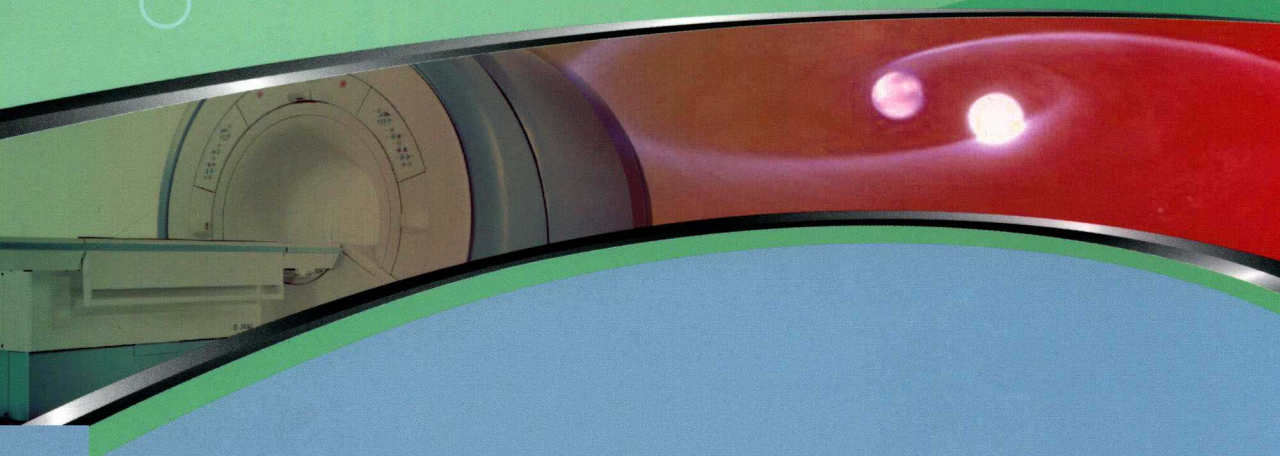


医学物理学 学习指导

王光昶 贺 兵 主编



科学出版社

医学物理学学习指导

王光昶 贺 兵 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是根据“医学物理学”课程教学的基本要求,结合医学生教学培养的特点并针对学习“医学物理学”课程中存在的问题和遇到的困难,总结多年的教学实践经验和成果编写的。练习和复习是学习过程中不可缺少的重要环节,而解题是加深对基本概念和基本定律理解和掌握的一个重要手段。

本书是王光昶、贺兵主编的《医学物理学》的配套学习指导用书,全书内容分16章,每章均由教学基本要求、内容提要、解题指导、教材案例分析、教材习题解答、自测题及自测题答案7部分组成,是学习“医学物理学”内容的十分有用的工具。本书旨在启发、培养,进而提高医学生的自学能力和认识问题、分析问题、解决问题的能力,帮助其提高学习效率。

本书既可作为教师的辅导用书,也可作为医药类专业本科生的辅导参考书,也可供自学者学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

医学物理学学习指导 / 王光昶, 贺兵主编. —北京: 科学出版社, 2016.8
ISBN 978-7-03-048453-6

I. ①医… II. ①王… ②贺… III. ①医学物理学-高等学校-教学参考资料
IV. ①R312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 152832 号

责任编辑: 昌盛 罗吉/责任校对: 彭涛

责任印制: 白洋/封面设计: 迷底书装

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>

大厂书文印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年8月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016年8月第一次印刷 印张: 14 3/4

字数: 350 000

定价: 35.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《医学物理学学习指导》编写委员会

主 编 王光昶 贺 兵

副主编 周继芳 郑尚彬 张 婷 唐碧华

编 委 (按姓名笔画排序)

王光昶(成都医学院)

王昌军(锦州医科大学)

朱 渊(西南医科大学)

伍 佳(西南医科大学)

刘玉红(成都医学院)

许 标(西南医科大学)

张 婷(成都医学院)

张建炜(成都医学院)

陈 涛(成都医学院)

罗亚梅(西南医科大学)

周继芳(成都医学院)

郑尚彬(西南医科大学)

姜云海(西南医科大学)

