医学专业必修课考试辅导教材
供基础专业必修课等专业用

医学物理学

（修订版）

主　编　杨继庆　文　峻
编　者　屈学民　范　云　龙开平
　　刘渊声　李海涛　王斯刚

科学技术文献出版社
Scientific and Technical Documents Publishing House
北　京

需要全本请访问 www.ertongbook.com

图书在版编目(CIP)数据

医学物理学/杨继庆,文峻主编. -2版(修订版). -北京:科学技术文献出版社,2006.8

医学专业必修课考试辅导教材

ISBN 7-5023-4070-X

Ⅰ.医… Ⅱ.①杨… ②文… 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(2006)第082516号

出　版　者　科学技术文献出版社
地　　址　北京市复兴路15号(中央电视台西侧)/100038
图书编务部电话　(010)58882909,(010)58882959(传真)
图书发行部电话　(010)68514009,(010)68514035(传真)
邮购部电话　(010)58882952
网　　址　http://www.stdph.com
E-mail: stdph@istic.ac.cn
策划编辑　陈玉珠
责任编辑　崔　岩
责任校对　唐　炜
责任出版　王杰馨
发　　行　科学技术文献出版社发行　全国各地新华书店经销
印　　刷　北京高迪印刷有限公司
版(印)次　2006年8月第2版第1次印刷
开　　本　787×1092　16开
字　　数　451千
印　　张　14.75
印　　数　1～6000册
定　　价　22.00元

© 版权所有　违法必究

购买本社图书,凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换。

(京)新登字 130 号

内 容 简 介

本书是作者根据医学物理学教学大纲以及本门课程考试特点，针对学生学习医学物理学课程中存在的问题和遇到的困难，使学生在较短的时间内掌握医学物理学的基本概念、基本规律和基本方法。在总结多年医学物理学教学的基础上编写的。全书包括力学基本定律、物体的弹性、液体的流动、振动、波动和声波、相对论基础、分子动理论、热力学基础、静电场、直流电、电磁现象、波动光学、几何光学、量子力学基础、X 射线、原子核和放射性、激光的医学应用、生物非线性动力学简介、纳米技术简介和医用电子测量技术共二十章，各章分为教学大纲基本要求、复习提要、典型试题分析、习题和习题答案五部分。

本书可作为医学院校学生学习医学物理学的参考书，也可作为其他专业学生与教师的参考书。

科学技术文献出版社是国家科学技术部系统惟一一家中央级综合性科技出版机构，我们所有的努力都是为了使您增长知识和才干。

前　言

物理学是研究物质的基本结构、基本作用和运动形态的一门科学。研究的目的在于揭示物质各层次的内部结构和认识物质运动的普遍规律。它是其他科学和生产技术发展的先导与基础。19 世纪以来，物理学曾长期处于整个自然科学的前沿，对科学和技术的发展、革新起了巨大的促进作用。今后，它仍将是基础学科的带头学科之一。

医学物理学是关于物理学理论与技术在医学领域的研究与应用的一门学科。如其他学科一样，它的根本进展是依赖物理学的理论、方法与技术的发展。医学物理学日益发展和壮大得益于医学发展的需要，反过来它又促进了物理学的发展。

医学物理学以医学基础及临床研究与应用的物理学方法与技术为重点，以新技术、新知识为基础，使学生在有限的学时里了解世界科技动向，提高分析问题、解决问题的能力，了解新技术在医学中应用的前景，在以后的工作中学会自我调节，把握科技发展的动向。使医学物理学的教学更加贴近于现代科技的发展，更加充分地为医学研究及临床服务。

学好医学物理学的诀窍除了课堂学习与训练，课后的练习也是非常重要的。通过独立思考和练习，才能不断巩固和深化所学的知识，真正提高分析问题和解决各类问题的能力。针对医学物理学的特点以及学生学习医学物理学课程中存在的问题和遇到的困难，为了能使学生在较短的时间内掌握医学物理学的基本概念、基本规律和基本方法，作者结合本门课程的考试



特点，在总结多年医学物理学教学的基础上编写了这本辅导书。

本书在第一版的基础上，听取了许多教师与学生的意见，本着概念准确、思路清楚、方法简练的指导思想，进一步精选了与医学物理学教学内容和要求密切结合的题目，并对典型试题进行了较为详尽的解答与分析。

