前　言

“医学物理学”是全国高等医学院校中一门重要的课程。科学出版社为适应目前医学高等教育的现状，本着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，PBL）教学方法，采用案例与教学内容相结合的模式，组织全国多所高等医学院校的教授修订编写了《医学物理学》（案例版，第 3 版）。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，又组织编写了《医学物理学思维导图与复习考试指南》（第 3 版），与《医学物理学》（案例版，第 3 版）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，并以这些概念和方法的实际应用为基础编写每一章的主要知识点，对主要知识点绘制了思维导图，便于学生理解和记忆。复习思考题的题型多样化，包括选择题、判断题、问答题、计算题。本书使学生在学习基本理论知识的同时也能训练“独创”的思维方法，并提升综合运用知识的能力。

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处。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并给予我们帮助的领导、编辑、同事、朋友表示由衷的感谢。

编　者

2019 年 1 月

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目　　录

第一章　人体力学基础知识 …… 1
一、学习要求与主要内容 …… 1
二、章节知识点思维导图 …… 3
三、复习思考题 …… 4
四、复习思考题参考答案及解析 …… 5
第二章　振动与波 …… 8
一、学习要求与主要内容 …… 8
二、章节知识点思维导图 …… 10
三、复习思考题 …… 11
四、复习思考题参考答案及解析 …… 13
第三章　声波与超声波 …… 16
一、学习要求与主要内容 …… 16
二、章节知识点思维导图 …… 19
三、复习思考题 …… 20
四、复习思考题参考答案及解析 …… 21
第四章　流体的流动 …… 26
一、学习要求与主要内容 …… 26
二、章节知识点思维导图 …… 28
三、复习思考题 …… 29
四、复习思考题参考答案及解析 …… 30
第五章　分子动理论 …… 35
一、学习要求与主要内容 …… 35
二、章节知识点思维导图 …… 38
三、复习思考题 …… 39
四、复习思考题参考答案及解析 …… 41
第六章　生命过程中的热力学 …… 46
一、学习要求与主要内容 …… 46
二、章节知识点思维导图 …… 49
三、复习思考题 …… 50
四、复习思考题参考答案及解析 …… 51
第七章　人体的生物电场 …… 54
一、学习要求与主要内容 …… 54
二、章节知识点思维导图 …… 57
三、复习思考题 …… 58
四、复习思考题参考答案及解析 …… 59

第八章　直流电……64
一、学习要求与主要内容……64
二、章节知识点思维导图……66
三、复习思考题……67
四、复习思考题参考答案及解析……68
第九章　磁场及其生物效应……71
一、学习要求与主要内容……71
二、章节知识点思维导图……74
三、复习思考题……75
四、复习思考题参考答案及解析……76
第十章　几何光学……79
一、学习要求与主要内容……79
二、章节知识点思维导图……84
三、复习思考题……85
四、复习思考题参考答案及解析……86
第十一章　光的波动性……91
一、学习要求与主要内容……91
二、章节知识点思维导图……94
三、复习思考题……95
四、复习思考题参考答案及解析……97
第十二章　光的粒子性……101
一、学习要求与主要内容……101
二、章节知识点思维导图……103
三、复习思考题……104
四、复习思考题参考答案及解析……106
第十三章　量子力学基础……109
一、学习要求与主要内容……109
二、章节知识点思维导图……111
三、复习思考题……112
四、复习思考题参考答案及解析……113
第十四章　相对论基础……115
一、学习要求与主要内容……115
二、章节知识点思维导图……118
三、复习思考题……119
四、复习思考题参考答案及解析……120
第十五章　激光……123
一、学习要求与主要内容……123
二、章节知识点思维导图……125
三、复习思考题……126

四、复习思考题参考答案及解析 …… 127
第十六章 X 射线 …… 130
一、学习要求与主要内容 …… 130
二、章节知识点思维导图 …… 132
三、复习思考题 …… 133
四、复习思考题参考答案及解析 …… 134
第十七章 原子核与放射性 …… 138
一、学习要求与主要内容 …… 138
二、章节知识点思维导图 …… 141
三、复习思考题 …… 142
四、复习思考题参考答案及解析 …… 143
第十八章 核磁共振 …… 147
一、学习要求与主要内容 …… 147
二、章节知识点思维导图 …… 151
三、复习思考题 …… 152
四、复习思考题参考答案及解析 …… 153