贺 兵(西南医科大学)

唐碧华(西南医科大学)

梁 栋(成都医学院)

前 言

“医学物理学”是高等医药院校一门重要的基础理论课程。为了适应现代科学技术的发展及培养面向 21 世纪医学科学人才的总体要求,本书对传统的本科医学物理学课程进行大胆地改革,全面推进创新素质教育,更好地贯彻少而精的原则,让学生能用较少的时间掌握更多的现代医学所需的物理学知识,培养学生形成自主学习的良好习惯,提高学生认识问题、分析问题和解决问题的能力。我们根据“医学物理学”课程教学的基本要求,结合医学生培养的特点并针对医学生学习“医学物理学”课程中存在的问题和遇到的困难,总结多年的教学实践经验和成果编写了这本与理论教材相配套的指导书。

本书旨在启发、培养,进而提高医学生的自学能力,帮助其提高学习效率。为此,本书把全部注意力集中在各章最基本的内容上。“教学基本要求”部分,让学生明白本章的学习目的和基本要求;“内容提要”部分,引导学生复习并掌握本章的基本内容;“解题指导”部分,则通过典型例题的分析和求解,总结解题的思路和方法,讨论解题技巧;“教材案例分析”部分,对主干理论教材《医学物理学》各章出现的案例进行详细分析,供学生学到相关知识及理论联系实际时参考,从而为基础学科与临床学科密切联系提供了一条有效途径;“教材习题解答”部分,对主干理论教材《医学物理学》各章的习题给出详细的参考答案,供学生检查自己所做习题时使用;“自测题”部分,供学生自我评估学习效果使用,并附有参考答案,供学生查对。

本书是学习、复习“医学物理学”内容的有力工具,可以使学生掌握教材中的重点、难点及需要了解的内容,使学生在动脑、动手、练习每一道习题的过程中,掌握物理学的基本知识、基本原理、概念、思想及方法,做到学有所获。

由于编者的能力和水平有限,经验不足,书中的不足和疏漏之处在所难免,恳切希望使用本书的师生及同行批评指正。

王光昶
2016 年 5 月

目 录

前言

第 1 章 力学基础	1
一、教学基本要求	1
二、内容提要	1
三、解题指导	3
四、教材案例分析	6
五、教材习题解答	6
六、自测题	10
七、自测题答案	14
第 2 章 物体的弹性与形变	18
一、教学基本要求	18
二、内容提要	18
三、解题指导	19
四、教材案例分析	20
五、教材习题解答	22
六、自测题	24
七、自测题答案	25
第 3 章 流体的运动	27
一、教学基本要求	27
二、内容提要	27
三、解题指导	29
四、教材案例分析	31
五、教材习题解答	32
六、自测题	37
七、自测题答案	40
第 4 章 机械振动和机械波 声波	42
一、教学基本要求	42
二、内容提要	42
三、解题指导	47
四、教材案例分析	48
五、教材习题解答	50
六、自测题	56
七、自测题答案	61

第5章 分子动理论	63
一、教学基本要求	63
二、内容提要	63
三、解题指导	66
四、教材案例分析	67
五、教材习题解答	67
六、自测题	70
七、自测题答案	72
第6章 热力学基础	74
一、教学基本要求	74
二、内容提要	74
三、解题指导	75
四、教材案例分析	77
五、教材习题解答	78
六、自测题	82
七、自测题答案	83
第7章 静电场	85
一、教学基本要求	85
二、内容提要	85
三、解题指导	90
四、教材案例分析	93
五、教材习题解答	94
六、自测题	104
七、自测题答案	109
第8章 直流电	111
一、教学基本要求	111
二、内容提要	111
三、解题指导	114
四、教材案例分析	116
五、教材习题解答	116
六、自测题	120
七、自测题答案	123
第9章 磁场与电磁感应	124
一、教学基本要求	124
二、内容提要	124
三、解题指导	128
四、教材案例分析	131
五、教材习题解答	132