编写这样一本内容广泛的教学参考书，对我们也是一种挑战，希望对广大读者有所启发和帮助。我们对给本书提出意见和建议的同事、同学、朋友和广大读者致以深深的谢意。我们深知学海无涯，因此要加紧学习。限于作者的水平，本书肯定还存在许多缺点，请读者提出宝贵意见，以便我们改进。

谢谢。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目　录

第一章　力学基本定律……（1）
第二章　物体的弹性 ……（27）
第三章　液体的流动 ……（32）
第四章　振动 ……（44）
第五章　波动和声波 ……（54）
第六章　相对论基础 ……（67）
第七章　分子动理论 ……（77）
第八章　热力学基础 ……（90）
第九章　静电场……（102）
第十章　直流电……（117）
第十一章　电磁现象……（126）
第十二章　波动光学……（146）
第十三章　几何光学……（162）
第十四章　量子力学基础……（174）
第十五章　X 射线……（184）
第十六章　原子核和放射性……（191）
第十七章　激光的医学应用……（200）
第十八章　生物非线性动力学简介……（206）
第十九章　纳米技术简介……（210）
第二十章　医用电子测量技术……（212）

第一章

力学基本定律

教学大纲基本要求

1. 掌握描述质点运动状态的方法，建立运动学的基本概念：质点与质点系、参照系、位置矢量、位移、速度和加速度。

2. 掌握质点运动学的两类问题。

3. 掌握运用牛顿运动定律分析和解决基本力学问题。

4. 理解惯性系和非惯性系。

5. 了解力学单位制及量纲。

6. 理解功、动能、势能，保守力与非保守力的概念。

7. 掌握动能定理、功能原理、机械能守恒定律和能量守恒定律。

8. 理解动量、冲量概念。

9. 掌握动量定理和动量守恒定律。

10. 理解角速度、角加速度、转动惯量和角动量的概念。

11. 掌握转动定律和角动量守恒定律。

复习提要

1. 质点的运动

位置矢量　用来确定质点在空间位置的矢量

$$\boldsymbol{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$$

位移　质点在一段时间内位置的改变叫做它在这段时间内的位移。

$$\Delta\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t+\Delta t) - \boldsymbol{r}(t)$$

速度　描述物体运动状态的物理量，表示位置随时间的变化率。

$$\boldsymbol{v} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\mathbf{i} + \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\mathbf{j} + \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\mathbf{k}$$

加速度　描述物体运动状态的物理量，表示速度随时间的变化率。

$$\boldsymbol{a} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}\mathbf{i} + \frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}\mathbf{j} + \frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}\mathbf{k}$$

位置矢量、位移、速度、加速度均具有矢量性、瞬时性、叠加性和相对性。

运动方程　质点位置随时间的变化规律，这是运动方程的核心问题。

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t)$$

2. 牛顿运动定律

第一定律　任何质点都保持静止或匀速直线运动状态，直到其他物体对它作用的力迫使它改变这种状态。

第二定律　运动的变化与所加的动力成正比，并且发生在该力所沿的直线方向上。即：

$$\boldsymbol{F} = \sum_i \boldsymbol{F}_i = \frac{\mathrm{d}(m\boldsymbol{v})}{\mathrm{d}t}$$



当 m 为常量时,上式可写成:$\boldsymbol{F}=\sum_i \boldsymbol{F}_i=m\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=m\frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2}=m\boldsymbol{a}$

第三定律 对于每一个作用总有一个相等的反作用与之相对应,或者说,两个物体之间对各自对方的相互作用总是相等,而且指向相反的方向。

用牛顿运动定律解题的基本思路:选择研究物体,分析受力情况(画出受力图),选择适当的坐标系,列方程(一般用分量式)求解,进行必要的讨论。

惯性系 适用牛顿定律的参考系。

非惯性系 相对于惯性系作加速运动的参考系。

惯性力 为了在非惯性系中形式地应用牛顿第二定律而必须引入的力;质量为 m 的物体,在加速度为 $\boldsymbol{a}_0$ 的参照系中受的惯性力为

$$\boldsymbol{F}_0=-m\boldsymbol{a}_0$$

惯性力是虚拟力,不是物体间的相互作用力。

3. 功和能 能量守恒定律

变力的功 质点沿某一路径从 A 点运动到 B 点,力 F 对质点所做的功为

$$A_{AB}=\int_A^B \boldsymbol{F}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{r}$$