第一章　人体力学基础知识

一、学习要求与主要内容

（一）学习要求

1. 掌握转动惯量、角动量的概念以及转动定律和角动量守恒定律、应力、应变、弹性模量等概念。

2. 熟悉骨骼与肌肉的力学性质。

3. 了解人体的静力平衡及其条件。

（二）主要内容

1. 刚体　刚体指在外力的作用下，大小、形状等保持不变的物体。刚体绕某一固定转轴转动时的角速度与角位移的关系

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

刚体的角加速度为

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

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

$$E_{\mathrm{k}}=\frac{1}{2}J\omega^2$$

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

$$M=J\alpha$$

角动量，即动量矩。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

$$L=J\omega$$

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矩为零时，则系统对此轴的总角动量保持不变，即

$$\sum J\omega=\text{恒量}$$

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。

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。

正应力：与作用面垂直的应力。

切应力：与作用面平行的应力。

应变指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。

正应变指当物体受应力作用时，其长度变化和原长之比，即

$$\varepsilon=\frac{\Delta L}{L_0}$$

需要全本请访问 www.ertongbook.com

切应变指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

弹性模量：材料应力与应变的比值为该材料的弹性模量。

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

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

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

希尔（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。

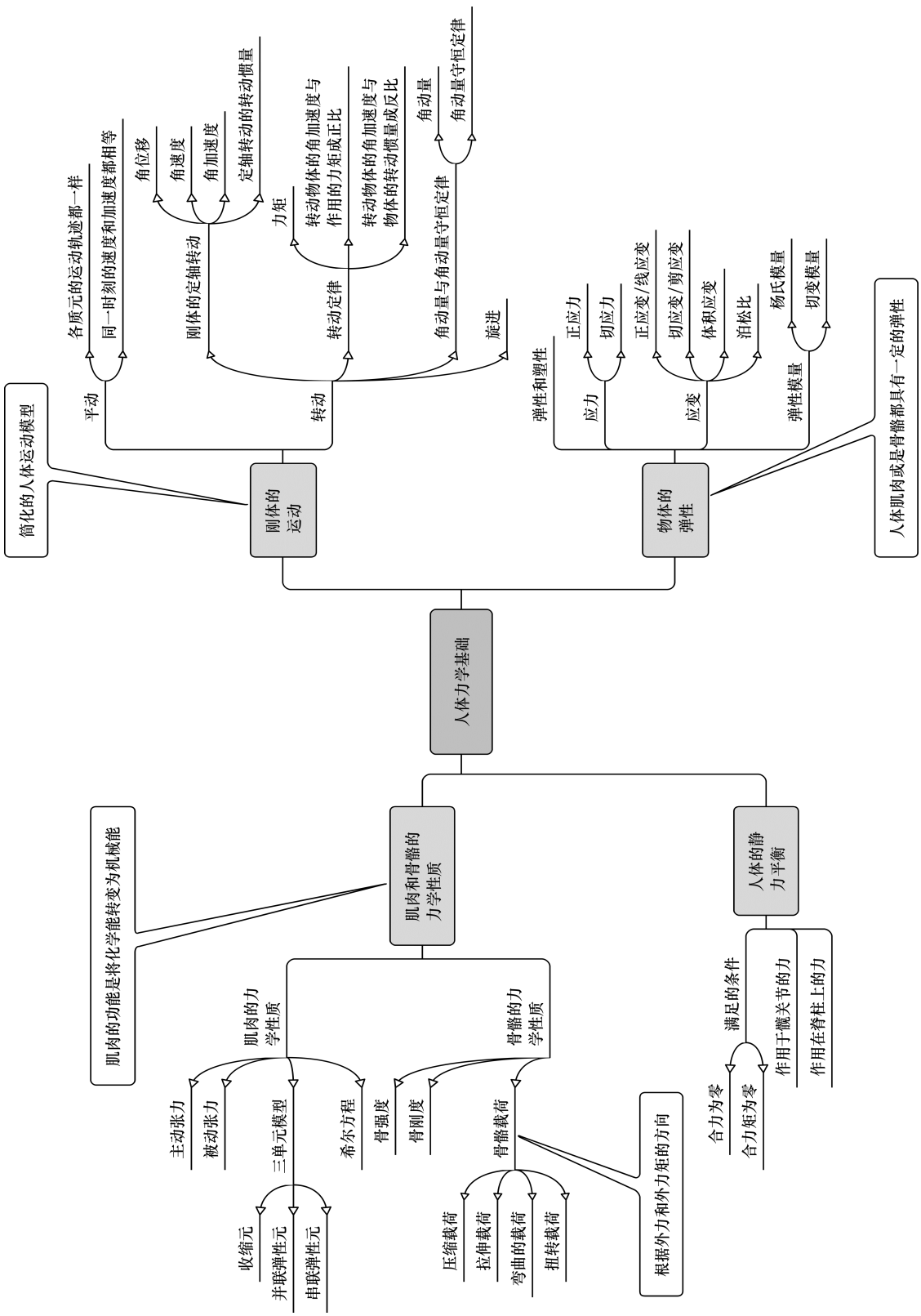
4. 人体的静力平衡 当人体某力学系统研究对象可视为刚体的情况下，人体静力平衡的充分必要条件是刚体所受合力为零，各外力对同一转轴所产生的力矩之和为零，即

