

普通高等教育“十三五”规划教材配套教辅

# 医用物理学 学习指导与题解

吉 强 王晨光 主编



科学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材配套教辅

# 医用物理学学习指导与题解

吉 强 王晨光 主编

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书整体结构与主教材相对应,分为核心篇、扩展篇和现代医药科学与技术的物理基础专题篇三大部分。每章由五大部分组成,即基本要求、内容提要、书后习题解答(包括运算过程)、典型习题及解答、自我检测题。

书中采用二维码链接新技术,将各章教师上课用PPT推荐版和自我检测题的答案作为二维码内容供师生读取使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

医用物理学学习指导与题解/吉强,王晨光主编. —北京:科学出版社, 2016.8

普通高等教育“十三五”规划教材配套教辅

ISBN 978-7-03-049104-6

I. ①医… II. ①吉… ②王… III. ①医用物理学-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142257号

责任编辑:昌盛 罗吉/责任校对:邹慧卿

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>

三河市骏杰印刷有限公司 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:13 1/2

字数:320 000

定价:32.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 《医用物理学学习指导与题解》编委会

主 编： 吉 强（天津医科大学）

王晨光（哈尔滨医科大学）

副主编： 石继飞（包头医学院）

许建梅（海南医学院）

张 燕（广西医科大学）

编 委：（按姓名拼音排序）

邓 玲（第三军医大学）

贺奇才（中山大学）

侯淑莲（华北理工大学）

刘东华（新乡医学院）

孟燕军（河北医科大学）

莫 华（广西医科大学）

仇 惠（牡丹江医学院）

童家明（青岛大学）

王卫国（武警后勤学院）

韦相忠（广西中医药大学）

闫 冰（河北大学）

杨文沛（右江民族医学院）

赵 昕（泰山医学院）

# 前言

本书是科学出版社出版发行的由吉强、王晨光主编的《医用物理学》配套教辅。全书整体结构与主教材相对应，分为核心篇、扩展篇和现代医药科学与技术的物理基础专题篇三大部分。根据2014年10月在广西中医药大学召开的教育部高等学校大学物理课程教学指导委员会第三次工作会议上通过的《医药类专业的物理课程教学基本要求》，医药院校“医用物理学”教学参考总学时数为72学时，其中54学时是基础A类内容、18学时是扩展B类内容，专题篇属于讲座范畴（教材介绍了一个专题范例——核磁共振成像）。各院校任课教师可以根据本校的实际情况灵活选取、调整授课类型和内容。

编写本配套教辅的主导思想是，首先让学生明确各章基本要求是什么、主要内容是什么，以使学生在有的放矢地学习；其次配有主教材章后习题解答（包括运算过程），以便学生参考查阅，并且补充了部分典型习题及解答；最后，为了检查学习效果，配置了自我检测题及解答内容。

为了确保配套教辅与主教材协调一致，本书编者全部由主教材原编写人员组成，并编写各自相应章节的配套辅导内容，其中吉强编写前言，王晨光编写第1章，刘东华编写第2章，贺奇才编写第3章，许建梅编写第4章，邓玲编写第5章，赵昕编写第6章，张燕编写第7章，王卫国编写第8章，童家明编写第9章，孟燕军编写第10章，仇惠编写第11章，闫冰编写第12章，莫华编写第13章，杨文沛编写第14章，石继飞编写第15章，侯淑莲、韦相忠编写第16章。同时吉强负责全书的统稿，王晨光负责全书插图的绘制和各章PPT内容审核与制作，天津医科大学储信炜负责文稿的规范化调整，王卫国担任全书的秘书工作。

本配套教辅的编写工作得到了各位编者单位领导的关心和支持，同时科学出版社的昌盛分社长和罗吉编辑为组织教材的编写与出版做了大量工作，在此一并表示衷心的感谢。

由于我们水平和能力有限，书中不妥之处在所难免，恳请使用本书的师生提出宝贵意见和建议，以便我们及时纠正。

吉 强

2016年5月

为了便于师生更好地使用本教材,根据 2014 年 10 月在广西中医药大学召开的教育部高等学校大学物理课程教学指导委员会第三次工作会议上通过的《医药类专业的物理课程教学基本要求》,建议授课学时分配如下表所列:

分类	内容	学时
核心篇 (A 类内容) 54 学时	第 1 章 刚体	5
	第 2 章 液体	6
	第 3 章 气体	4
	第 4 章 振动	3
	第 5 章 波动	6
	第 6 章 波动光学	7
	第 7 章 静电场	6
	第 8 章 磁场	7
	第 9 章 直流电	4
	第 10 章 量子力学基础	6
扩展篇 (B 类内容) 18 学时	第 11 章 热力学	3
	第 12 章 几何光学	5
	第 13 章 激光	3
	第 14 章 X 射线	4
	第 15 章 核物理	3
现代医药科学与技术的 物理基础专题篇 (2~8 学时)	第 16 章 核磁共振成像(范例)	自定