六、自测题	137
七、自测题答案	138
第 10 章 波动光学	141
一、教学基本要求	141
二、内容提要	141
三、解题指导	144
四、教材案例分析	145
五、教材习题解答	146
六、自测题	149
七、自测题答案	152
第 11 章 几何光学	155
一、教学基本要求	155
二、内容提要	155
三、解题指导	160
四、教材案例分析	162
五、教材习题解答	163
六、自测题	167
七、自测题答案	170
第 12 章 量子力学基础	172
一、教学基本要求	172
二、内容提要	172
三、解题指导	176
四、教材案例分析	177
五、教材习题解答	178
六、自测题	183
七、自测题答案	185
第 13 章 X 射线	187
一、教学基本要求	187
二、内容提要	187
三、解题指导	189
四、教材案例分析	190
五、教材习题解答	190
六、自测题	192
七、自测题答案	194
第 14 章 原子核和放射性	196
一、教学基本要求	196
二、内容提要	196
三、解题指导	201

四、教材案例分析	202
五、教材习题解答	203
六、自测题	204
七、自测题答案	207
第 15 章 激光及其医学应用	209
一、教学基本要求	209
二、内容提要	209
三、解题指导	210
四、教材案例分析	211
五、教材习题解答	211
六、自测题	212
七、自测题答案	215
第 16 章 磁共振成像	217
一、教学基本要求	217
二、内容提要	217
三、解题指导	218
四、教材案例分析	218
五、教材习题解答	219
六、自测题	222
七、自测题答案	223
参考文献	225
附录 常用物理常数	226

第1章 力学基础

一、教学基本要求

1. 熟悉质量、时间和长度等基本物理量和国际单位制以及量纲.
2. 建立运动学的基本概念: 质点、参照系、位移、速度、加速度、角速度和角加速度, 掌握描述质点运动状态的方法.
3. 理解力、力矩、动量、动能、功、功率、转动惯量和角动量的概念.
4. 能运用牛顿运动定律、动量守恒、动能定理、转动定律、角动量守恒等定律, 分析和解决基本力学问题.
5. 了解惯性系和非惯性系以及离心力的概念.
6. 了解转动惯量在医学领域中的应用.

二、内容提要

1. 物理量及其描述

物理量是指物理学中量度物体属性或描述物体运动状态及其变化过程的量, 它们通过物理定律及其方程建立相互间的关系. 互相独立的基本物理量有长度、质量、时间、电流、热力学温度、光强度和物质的量, 其国际单位制(SI 制)分别为米(m)、千克(kg)、秒(s)、安(A)、开(K)、坎(cd)和摩尔(mol), 其余的物理量可由基本物理量导出, 叫做导出物理量, 其单位由量纲式给出.

2. 运动的描述

质点: 忽略物体的形状和大小, 把它看成一个具有它的质量的几何点.

位置矢量: 用来确定质点在空间位置的矢量, 即 $\mathbf{r} = r_x \mathbf{i} + r_y \mathbf{j} + r_z \mathbf{k}$.

位移: 质点在一段时间内位置矢量的改变量, 即 $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t)$.

速度: 表示位置矢量随时间的变化率, 即 $\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$.

加速度: 表示速度随时间的变化率, 即 $\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2}$.

运动方程积分形式: 若质点在力的作用下作匀加速直线运动, 假设在 $t=0$ 时刻, 质点的位移是 $\mathbf{r}_0$, 速度是 $\mathbf{v}_0$, 则 $t=t$ 时刻, 质点的位移 $\mathbf{r}$ 和速度 $\mathbf{v}$ 分别为

$$\mathbf{v} = \int_0^t \mathbf{a} dt = \mathbf{v}_0 + \mathbf{a}t, \quad \mathbf{r} = \int_0^t \mathbf{v} dt = \mathbf{r}_0 + \mathbf{v}_0 t + \frac{1}{2} \mathbf{a}t^2$$

位移、速度和加速度是运动学中很重要的三个物理量, 具有瞬时性、相对性和矢量性的特点. 所谓瞬时性, 是指这三个物理量一般都随时间而变, 它们的量值都是某一瞬时的量值; 所谓相对性, 是指这三个物理量都是相对于我们选定的那一个参照系. 对不同参照系可有不同的量