$$\sum_i F_i = 0$$

$$\sum_i M_i = 0$$

对于平面力系，$\sum_i F_i$ 可用其分量式表示。

二、章节知识点思维导图


人体力学基础
简化的人体运动模型
刚体的运动
平动
各质元的运动轨迹都一样
同一时刻的速度和加速度都相等
转动
刚体的定轴转动
角位移
角速度
角加速度
定轴转动的转动惯量
转动定律
力矩
转动物体的角加速度与作用的力矩成正比
转动物体的角加速度与物体的转动惯量成反比
角动量与角动量守恒定律
角动量
角动量守恒定律
旋进
物体的弹性
弹性和塑性
应力
正应力
切应力
应变
正应变/线应变
切应变/剪应变
体积应变
弹性模量
泊松比
杨氏模量
切变模量
人体肌肉或是骨骼都具有一定的弹性
肌肉的功能是将化学能转变为机械能
肌肉和骨骼的力学性质
肌肉的力学性质
主动张力
被动张力
三单元模型
收缩元
并联弹性元
串联弹性元
希尔方程
骨骼的力学性质
骨强度
骨刚度
骨骼载荷
压缩载荷
拉伸载荷
弯曲的载荷
扭转载荷
根据外力和外力矩的方向
人体的静力平衡
满足的条件
合力为零
合力矩为零
作用于髋关节的力
作用在脊柱上的力

三、复习思考题

（一）单项选择题

1. 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　　E. 以上都不是

2. 下列关于刚体角动量守恒的说法正确的是（　　）。

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. 刚体的转动惯量保持不变

E. 以上都不是

3. 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　　E. 以上都不是

4. 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

E. 以上都不是

5. 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　　E. 以上都不是

（二）多项选择题

1. 刚体的运动可包含（　　）。

A. 平动　　B. 定轴转动　　C. 自旋

D. 转动　　E. 以上都不是

2. 关于转动惯量，下列描述正确的是（　　）。

A. 转动惯量越大，物体获得一定角速度所需的能量越多

B. 转动惯量越大，物体获得一定角速度所需的能量越少

C. 转动惯量是刚体转动惯性的量度

D. 决定于刚体的质量、形状、质量分布和转轴位置

E. 与质量无关

3. 力矩（　　）。

A. 是描述使物体产生加速转动的客观作用　　B. 是能量变化的量度　　C. 是矢量

D. 方向由左手定则规定　　E. 以上都不是

4. 关于胡克定律正确的说法是（　　）。

A. 可对塑性材料使用　　B. 应力与应变成正比　　C. 可对弹性材料使用

D. 应力与应变的比例系数为该材料的弹性模量　　E. 以上都不是

5. 关于骨骼的力学性质，下列描述正确的是（　　）。

A. 骨骼是非线性弹性体

B. 拉伸载荷是自骨骼的表面向外施加的载荷

C. 剪切作用时，载荷施加方向与骨骼横截面平行

D. 扭转载荷使骨骼横截面每一点均承受切应力作用

E. 以上都不是

（三）判断题

1. 定轴转动的物体，角动量守恒时，转动惯量与角速度的平方成正比。（　　）

2. 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。（　　）

3. 与一般金属相比，骨骼可近似地认为是线性弹性体。（　　）

（四）问答题

1. 什么是刚体？

2. 什么是转动惯量？

3. 试述应变及其种类。

4. 什么是弹性模量？

5. 试述刚体的平衡条件。

（五）计算题

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

2. 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 3×10^{-3}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。

3. 一长肌的横截面积为 50cm^2，长为 15cm，每平方厘米的张力为 80N，设肌肉收缩时缩小为原长的一半，试求该肌肉每收缩一次所做的功。

4. 设某人一条腿骨长 0.6m，平均横截面积为 3cm^2，骨骼的杨氏模量为 10^{10}N·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？

5. 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 的人攀登到距梯子下端 h 的地方。试求梯子不滑动的条件。