绪论 PPT

# 目录

## 前言

### 核心篇 (A类内容)

<b>第1章 刚体</b> .....	3
1.1 基本要求 .....	3
1.2 内容提要 .....	3
1.3 书后习题解答 .....	5
1.4 典型习题及解答 .....	12
1.5 自我检测题 .....	15
<b>第2章 液体</b> .....	17
2.1 基本要求 .....	17
2.2 内容提要 .....	17
2.3 书后习题解答 .....	19
2.4 典型习题及解答 .....	25
2.5 自我检测题 .....	30
<b>第3章 气体</b> .....	32
3.1 基本要求 .....	32
3.2 内容提要 .....	32
3.3 书后习题解答 .....	34
3.4 典型习题及解答 .....	37
3.5 自我检测题 .....	40
<b>第4章 振动</b> .....	42
4.1 基本要求 .....	42
4.2 内容提要 .....	42
4.3 书后习题解答 .....	44
4.4 典型习题及解答 .....	48
4.5 自我检测题 .....	53
<b>第5章 波动</b> .....	56
5.1 基本要求 .....	56
5.2 内容提要 .....	56



5.3	书后习题解答	60
5.4	典型习题及解答	64
5.5	自我检测题	69
<b>第 6 章</b>	<b>波动光学</b>	<b>72</b>
6.1	基本要求	72
6.2	内容提要	72
6.3	书后习题解答	74
6.4	典型习题及解答	78
6.5	自我检测题	82
<b>第 7 章</b>	<b>静电场</b>	<b>84</b>
7.1	基本要求	84
7.2	内容提要	84
7.3	书后习题解答	87
7.4	典型习题及解答	94
7.5	自我检测题	99
<b>第 8 章</b>	<b>磁场</b>	<b>101</b>
8.1	基本要求	101
8.2	内容提要	101
8.3	书后习题解答	103
8.4	典型习题及解答	109
8.5	自我检测题	113
<b>第 9 章</b>	<b>直流电</b>	<b>116</b>
9.1	基本要求	116
9.2	内容提要	116
9.3	书后习题解答	118
9.4	典型习题及解答	122
9.5	自我检测题	128
<b>第 10 章</b>	<b>量子力学基础</b>	<b>130</b>
10.1	基本要求	130
10.2	内容提要	130
10.3	书后习题解答	132
10.4	典型习题及解答	134
10.5	自我检测题	137

### 扩展篇

(B 类内容)

<b>第 11 章</b>	<b>热力学</b>	<b>141</b>
11.1	基本要求	141



11.2	内容提要	141
11.3	书后习题解答	144
11.4	典型习题及解答	150
11.5	自我检测题	153
<b>第 12 章</b>	<b>几何光学</b>	<b>154</b>
12.1	基本要求	154
12.2	内容提要	154
12.3	书后习题解答	156
12.4	典型习题及解答	161
12.5	自我检测题	165
<b>第 13 章</b>	<b>激光</b>	<b>167</b>
13.1	基本要求	167
13.2	内容提要	167
13.3	书后习题解答	171
13.4	典型习题及解答	173
13.5	自我检测题	176
<b>第 14 章</b>	<b>X 射线</b>	<b>178</b>
14.1	基本要求	178
14.2	内容提要	178
14.3	书后习题解答	180
14.4	典型习题及解答	181
14.5	自我检测题	183
<b>第 15 章</b>	<b>核物理</b>	<b>185</b>
15.1	基本要求	185
15.2	内容提要	185
15.3	书后习题解答	189
15.4	典型习题及解答	192
15.5	自我检测题	195
<b>现代医药科学与技术的物理基础专题篇</b> (自选内容)		
<b>第 16 章</b>	<b>核磁共振成像</b>	<b>199</b>
16.1	基本要求	199
16.2	内容提要	199
16.3	书后思考题及解答	200
16.4	自我检测题	203

# 核心篇

(A 类内容)



# 第1章 刚 体

## 1.1 基本 要求

(1) 掌握: 刚体定轴转动的角位移、角速度、角加速度、转动惯量、转动定律以及角动量守恒定律.

(2) 理解: 牛顿运动定律、动量守恒定律、功能原理和机械能守恒定律.

(3) 了解: 刚体的进动.