值；所谓矢量性，是指这三个物理量都是矢量，必须同时指明它们的大小和方向，必须按照矢量的法则进行计算。

3. 力学基本定律

牛顿第一定律：任何物体(质点)都有保持其原有的静止或匀速直线运动状态，除非其他物体的作用迫使它改变这种运动状态为止。

牛顿第二定律：物体的动量对时间的变化率与它所受的合力 $\Sigma \mathbf{F}$ 成正比，并沿合力的方向，即 $\Sigma \mathbf{F} = \frac{d(m\mathbf{v})}{dt} = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = m\mathbf{a}$ 。

牛顿第三定律：两个物体之间的作用力总是相互的，而且它们大小相等，方向相反，即 $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$ 。

惯性系：牛顿运动定律可以适用的参照系。

动量：物体的质量 m 和速度 $\mathbf{v}$ 的乘积称为物体的动量，即 $\mathbf{P} = m\mathbf{v}$ 。

冲量：物体所受合外力对该时间的累积效应，即 $\mathbf{I} = \int_1^2 \mathbf{F} dt$ 。

动量定理：在 Δt 时间内，物体的动量变化量等于该时间内物体所受合外力对时间的累积效应。 $\int_1^2 \Sigma \mathbf{F} dt = \int_1^2 d(m\mathbf{v}) = m\mathbf{v}_2 - m\mathbf{v}_1$ 。

冲力：在物体碰撞和冲击过程中，两物体相互作用的时间很短，作用力迅速达到很大的量值。如果我们知道了物体碰撞过程前后动量的变化量和时间 Δt ，就可以算出冲力的平均值 $\bar{\mathbf{F}}$ ，即

$$\bar{\mathbf{F}} = \frac{\int_1^2 d(m\mathbf{v})}{\int_1^2 dt} = \frac{m_2 \mathbf{v}_2 - m_1 \mathbf{v}_1}{\Delta t}$$

功：质点从 a 到 b 沿曲线轨道运动，力 $\mathbf{F}$ 对质点所做的功 $A = \int_{a \rightarrow b} |\mathbf{F}| \cos \theta |d\mathbf{r}|$ 。

功率：一个力所做的功对时间的变化率(即单位时间内该力对质点做功的多少) $P = \frac{dA}{dt}$ 。

动能：物体的动能与物体的质量 m 和运动速度 $\mathbf{v}$ 有关，即 $E_k = \frac{1}{2} m v^2$ 。

动能定理：外力对物体所做元功 dA 等于物体的动能改变量 dE_k ，即

$$dA = F_t ds = m a_t ds = m \frac{dv}{dt} ds = m v dv = d\left(\frac{1}{2} m v^2\right) = dE_k$$

系统机械能守恒：若外力对系统不做功，且系统内无耗散力做功，则系统的机械能保持不变，有 $E_p + E_k = \text{常量}$ 。

4. 刚体的定轴转动

刚体：固体的理想化模型，是指在外力作用下，形状和大小均不会发生变化的物体。

角位移：转动平面内任意质点到固定点的矢径在任意时间 t 内所扫过的角度，即 $\Delta \omega$ 。

角速度：描述刚体转动的快慢程度，即 $\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt}$ 。

角加速度：描述刚体角速度变化的快慢程度，即 $\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$ 。

角位移 θ 、角速度 ω 和角加速度 α 是以角度为基础描述刚体转动的物理量，称为角量。刚体作定轴转动时，其中任意各质点的线位移 s 、线速度 v 和线加速度 a 也是描述刚体转动的物理量，称为线量。线位移 s 与角位移 θ 的增量之间的关系为 $\Delta s = r\Delta\theta$ ； $v = \frac{ds}{dt} = r \frac{d\theta}{dt} = r\omega$ ； $a_t = \frac{dv}{dt} = r \frac{d\omega}{dt} = r\alpha$ ； $a_n = r\omega^2 = v\omega = \frac{v^2}{r}$ 。

转动动能：等于组成刚体的各个可视为质点的体积元所具有的动能之和，即 $E_k = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} m_i r_i^2 \omega^2 = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \right) \omega^2$ 。与质点运动动能 $E_k = \frac{1}{2} mv^2$ 相比较，可以看出 $\sum_{i=1}^n m_i r_i^2$ 与物体的质量 m 是相对应的。