四、复习思考题参考答案及解析

（一）单项选择题

1. [答案] B　[题解] 转动惯量是刚体转动惯性的量度，$J=\int r^2\mathrm{d}m$。

2. [答案] C　[题解] 角动量守恒定律是指系统所受的外力对某固定轴的合外力矩为零时，系统对此轴的总角动量保持不变。

3. [答案] A　[题解] 转动惯量是刚体转动惯性的量度，$J=\int r^2\mathrm{d}m$。

4. [答案] D　[题解] 应力是作用于物体单位面积上的弹性力。

5. [答案] B　[题解] 正应力是与作用面垂直的应力，切应力是与作用面平行的应力。

（二）多项选择题

1. [答案] ABC　[题解] 刚体可以看成由许多质点组成，每一个质点称为刚体的一个质元，刚体这个质点系的特点是，在外力作用下各质元之间的相对位置保持不变。刚体的运动可以是平动、转动或二者的结合。

2. [答案] ACD　[题解] 转动惯量是一个衡量转动惯性的量，其越大，要使物体获得一定角速度所需的能量越多；它决定于刚体的质量、形状、质量分布和转轴位置。

3. [答案] AC　[题解] 用力矩来描述使物体产生加速转动的客观作用。功是能量变化的度量，是标量。力矩是使物体改变转动状态的原因，也就是产生角加速度的原因，是矢量，它的方向由右手螺旋定则来规定。

4. [答案] BCD　[题解] 在弹性极限内，应力、应变成正比，这就是胡克定律。

5. [答案] ABCD　[题解] 骨骼是非线性弹性体，拉伸载荷是自骨骼的表面向外施加的载荷，剪切作用时，载荷施加方向与骨骼横截面平行，扭转载荷使骨骼横截面每一点均承受切应力作用。

（三）判断题

1. [答案] ×　[题解] 转动惯量是刚体转动惯性的量度，$J=\int r^2\mathrm{d}m$。

2. [答案] √ [题解] 肌肉长度的增加，对其收缩速度有良好影响，但不影响它的收缩力。在多个模型并联而成的肌肉的一个断面上，各个模型产生同样的变形与相同的收缩速度，而肌肉两端的作用力是各个模型对其两端作用力之和。

3. [答案] √ [题解] 实验表明，骨骼是典型的非线性弹性体，骨骼在不同方向载荷作用下表现出不同的力学性能。

（四）问答题

1. [答题要点] 刚体是指在外力的作用下，大小、形状等保持不变的物体，是固体物件的理想化模型。

2. [答题要点] 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。

3. [答题要点] 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。按变化量的不同，应变有正应变、切应变及体应变等。

4. [答题要点] 材料所受应力与应变的比值为该材料的弹性模量。

5. [答题要点] 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）必须满足的条件是合外力和合力矩均为零。

（五）计算题

1. [题解] 封闭系统角动量守恒有

$$J_1\omega_1 = J_2\omega_2$$

两臂收回后系统角速度 $$\omega_2 = \frac{J_1\omega_1}{J_2} = \frac{6.0\times 2\pi}{2.0} = 6\pi\ \mathrm{rad\cdot s^{-1}}$$

则 $$\frac{E_{k2}}{E_{k1}} = \frac{\frac{1}{2}J_2\omega_2^{\,2}}{\frac{1}{2}J_1\omega_1^{\,2}} = \frac{\frac{1}{2}\times 2.0\times(6\pi)^2}{\frac{1}{2}\times 6.0\times(2\pi)^2} = \frac{3}{1}$$

即此时系统的转动动能与原来的转动动能之比为 3∶1。

2. [题解] 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

$$\text{张应变}\ \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = 0.5$$

$$\text{张应力}\ \sigma = \frac{F}{S} = \frac{270}{0.003} = 9\times 10^4(\mathrm{N\cdot m^{-2}})$$

所以杨氏模量为

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{9\times 10^4}{0.5} = 1.8\times 10^5(\mathrm{N\cdot m^{-2}})$$

3. [题解]

$$W = P_x = 80\times 50\times\frac{15\times 10^{-2}}{2} = 300(\mathrm{N\cdot m})$$

4. [题解]

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

$$\Delta l = \frac{l_0 F}{SE} = \frac{0.6\times\frac{800}{2}}{3\times 10^{-4}\times 10^{10}} = 8\times 10^{-5}(\mathrm{m})$$

5. [题解] 要使梯子不滑动，则应有

$$Pl\cos\phi + P_1 h\cos\phi < N2l\sin\phi$$

$$N = \mu(P + P_1)$$

有 $$\frac{Pl + P_1 h}{2l}\cot\phi < \mu(P + P_1)$$

（李　杭）

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第二章　振 动 与 波

一、学习要求与主要内容

（一）学习要求

1. 熟练掌握简谐振动的规律，平面简谐波波动方程的意义。

2. 理解简谐振动的合成；波的能量、强度、衰减和干涉；能流的概念。

3. 了解阻尼振动、受迫振动和共振。

（二）主要内容

1. 简谐振动　简谐振动是一种最基本、最简单的振动，任何复杂的振动都可以看成是若干个简谐振动的合成。

（1）简谐振动的特征

动力学特征：在线性回复力作用下围绕平衡位置的振动。

运动学特征：物体振动时其位移和时间的关系满足

$$x = A\cos（\omega t + \varphi_0）或 x = A\sin(\omega t + \varphi_0')$$

（2）振动方程

振动位移：$x = A\cos(\omega t + \varphi_0)$

振动速度：$v = \dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = -A\omega\sin(\omega t + \varphi_0)$