## 1.2 内 容 提 要

### 1. 力学基本定律

(1) 位移、速度、加速度.

位移: 在时间  $\Delta t$  内, 质点从点  $p_1$  移动到点  $p_2$ , 用有向线段  $\overline{p_1 p_2}$  来表示其位置变化, 即矢量  $\Delta r$ .

速度: 表示质点在某一位置附近位移变化的快慢, 即  $v = \frac{dr}{dt}$ .

加速度: 表示质点在某一时刻速度的变化率, 即  $a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 r}{dt^2}$ .

(2) 动量、动量守恒定律.

牛顿第二定律:  $F=ma$ ,  $F = \frac{dp}{dt}$ .

动量: 质点的质量  $m$  和速度  $v$  的乘积  $mv$ , 称为该质点的动量,  $p=mv$ .

冲量: 力  $F$  在  $t_1$  到  $t_2$  的一段时间内的积累量, 称为力  $F$  的冲量.

$$I = \int_{t_1}^{t_2} F dt = p_2 - p_1 = mv_2 - mv_1$$

动量定理: 质点在运动过程中所受合外力的冲量, 等于这个质点动量的增量.

动量守恒定律:  $\sum F_i = 0$  时,  $\sum m_i v_i = \text{常矢量}$ .

(3) 功和能、能量守恒定律.

质点从  $A$  点移动到  $B$  点, 力  $F$  对其所做的功

$$A = \int_{r_A}^{r_B} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} = \int_{r_A}^{r_B} F \cos \alpha dr = \frac{1}{2} m v_B^2 - \frac{1}{2} m v_A^2$$

动能定理: 合外力对质点所做的功等于质点动能的增量.

保守力: 力  $F$  所做的功只与该质点的始末位置有关, 而与质点所经过的路径无关,

这种力称为保守力. 保守力做的功等于势能增量的负值.

功能原理: 外力和非保守内力做功之和等于质点系机械能的增量.

$$A_{\text{外}} + A_{\text{非保内}} = E_B - E_A$$

机械能守恒定律: 当作用于质点系的外力和非保守内力都不做功时, 质点系的总机械能保持不变.

$$A_{\text{外}} + A_{\text{非保内}} = 0 \text{ 时, } E_{\text{kA}} + E_{\text{pA}} = E_{\text{kB}} + E_{\text{pB}}$$

## 2. 刚体转动的运动学

(1) 角位移、角速度、角加速度.

角位移: 在  $\Delta t$  时间内, 刚体内任意一点  $P$  到达点  $P'$ , 矢径转过角度  $\Delta\theta$  称为刚体在  $\Delta t$  时间内的角位移.

角速度: 角位移对时间的变化率,  $\omega = \frac{d\theta}{dt}$ .

加速度: 角速度对时间的变化率,  $\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$ .

(2) 角量与线量的关系.

$$\Delta S = r\Delta\theta$$

$$v = r\omega$$

$$a_t = r\alpha, \quad a_n = r\omega^2$$

## 3. 刚体转动的动力学

(1) 转动动能、转动惯量.

转动动能:  $E_k = \frac{1}{2}J\omega^2 = \int r^2 dm$ .

转动惯量:  $J = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 = \int r^2 dm$ .

体现了刚体本身的性质, 反映的是刚体转动惯性大小的物理量.

(2) 刚体定轴转动定律.

力矩: 刚体所受的力为  $F$ , 其作用点  $P$  相对于转动轴  $O$  点的位矢为  $r$ , 那么力  $F$  对转轴的力矩  $M$  为

$$M = r \times F$$

刚体定轴转动的转动定律: 刚体做定轴转动的角加速度大小与作用于刚体的合外力矩大小成正比, 与刚体对于该转轴的转动惯量成反比

$$M = J\alpha$$

刚体定轴转动的动能定理: 合外力矩对刚体所做的功等于刚体的转动动能的增量, 它反映了合外力矩对空间的累积效应.

$$A = \int_{\omega_1}^{\omega_2} J \omega d\omega = \frac{1}{2} J \omega_2^2 - \frac{1}{2} J \omega_1^2$$

(3) 刚体转动的角动量守恒定律.