转动惯量：刚体转动惯性的度量，即 $I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 = \int r^2 dm$ 。

力矩：力 F 对刚体的转动效应，即 $M = R \times F$ 。

将 F 沿平行和垂直于转轴分解为 F_y 和 F_{zx} ，只有 F_{zx} 产生对 y 轴的转动效应，即 $M = M_y = F_{zx}d = F_{zx}R \sin\varphi$ 。

转动定律：刚体相对于某一定轴所受的合外力矩的大小等于刚体对该定轴的转动惯量与此合外力矩作用下获得的角加速度的乘积，即 $\sum f r = (\sum mr^2)\alpha$ 。

角动量：质点矢径 r 与其动量 mv 的矢积，即 $L = r \times mv$ 。

冲量矩：刚体所受合外力矩对时间 t 的累积效应，即 $\int_1^2 M dt$ 。

角动量定理：作定轴转动的刚体所受到的冲量矩等于刚体对该转轴的角动量的增量，即 $M dt = d(I\omega) = dL$ ， $\int_{t_1}^{t_2} M dt = \int_{t_1}^{t_2} dL = L_2 - L_1$ 。

角动量守恒定律：在定轴转动中，如果刚体所受到的外力对转轴产生的合力矩为零，即 $M=0$ ， $\frac{dL}{dt} = 0$ ， $L = I\omega = \text{常量}$ 。

旋进：自转刚体的转轴绕着另一条轴线的转动称为旋进（也称进动）。

5. 转动惯量在医学领域中的应用

基于刚体绕定轴转动力学原理，建立复摆转动力学模型来测定下肢假肢转动惯量，可以有效地对下肢假肢的性能做一个合理的功能评价。

三、解 题 指 导

例 1 想一想 $\frac{dr}{dt}$ 是瞬时速度的大小吗？如果已知质点的运动方程为 $x=x(t)$ ， $y=y(t)$ ，能否先用 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ 求出 r ，再根据 $v = \frac{dr}{dt}$ 求得质点的瞬时速度的大小？

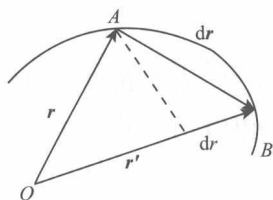


图 1-1 例 1

解 质点作曲线运动时,位置矢量的大小和方向都在变化.如图 1-1 所示. r 是位置矢量 r 的大小,有 $dr = r' - r$. $dr = r' - r$, 其大小为 $|dr| = \overline{AB}$. $\frac{dr}{dt}$ 表示位置矢量大小随时间的变化率.

瞬时速度的大小

$$v = \left| \frac{dr}{dt} \right| = \left| \frac{dx}{dt} \mathbf{i} + \frac{dy}{dt} \mathbf{j} \right| = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy}{dt} \right)^2}$$

故不能写成

$$v = \frac{dr}{dt} = \frac{d}{dt}(\sqrt{x^2 + y^2})$$

例 2 高空走钢丝演员的体重为 50 kg, 为了安全起见, 演员腰上系一根长 5.0 m 的弹性安全带. 当演员不慎跌下时, 如果弹性缓冲时间为 1.0 s, 那么在缓冲时间内安全带给演员的平均作用力是多少? 如果弹性缓冲时间为 0.05 s, 平均作用力又是多少?

解 演员跌下可看成两个过程.

(1) 物体作自由落体运动, 初始速度为 0. 设人下落 $h=5.0$ m 后的速度为 v_0 , 其量值为

$$v_0 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9.8 \times 5.0} = 9.9 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$$

(2) 物体由初始动量变为静止, 人的初始动量为 mv_0 , 末动量为零. 设安全带给人的平均作用力为 F , 取竖直向上为正, 根据动量定理有

$$(F - mg)\Delta t = 0 - (-mv_0)$$

$$\text{当 } \Delta t = 1.0 \text{ s 时, } F = mg + \frac{mv_0}{\Delta t} = 50 \times 9.8 + \frac{50 \times 9.9}{1.0} = 985 \text{ (N)}$$

$$\text{当 } \Delta t = 0.05 \text{ s 时, } F = mg + \frac{mv_0}{\Delta t} = 50 \times 9.8 + \frac{50 \times 9.9}{0.05} = 1.04 \times 10^4 \text{ (N)}$$

通过该题的计算, 说明缓冲时间对安全带的平均作用力有很大的影响. 在日常生活中, 通常采取延长缓冲时间的措施来减小平均作用力, 增加安全性.