振动加速度：$a = \dfrac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} = \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = -A\omega^2\cos(\omega t + \varphi_0)$

（3）三要素

简谐振动的三要素为振幅 A、角频率 ω 和初相位 φ_0。

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}，\quad A = \sqrt{x_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega^2}}，\quad \tan\varphi_0 = -\frac{v_0}{x_0\omega}$$

2. 振动能量

（1）动能

$$E_\mathrm{k} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mA^2\omega^2\sin^2(\omega t + \varphi_0)$$

（2）势能

$$E_\mathrm{p} = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2\cos^2(\omega t + \varphi_0)$$

（3）机械能

$$E = E_\mathrm{k} + E_\mathrm{p} = \frac{1}{2}m\omega^2A^2 = \frac{1}{2}kA^2$$

简谐振动时总机械能守恒，与振幅的平方成正比。

3. 阻尼振动、受迫振动、共振

（1）阻尼振动：系统除了受弹性力以外还存在阻力的作用，其振幅会慢慢减少。根据阻力大小分为欠阻尼、过阻尼、临界阻尼三类。

（2）受迫振动：系统中不仅有弹性力、阻力还有周期性外力的作用。

（3）共振：系统进行受迫振动，当阻尼很小且外力的频率 ω 接近于系统固有的频率 ω_0 时，系统的振幅会出现急剧增大的现象。

4. 简谐振动的合成

（1）两个同方向、同频率简谐振动的合成：合成结果还是简谐振动。

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

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

合振幅的大小由两个分振动的相位差决定：

① $\Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1=\pm2k\pi,k=0,1,2,\cdots$ 时，合振幅最大，$A=A_1+A_2$。

② $\Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1=\pm(2k-1)\pi,k=0,1,2,\cdots$ 时，合振幅最小，$A=|A_1-A_2|$。

当相位差为其它值时，合振幅在最大和最小值之间。

（2）两个同频率、相互垂直的简谐振动的合成：两个同频率、互相垂直的简谐振动的合成轨迹为直线、椭圆或者圆，图样的具体性质由分振动的振幅及相位差决定。

5. 机械波的产生与传播

（1）产生条件：波源和弹性介质。

（2）分类

振动方向与传播方向垂直的波动，称为横波；

振动方向与传播方向平行的波动，称为纵波。

6. 波的描述 波面，波前，波线，平面波，球面波，波长，波的周期（或频率）和波速。

$$\text{波长}\ \lambda=uT\ \text{或}\ \lambda=\frac{u}{v}$$

7. 波的方程 波长波沿正 x 轴方向传播时

$$y(x,t)=A\cos\left[\omega\left(t-\frac{x}{u}\right)+\varphi_0\right]$$

$$y(x,t)=A\cos\left[2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{x}{\lambda}\right)+\varphi_0\right]$$

$$y(x,t)=A\cos\left[2\pi\left(\nu t-\frac{x}{\lambda}\right)+\varphi_0\right]$$

8. 波的能量 波是振动能量传播的一种形式。介质中的质元能量包括动能和势能，它们都随时间做周期性变化，质元的总能量也随时间做周期性变化。

平均能量密度：$$\bar{w}=\frac{1}{2}\rho A^2\omega^2$$

9. 波的强度 单位时间内通过垂直于波动传播方向的单位面积的平均能量，叫做平均能流密度或者波的强度，简称波强：

$$I=\frac{\bar{w}uS}{S}=\frac{1}{2}\rho uA^2\omega^2$$

波强与介质的性质有关，并且与振幅的平方以及频率的平方都成正比。

10. 波的衰减

（1）吸收衰减：介质会吸收波的一部分能量，导致波的强度和振幅减小。平面简谐波的吸收衰减规律为：

$$I=I_0e^{-\mu x}$$

其中 μ 称为介质的吸收系数，它与介质的性质及波的频率有关。

（2）扩散衰减：波往前传播时分布的面积变大，导致波的强度变小。

11. 惠更斯原理 在波的传播过程中，波动传到的每个点都可以看成是新的波源，往外发射子波。在其后的任一时刻，这些子波的包络面就是该时刻新的波前。

12. 波的干涉

（1）干涉条件：两列波振动方向相同、频率相同、相位差恒定。

（2）干涉现象：满足干涉条件的两列波在空间相遇时，某些位置的合振动始终加强，而另一些位置的合振动始终减弱。

当波程差 $\delta = r_2 - r_1 = \pm k\lambda\,, k = 0\,, 1\,, 2\,, \cdots$ 时， $A = A_1 + A_2$ ，振动加强；