角动量定理: 定轴转动的刚体所受到的冲量矩等于刚体对该转轴角动量的增量.

$$\int_{t_1}^{t_2} M dt = \int_{L_1}^{L_2} dL = L_2 - L_1$$

角动量守恒定律: 当定轴转动的刚体所受外力对转轴的合力矩为零时, 刚体对该转轴的角动量保持不变, 即

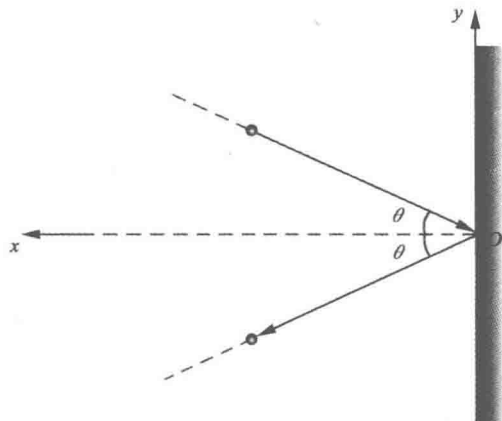
$$M = 0 \text{ 时, } L = J\omega = \text{恒矢量}$$

(4) 刚体的进动.

刚体在绕轴转动的同时, 其轴还要在外力矩的作用下绕另一条轴线转动, 这种现象称为进动. 进动是自然界物体一种常见的基本运动形式.

### 1.3 书后习题解答

**1-1** 如题图 1-1 所示, 一质量为  $m$ , 速率为  $v$  的钢球以与钢板的法线呈  $\theta$  角的方向撞上钢板, 并以相同的速率和角度弹回. 如果此碰撞时间为  $\Delta t$ , 求钢板在  $\Delta t$  时间内受到的平均冲力.



题图 1-1

**解** 由质点动量定理, 得钢球受到来自钢板冲力的冲量

$$I = \int_{t_2}^{t_1} F dt = mv_2 - mv_1$$

取图示坐标系, 则

$$I_x = mv_{2x} - mv_{1x} = 2mv \cos \theta$$

$$I_y = mv_{2y} - mv_{1y} = 0$$

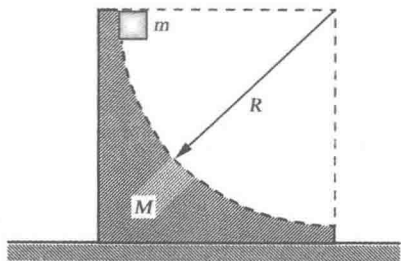
钢球受到的总冲量

$$I = I_x + I_y = 2mv\cos\theta$$

则根据牛顿第三定律, 钢球受到的冲力即为钢板受到的平均冲力

$$\bar{F} = \frac{I}{\Delta t} = \frac{2mv\cos\theta}{\Delta t}$$

**1-2** 如题图 1-2 所示, 质量为  $M$  的  $1/4$  圆弧滑槽停在光滑的水平面上, 一个质量为  $m$  的小物体自圆弧顶点由静止下滑. 求当小物体滑到底时, 圆弧滑槽在水平面上移动的距离.



题图 1-2

**解** 系统在水平方向动量守恒

$$mv + M(-V) = 0, \quad mv = MV$$

两边对整个下落过程积分

$$m \int_0^t v dt = M \int_0^t V dt$$

令  $s$  和  $S$  分别为  $m$  和  $M$  在水平方向的移动距离, 则

$$s = \int_0^t v dt, \quad S = \int_0^t V dt$$

代入后得

$$ms = MS$$

又

$$s = R - S$$

所以

$$S = \frac{m}{m+M} R$$

**1-3** 质量为  $m$ , 半径为  $R$  的均匀薄圆环和圆形板, 试分别求出与圆环或圆形板平面垂直并且分别通过其圆心轴的各转动惯量.

**解** 对薄圆环:

如题图 1-3 (a) 所示, 转动惯量为

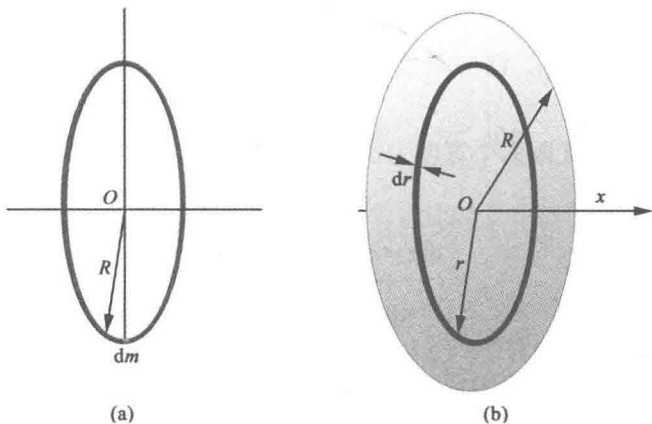
$$J = \int R^2 dm = R^2 \int dm = mR^2$$

对薄圆形板:

如题图 1-3 (b), 在  $r$  处取  $dm$ ,  $dm$  宽为  $dr$ , 面密度为  $\sigma$ , 即  $\sigma = \frac{m}{\pi R^2}$ . 则圆形板转动惯量



$$J = \int r^2 dm = \int r^2 \sigma 2\pi r dr = 2\pi\sigma \int_0^R r^3 dr = \frac{\pi\sigma R^4}{2} = \frac{1}{2}mR^2$$



题图 1-3

**1-4** 一半径为 1.0 m、转速为  $3000 \text{ rad}\cdot\text{min}^{-1}$  的飞轮受制动后均匀减速, 50 s 后停止转动. 求:

- (1) 飞轮在 25 s 时刻的角速度;
- (2) 在 25 s 时刻轮边一点的速度、切向和法向加速度.

**解** (1) 已知  $\omega_0 = 3000 \text{ rad}\cdot\text{min}^{-1} = 50 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ , 由于均匀减速, 所以角加速度不变, 为

$$\alpha = \frac{0 - \omega_0}{t} = \frac{0 - 50}{50} = -1.0 \text{ (rad}\cdot\text{s}^{-2}\text{)}$$

$$\omega = \omega_0 + \alpha t = 50 - 25 = 25 \text{ (rad}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$$

- (2) 轮边一点的速度

$$v = r\omega = 1.0 \times 25 = 25 \text{ (m}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$$

切向加速度

$$a_t = r\alpha = 1.0 \times (-1.0) = -1.0 \text{ (m}\cdot\text{s}^{-2}\text{)}$$

法向加速度

$$a_n = r\omega^2 = 1.0 \times 625 = 625 \text{ (m}\cdot\text{s}^{-2}\text{)}$$

**1-5** 一飞轮的转动惯量为  $J$ , 在  $t=0$  时角速度为  $\omega_0$ , 此后飞轮经历制动过程. 阻力矩  $M$  大小与角速度  $\omega$  的平方成正比, 比例系数  $K > 0$ . 求:

- (1) 当  $\omega = \omega_0/3$  时, 飞轮的角加速度;
- (2) 从开始制动到  $\omega = \omega_0/3$  所需要的时间.

**解** (1) 依题意  $M = J\alpha = -K\omega^2$ ,  $\alpha = -\frac{K\omega^2}{J} = -\frac{K\omega_0^2}{9J} \text{ (rad}\cdot\text{s}^{-2}\text{)}$

(2) 由  $\alpha = \frac{d\omega}{dt} = -\frac{K\omega^2}{J}$ , 得

$$\int_0^t dt = \int_{\omega_0}^{\omega_0/3} -\frac{J}{K\omega^2} d\omega, \quad t = \frac{2J}{K\omega}$$

**1-6** 匀质圆盘质量为  $m$ 、半径为  $R$ ，放在粗糙的水平桌面上，绕通过盘心的竖直轴转动，初始角速度为  $\omega_0$ ，已知圆盘与桌面的摩擦系数为  $\mu$ ，问经过多长时间后圆盘静止？

**解** 把圆盘看成由无限多个宽度为  $dr$  的小圆环组成，设每个圆环半径为  $r$ ，则其质量为

$$dm = \sigma dS = \sigma 2\pi r dr$$

其中面密度

$$\sigma = \frac{m}{\pi R^2}$$

受到的摩擦力矩为

$$dM = -\mu r(dm)g = -2\pi\mu\sigma gr^2 dr$$

则整体圆盘受到的摩擦力矩为

$$M = \int_0^R -2\pi\mu\sigma gr^2 dr = -\frac{2}{3}\pi\mu\sigma gR^3 = -\frac{2}{3}\mu mgR$$

又  $M = J\alpha$ ， $J = \frac{1}{2}mR^2$ ，且

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{M}{J} = -\frac{4\mu g}{3R}, \text{ 为常量}$$

所以

$$t = \frac{0 - \omega_0}{\alpha} = \frac{3\omega_0 R}{4\mu g}$$

**1-7** 质量为  $M$ 、半径为  $R$  的水平转台，可绕过中心的竖直轴无摩擦地转动。质量为  $m$  的人站在转台的边缘，人和转台原来都静止。当人沿转台边缘走一周时，求人和转台相对地面转过的角度。

**解** 以人和转台组成的系统为研究对象，设人相对于转盘的角速度为  $\omega'$ ，转台相对地的角速度为  $\omega$ ，由角动量守恒

$$L = J\omega = \text{恒矢量}$$

得

$$mr^2(\omega' - \omega) = \frac{1}{2}MR^2\omega$$

移项得

$$mr^2\omega' = \left(\frac{1}{2}MR^2 + mr^2\right)\omega$$