例 3 一飞轮的直径为 0.3 m, 质量为 5 kg, 边缘绕有绳子. 现有恒力拉绳子的一端, 使其由静止均匀地加速, 经 0.5 s 后角速度达到 $10 \text{ r} \cdot \text{s}^{-1}$. 假设飞轮可看作实心圆柱体, 求

- (1) 飞轮的角速度及在这段时间内转过的圈数;
- (2) 拉力的大小及在这段时间内拉力所做的功;
- (3) 开始拉动后, $t=10$ s 时飞轮的角速度及轮缘上一点的速度.

解 (1) 飞轮作匀加速转动, 则有 $\omega = \omega_0 + \alpha t$, 且 $\omega_0 = 0$.

当 $t=0.5$ s 时角速度为 $10 \text{ r} \cdot \text{s}^{-1}$, 则

$$\alpha = \frac{\omega}{t} = \frac{20\pi}{0.5} = 125.6 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-2}\text{)}$$

飞轮在 0.5 s 内转过的圈数

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{\theta}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{0.5} \omega dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{0.5} \alpha t dt \\
 &= \frac{1}{2\pi} \times \frac{1}{2} \alpha (t^2 - 0) \\
 &= \frac{1}{2\pi} \times \frac{1}{2} \times 125.6 \times (0.5^2 - 0) = 2.5
 \end{aligned}$$

(2) 设实心圆柱体的半径为 r ($r=0.15$ m), 转动惯量为 $I = \frac{1}{2}mr^2$. 由刚体的转动定律

$Fr = M = I\alpha$ 可得

$$Fr = \frac{1}{2}mr^2\alpha$$

故

$$F = \frac{1}{2}mr\alpha = \frac{1}{2} \times 5 \times 0.15 \times 125.6 = 47.1 \text{ (N)}$$

这段时间内拉力所做的功 A 为

$$A = F \cdot 2\pi r N = 47.1 \times 6.28 \times 0.15 \times 2.5 = 111 \text{ (J)}$$

(3) 当 $t=10$ s 时, 飞轮的角速度

$$\omega = \alpha t = 1256 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$$

轮缘上一点的速度

$$v = \omega r = 1256 \times 0.15 = 188.4 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$$

例 4 一根长为 l 、质量为 m 的均匀细棒, 绕一条与它的轴线垂直的转轴转动, 求它的转动惯量(图 1-2).

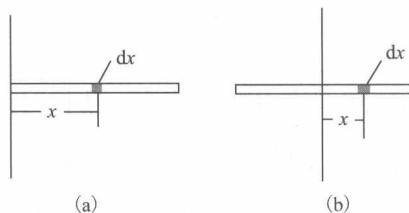


图 1-2 例 4

解 在棒的长度上取无穷小量 dx , 则

$$dm = \frac{m}{l} dx$$

(a) 当转轴通过棒的一端时

$$J = \int_0^l x^2 dm = \int_0^l x^2 \frac{m}{l} dx = \frac{1}{3} ml^2$$

(b) 当转轴通过棒的中心时

$$J = \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} x^2 dm = \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} x^2 \frac{m}{l} dx = \frac{1}{12} ml^2$$