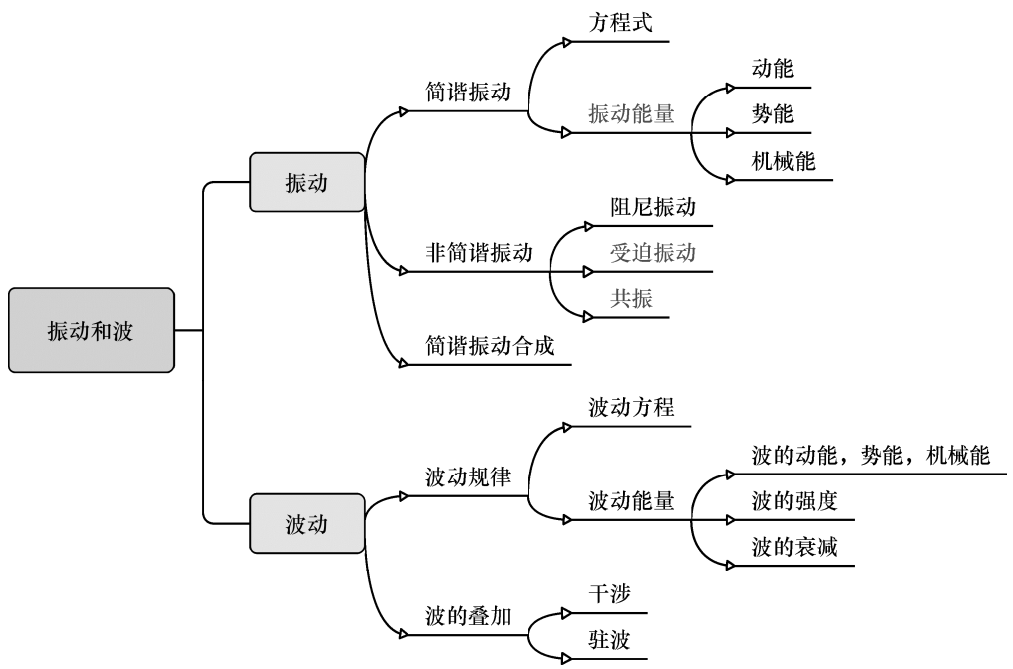
$\delta = r_2 - r_1 = \pm(2k-1)\dfrac{\lambda}{2}\,, k = 0\,, 1\,, 2\,, \cdots$ 时， $A = \left|A_1 - A_2\right|$ ，振动减弱。

13. 驻波 两列振幅，振动频率相同，相位差恒定的波在同一直线上相向传播时发生的叠加现象，称为驻波，是干涉的特例。

驻波方程：
$$y = \left(2A\cos 2\pi\frac{x}{\lambda}\right)\cos 2\pi\nu t$$

在相遇区域内，各个质点都在作振幅为 $\left|2A\cos 2\pi\dfrac{x}{\lambda}\right|$、频率为 ν 的简谐振动，振幅随质点位置的不同而变化。

