的力除了弹性力和阻力之外，还对系统施加一个周期性的外力。

（3）共振：当外力频率接近系统的固有频率时，物体做受迫振动的振幅急剧增大。

4. 简谐振动的合成

（1）两个同方向、同频率简谐振动的合成：合振动仍然是简谐振动，合振动的角频率与两个分振动的角频率相同，合振动的振幅和初相位都与两个分振动的振幅和初相位有关，由下式决定：

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_2 - \varphi_1)}$$

$$\varphi = \tan^{-1}\frac{A_1\sin\varphi_1 + A_2\sin\varphi_2}{A_1\cos\varphi_1 + A_2\cos\varphi_2}$$

（2）两个同频率、互相垂直的简谐振动的合成

一般情况下合运动的轨迹是一个椭圆，椭圆的性质由两个分振动的振幅和相位差决定。当两个分振动的相位差 $\Delta\varphi = 2k\pi$ 或 $(2k+1)\pi$ 时，合运动的轨迹为一直线，这时质点做简谐振动。

5. 简谐波

$$y = A\cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{u}\right) + \varphi\right]$$

上式是沿 x 轴正方向传播的平面简谐波的波动方程。

6. 波的能量 波传播的过程中，介质中运动的质点具有动能和弹性势能。波动传播的过程中伴随着能量的传播。

平均能量密度

$$\bar{w} = \frac{1}{T}\int_0^T w\mathrm{d}t = \frac{1}{2}\rho A^2\omega^2$$

7. 波的强度 单位时间内通过垂直于波动传播方向单位面积的平均能量。

$$I = \frac{1}{2}\rho u A^2\omega^2$$

8. 波的衰减 波的强度随着传播距离的增加而减弱。

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

式中 μ 为介质的吸收系数，它与介质的性质及波的频率有关。

9. 惠更斯原理 波在传播过程中，波动传播到的每一点都可以看作新波源，向各个方向发射子波，在其后的任一时刻，这些子波的包络面，就是该时刻的新波前。这一原理称为惠更斯原理。

10. 波的干涉

（1）干涉条件：两个波源频率相同、振动方向相同、初相位相同或相位差恒定。

（2）合振动的振幅

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos\left(\varphi_2 - \varphi_1 - 2\pi\frac{r_2 - r_1}{\lambda}\right)}$$

（3）叠加区两分振动的相位差

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 - 2\pi\frac{r_2 - r_1}{\lambda}$$

合振动振幅 A 的大小与两分振动的相位差 $\Delta\varphi$ 有关。

11. 驻波 当两列振幅相同的相干波沿同一直线相向传播时，合成波的波形不随时间变化，称其为驻波。驻波方程

$$y = 2A\cos 2\pi\frac{x}{\lambda}\cos 2\pi\nu t$$

形成驻波时，各点都以振幅 $\left|2A\cos 2\pi\frac{x}{\lambda}\right|$、频率 ν 做简谐振动，各点的振幅随着 x 的变化而有所不同。相邻两波节、波腹的距离均为半个波长。

典型例题

例 2-1 一质点沿 x 轴做简谐振动，振幅为 12cm，周期为 2s，$t=0$ 时质点在位移为 6cm 处，且向 x 轴的正方向运动，求：