四、教材案例分析

案例 1-1

某患者，牙痛寝食难安，无法忍受就医，被确诊为口腔下颚左大牙坏死，需要做拔牙手术。

问题

1. 拔牙所需的外力有哪些，牙拔除术所使用的方法包含哪些力学原理？
2. 拔牙的阻力有哪些，是怎样产生的？

分析

1. 拔牙所需的外力有拉力、压力、摩擦力、弹性力等，经典的牙拔除的使用方法曾被归纳为三种基本力学原理：楔力原理、杠杆原理和轮轴原理。

2. 牙拔除的困难主要在于骨阻力（骨质覆盖）与牙阻力（牙齿本身的不正位置和解剖形态，后者包括牙根的数目或根尖弯曲等）。

案例 1-2

患者，男性，45 岁，建筑工人。半小时前从高空坠落，患者感腰痛、活动受限及双下肢麻木无力。平时无昏迷呕吐史，无大小便失禁。根据正、侧位 CR 片发现双跟骨骨折，L1 椎体压缩性骨折，上肢软组织擦伤，膝部软组织挫伤。据其工友描述：事发当天，陈某在工地 20 多米高空施工，因不慎从脚手架上摔下，在下落过程中，上身被防护网钩挂了一下，最后肢及臀部着地在工地的沙堆上。

问题

1. 分析整个坠落过程中，哪些因素起到了减轻伤害的作用？
2. 假如这些因素使患者着地时间延长 9 倍，则作用在患者上的损伤力减少多少？

分析

1. 整个坠落过程中起到减轻伤害作用的因素有：防护网钩、工地的沙堆、该工人的臀部。

2. 根据动量定理 $\Delta mv = \int_{t_1}^{t_2} F dt$ 可知，力的时间累积效应是使物体动量改变的原因。当动量的改变为常数时，冲力作用的时间越长，冲力就越小。假如这些因素使患者着地时间延长 9 倍，则作用在患者上的损伤力就应为 $\frac{F}{9}$ ，则损伤力就减少了 $\frac{8F}{9}$ 。

五、教材习题解答

1-1 国际单位制中基本单位有哪些？

答 米(m)、千克(kg)、秒(s)、安(A)、开(K)、坎(cd)和摩尔(mol)。

1-2 设汽车行驶时所受阻力 f 与汽车的横截面积 S 、空气的密度 ρ 成正比，且和速度 v 的平方成正比。若采用国际单位制，试写出 f 、 S 、 ρ 和 v^2 的关系式；比例系数的单位如何？

答 关系式 $f = k\rho S v^2$ ；比例系数 k 无单位。

1-3 回答下列问题

- (1) 位移和路程有何区别?
- (2) 速度和速率有何区别?
- (3) 瞬时速度和平均速度的区别和联系是什么?
- (4) 物体能否有一不变的速率而仍有一变化的速度?
- (5) 速度为零时, 加速度是否一定为零? 加速度为零时, 速度是否一定为零?
- (6) 当物体具有大小、方向不变的加速度时, 物体的速度方向能否有改变?

答: 略.

1-4 有一物体作直线运动, 它的运动方程式为 $x = 6t^2 - 2t^3$, x 的单位为 m, t 的单位为 s, 试求: (1) 第 2 s 内的平均速度; (2) 第 3 s 末的速度; (3) 第 1 s 末的加速度; (4) 这个物体的运动形式.

解 (1) 物体第 1 s 末的位移 $s_1 = 4$ m, 第 2 s 末的位移 $s_2 = 8$ m, 则第 2 s 内的平均速度

$$\bar{v}_2 = \frac{s_2 - s_1}{\Delta t_2} = \frac{8 - 4}{1} = 4 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$$

(2) 物体作直线运动, 其速度 $v_x = \frac{dx}{dt} = 12t - 6t^2$, 故第 3 s 末的速度

$$v_3 = 12 \times 3 - 6 \times 3^2 = -18 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1}\text{)} \quad (\text{方向与初始方向相反})$$

(3) 物体作直线运动, 其加速度 $a_x = \frac{dv_x}{dt} = 12 - 12t$, 故第 1 s 末的加速度

$$a_1 = 12 - 12 \times 1 = 0$$

(4) 因为物体的加速度随时间变化, 所以物体作变速直线运动.

1-5 跳水运动员自 10 m 跳台自由下落, 入水后因受水的阻碍而减速. 自水面向下取坐标轴 Oy , 其加速度为 $-kv_y^2$, $k = 0.4 \text{ m}^{-1}$. 求运动员速度减为入水速度的 $1/10$ 时的入水深度.