二、章节知识点思维导图



三、复习思考题

（一）单项选择题

1. 把一个沙漏系上线做成一个简单的单摆，当其摆动时，沙子会不断地漏出，则此单摆的周期将会（　　）。

A. 不变　　B. 增大　　C. 减小　　D. 先减小后增大

2. 弹簧振子在作简谐振动，下列说法中正确的是（　　）。

A. 如果速度为正值，则加速度也一定为正值

B. 如果位移为负值，则速度也一定为负值

C. 振子每次通过平衡位置时，速度为零，加速度最大

D. 振子每次通过同一位置时，速度不一定相同，加速度一定相同

3. 如图 2-1 所示振动曲线图像，下列说法中正确的有（　　）。

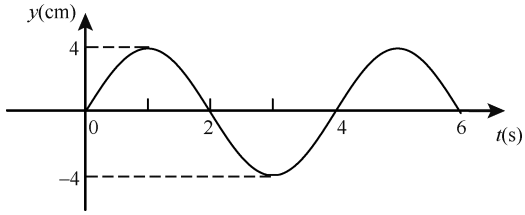


图 2-1　振动曲线

A. 2s 时物体的速度为负值，加速度为零

B. 其振幅为 4m，周期为 4s

C. 第 9s 时物体的加速度为正，速度最小

D. 2s 时和 4s 时物体的速度相同

4. 简谐振动系统的总能量（　　）。

A. 与速度的平方成正比　　B. 与振幅平方成正比

C. 与频率成正比　　D. 与加速度的平方成正比

5. 一质点同时参与两个分振动，方程分别为 $x_1=6\cos\pi t$，$x_2=3\cos(\pi t+\pi)$，则其合振动方程应为（　　）。

A. $x=6\cos(\pi t+\pi)$　　B. $x=6\cos(\pi t-\pi)$

C. $x=3\cos\pi t$　　D. $x=3\cos(\pi t-\pi)$

6. 当一列声波通过两种介质时，哪些物理量会发生变化？（　　）。

A. 频率和周期　　B. 波长和频率

C. 波速和周期　　D. 波速和波长

7. 在波的干涉现象中，若两列波在相遇处干涉加强，则它们在相遇处所引起的两分振动的相位差 $\Delta\varphi$ 必须满足（k 为整数）（　　）。

A. $\Delta\varphi=2k\pi$　　B. $\Delta\varphi=2k\left(\dfrac{\pi}{2}\right)$

C. $\Delta\varphi=(2k+1)\dfrac{\pi}{2}$　　D. $\Delta\varphi=(2k+1)\pi$

（二）多项选择题

1. 一平面简谐波沿 x 轴正向传播，已知其振幅为 0.1m，周期为 0.5s，波长为 10m 初始时刻波源质点振动位移为 0.05m，且向着平衡位置运动，则（　　）。

A. 波源质点振动初相为 $\pi/3$　　B. 波速为 20m/s

C. 波线上相距 2.5m 的两个质点振动位相差为 $\pi/3$

D. 次波的波动方程为：$y=0.1\cos\left[4\pi\left(t+\frac{x}{20}\right)-\frac{\pi}{3}\right]$

2. 机械波在介质中传播，下列关于波的能量的描述中正确的是（　　）。

A. 任一质元的动能和势能均随时间周期性变化，动能最大时，势能最小

B. 波在传播过程中，能量随时间、空间周期性变化

C. 任一质元的总机械能守恒

D. 任一质元的动能和势能同相位

（三）判断题

1. 弹簧振子在光滑水平面上作简谐振动时，在半个周期内弹性力做的功为零。（　　）

2. 在波的传播方向上相邻两个运动速度相同的点之间的距离为一个波长。（　　）

3. 根据波长、波速和频率之间的关系 $u=\lambda v$，频率高的波传播速度大。（　　）

4. 简谐波传播到的各个介质体积元都在作简谐振动，所以其总能量守恒。（　　）

（四）问答题

1. 什么样的振动可以称为简谐振动？请举出几个简谐振动的例子。

2. 机械波形成的条件是什么？请举出几个机械波的例子。

3. 试简述简谐振动能量和波动能量的区别和联系。

4. 一列声波从水中进入空气时，其振动频率、振幅、波速和波长会不会发生改变？

（五）计算题

1. 一个质点在 ox 轴上作简谐振动，初始时刻在正的最大位移处，请问此简谐振动的初相位为多少？（可用公式计算或图示法得到。）

2. 已知一平面简谐波的波动方程式，求其振幅、波长、周期和频率。方程式为：

$$y(x,t)=4\cos\left[4\pi\left(t-\frac{x}{2}\right)-\pi\right]\text{cm}$$

3. 已知一列平面简谐波沿着正 x 轴方向传播，在 t=0s 和 2s 时刻的波形如图 2-2 所示：已知 $T\geqslant 4$s，求①此波的波动方程；②原点 O 的振动方程。