解 (1) 设运动员以初速度为起跳后自由落体运动, 至水面速度为 v_0 , 即

$$v_0 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9.8 \times 10} = 14 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$$

(2) 已知运动员在水中加速度为 a_y , 则

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = -kv_y^2$$

因在水下不同位置对应不同速度, 故将 v_y 看成是 y 的函数, 于是

$$\frac{dv_y}{dt} = \frac{dv_y}{dy} \frac{dy}{dt} = \frac{dv_y}{dy} v_y$$

联立上两式得

$$\frac{dv_y}{dy} = -kv_y \Rightarrow \frac{dv_y}{v_y} = -kdy$$

进行不定积分并简化得

$$v_y = Ce^{-ky}$$

式中, C 为积分常数. 引入初始条件 $y=0$, $v_y=v_0$, 代入上式求得 $C=v_0$. 故

$$v_y = v_0 e^{-ky}$$

将 $v_y = v_0/10$, $k = 0.4 \text{ m}^{-1}$ 代入上式, 即得

$$y = 5.76 \text{ (m)}$$

即运动员深入水中 5.76 m 时, 其速度变为入水速度的 1/10.

1-6 如图 1-3 所示, 质量为 m 的人站在台秤上, 处在有竖直加速度 a 的升降机里, 试求台秤所受到的压力.

解 (1) 取人作为研究对象, 其在竖直方向受到地球引力 mg 和台秤的支持力 N , 产生的加速度为 a .

根据牛顿第二定律 $\sum F = ma$ 可知, $mg - N = ma$, 故

$$N = m(g - a)$$

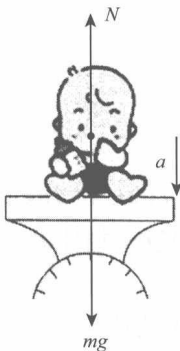


图 1-3 习题 1-6

(2) 台秤所受到的压力 N' 与人受到台秤的支持力 N 是一对作用力与反作用力, 故台秤所受到的压力 $N' = m(g - a)$, 方向竖直向下.

1-7 根据动量原理可知: 力对物体的时间过程累积效应引起动量的改变. 根据功能原理可知: 力对物体的空间累积效应引起动能的改变.

(1) 如果物体受合外力作用了一段时间(即受到合外力的冲量作用), 动量发生了改变, 那么, 是否一定会引起物体动能的改变?

(2) 如果物体受合外力作用, 并且在力作用的方向上有了位移(即合外力对物体做功), 使物体的动能发生了变化, 是否一定会引起物体动量的改变?

答 (1) 质量为 m 的物体受合外力作用了一段时间, 其速度由 v 变成 $-v$, 动量改变量为 $2mv$, 但物体动能仍不变 $\left(\frac{1}{2}mv^2\right)$.

(2) 物体受合外力作用并且在力作用的方向上有了位移, 物体的动能发生了变化, 说明物体速度的大小发生了改变, 故物体动量一定发生改变.

1-8 在生物物理实验中用来分离不同种类的分子的超级离心机的转速是 $60 \times 10^4 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$. 在这种离心机的转子内, 离轴 10 cm 远的一个大分子的向心加速度是重力加速度的几倍?

解 已知角速度 $\omega = 60 \times 10^4 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1} = 2\pi \times 10^4 \text{ s}^{-1}$, 半径 $R = 0.1 \text{ m}$, $g = 9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 根据向心加速度 $a_n = \omega^2 R$ 可知, 大分子的向心加速度

$$a_n = (2\pi \times 10^4)^2 \times 0.1 = 39.5 \times 10^8 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-2}\text{)}$$

大分子的向心加速度是重力加速度的 n 倍, 则

$$n = \frac{a_n}{g} = \frac{39.4 \times 10^8}{9.8} = 4 \times 10^8$$

1-9 质量为 1 kg 的球以 $25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速率竖直地落到地板上, 以 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速率跳回.

(1) 试问在球与地板接触时间内作用在球上的冲量多大?

(2) 设接触时间为 0.02 s, 问作用在地板上的平均力有多大?