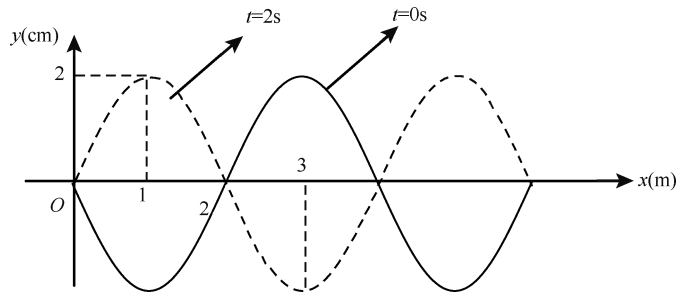


图 2-2　振动曲线

4. 一点状波源，功率为 10W，在一各向同性的介质中传播球面波，试问，在距波源 1m、2m 处的波强分别为多少？（设介质对波能量无吸收）

5. 如图 2-3 所示有两个相干波源 A_1 和 A_2，在同一介质中传播，振动方程分别为

$$y=10\cos(20\pi t)\text{m},$$

$$y=5\cos\left(20\pi t+\frac{\pi}{2}\right)\text{m}$$

当两列波在 P 点相遇时，要使合振动加强，则波速最大值为多少？

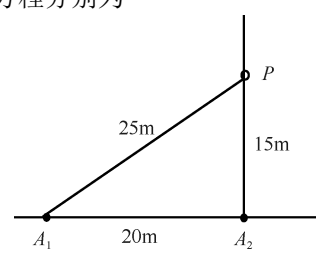


图 2-3

6. 窗户外有一施工地，在窗口处用噪声监测器来监测声强为 $100\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$，窗户面积为 1.5m^2，则入户噪声功率为多少？

7. A 和 B 是两个相位差为零、频率相同、振动方向相同以及振幅相

同的相干波源，各自形成的波在同一介质中传播，A 和 B 间距为 $\frac{5\lambda}{2}$，

（1）若 R 为 AB 连线上 A 和 B 外侧一点，求 R 点处的振幅。

（2）若 R 为 AB 连线上 A 和 B 之间一点，求 R 点处的振幅为零的位置。

四、复习思考题参考答案及解析

（一）单项选择题

1. [答案] B [题解] 质量减少，周期增大。

2. [答案] D [题解] 加速度取决于回复力，位置相同，回复力相同。

3. [答案] B [题解] 如图 2-1 所示。

4. [答案] B [题解] 振幅越大，弹簧形变越大，机械能越大。

5. [答案] C [题解] 矢量合成。

6. [答案] D [题解] 介质不同，波速不同，波长不同，频率不变，周期不变。

7. [答案] A [题解] 相位差满足 k 的整数倍，即为同相，合振幅最大，干涉加强。

（二）多项选择题

1. [答案] AB [题解] 代入速度公式得出。

2. [答案] BD [题解] 波的能量是变化的，动能、势能同相。

（三）判断题

1. [答案] √ [题解] 做功一半为正，一半为负。

2. [答案] √ [题解] 波长定义。

3. [答案] × [题解] 速度只取决于介质。

4. [答案] × [题解] 波的能量呈周期性变化。

（四）问答题

1. [答题要点] 从运动学来看，如果物体运动时其位移和时间满足关系

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

则可以称为简谐振动；从动力学来看，如果物体受到的是一线性回复力的作用，则其运动可以称为简谐振动。例如，弹簧振子在竖直方向悬挂时的运动；单摆作小角度的摆动；复摆作小角度的摆动。

2. [答题要点] 条件：波源，能够传递波的弹性介质。水波、声波、地震波。

3. [答题要点] ①孤立的谐振子系统，在振动过程中振动动能和势能都是随时间作周期性变化，位移最大时，势能最大，动能为零；物体通过平衡位置时，势能为零，动能最大；总机械能保持守恒。②波动传播过程中，体积元的振动动能和弹性势能表达式相同，与体积元的形变有关。振动位移最大时，形变最小，动能和势能同时为零；振动到平衡位置时，形变最大，动能和势能同时达最大；体积元的总机械能是随时间作周期性变化的，说明质元在不断地接收和放出能量，所以波动的过程也是能量传递的过程，而孤立的振动系统不传递能量。

4. [答题要点] 因为波的周期和频率由波源决定，而波源没有变，所以其振动频率不变；介质对波能量无吸收，所以振动振幅不变；波速与介质有关，介质不同，波速不同，所以波速改变；$\lambda = uT$，波长与波速有关，所以波长也会改变。

（五）计算题

1. [题解]（1）公式计算：初始时刻在正的最大位移处，

所以 $x_0 = A$，$v_0 = +0$。

所以 $\tan\varphi_0 = -\frac{v_0}{x_0\omega} = -0$，所以 $\varphi_0 = 0$

（2）图示法：由初始条件可画出旋转矢量图 2-4，初始时刻的矢量与正 x 轴的夹角为零，所以初相位为零。

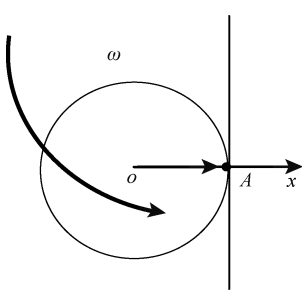


图 2-4

2. [题解] 从波动方程可以得到，$A = 4\text{cm}$, $u = 2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$，$\omega = 4\pi$，所以：

$\nu = 2\text{Hz}$，$T = 0.5\text{s}$，$\lambda = uT = 2\times 0.5 = 1\text{m}$。

需要全本请访问 www.ertongbook.com