保守力与保守力做功 做功与相对路径形状无关的一对力,或者说沿相对的闭合路径移动一周做功为零的一对力为保守力。保守力做功与物体运动路径无关。

质点的动能定理 相对于惯性系,合力对质点所做的功等于质点动能的增量,即

$$A_{AB}=\frac{1}{2}m v_B^2-\frac{1}{2}m v_A^2$$

质点系的动能定理 外力对质点系做的功与内力对质点系做的功之和等于质点系总动能的增量,即

$$A_{外}+A_{内}=\Delta E_k$$

质点系的动能 $E_k=\sum_i \frac{1}{2}m_i v_i^2$

在质点系中,虽然内力成对出现,但其做功的总和不一定为零,对质点系动能的变化可能是有影响的。

势能 对保守内力可引进势能概念,它只决定于系统的始末位置,即

$$-\Delta E_{\mathrm{p}}=E_{\mathrm{pA}}-E_{\mathrm{pB}}=A_{\mathrm{AB}}$$

取 B 点为势能零点,即 $E_{\mathrm{pB}}=0$,则

$$E_{\mathrm{pA}}=A_{\mathrm{AB}}$$

功能原理 所有外力和所有非保守内力对质点系所做的功之和等于质点系总动能的增量,即

$$A_{外力}+A_{非保守力}=E_B-E_A$$

机械能守恒定律 孤立的保守质点系,与外界无相互作用,其机械能保持不变。换句话说,对于一个保守质点系,在运动和变化过程中,只有保守力对它做功,系统的机械能守恒。

冲量 力 $\boldsymbol{F}$ 在时间 $\mathrm{d}t$ 内的积累量,叫做在时间 $\mathrm{d}t$ 内质点所受合外力的冲量。

动量定理 合外力的冲量等于质点(或质点系)动量的增量,即

$$\boldsymbol{F}\mathrm{d}t=\mathrm{d}\boldsymbol{P}$$

$$\int \boldsymbol{F}\mathrm{d}t=\boldsymbol{P}-\boldsymbol{P}_0$$

动量守恒定律 如果质点系所受合外力恒等于零,则质点系的动量不会改变;如果合外力在某一方向的分量恒等于零,则其动量在该方向的分量不会改变。孤立系统不受外界作用,系统的动量保持不变。即



$$\boldsymbol{P}=\sum_i \boldsymbol{P}_i=\text{常矢量}$$

4. 刚体的转动

刚体　在外力的作用下，大小、形状等保持不变的物体；或组成物体的所有质点之间的距离始终保持不变。

角速度　描述刚体转动的快慢程度。

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

角加速度　描述角速度变化的快慢程度。

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

距转轴 r 处质元的速度和加速度与角速度和角加速度之间的关系：

$$v=r\omega,a_\tau=r\beta,a_n=r\omega^2$$

转动惯量　刚体转动惯性的量度。

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

几种常用的转动惯量的计算公式：

(1) 均匀圆盘对中心轴的转动惯量

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

式中，m 为圆盘的质量，R 为圆盘半径。

(2) 均匀杆对垂直与杆的轴的转动惯量

$$J=\frac{1}{3}ml^2\text{（转轴通过杆的端点）}$$

$$J=\frac{1}{12}ml^2\text{（转轴通过杆的中点）}$$

式中，m 为杆的质量，l 为杆的长度。

(3) 均匀圆球对中心轴的转动惯量

$$J=\frac{2}{5}mR^2$$

式中，m 为圆球的质量，R 为圆球半径。

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

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

转动动能　刚体绕轴转时，各质点动能的总和就是刚体的动能。即

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

刚体绕定轴转动的动能定理　轴向外力矩作功等于刚体动能的增量。

$$A=\frac{1}{2}J\omega_B^2-\frac{1}{2}J\omega_A^2$$

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。

$$L=J\omega$$

刚体绕定轴转动的角动量定理　轴向外力矩的冲量等于刚体角动量的增量。

$$\int M\mathrm{d}t=J\omega-J\omega_0$$

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

$$\sum J\omega = \text{恒量}$$

典型试题分析

1. 选择题

(1) 下列说法正确的是

A. 加速度恒定不变时，物体的运动方向也不变　B. 平均速率等于平均速度的大小　C. 当物体的速度为零时，加速度必定为零　D. 质点作曲线运动时，质点速度大小的变化产生切向加速度，速度方向的变化产生法向加速度

答案：[D]

分析：曲线运动在任何时刻的加速度分解为沿速度方向的切向加速度和垂直于速度方向的法向加速度；切向加速度的作用是改变速度的量值，而法向加速度的作用是改变速度的方向。

(2) 下列说法正确的是

A. 质点作圆周运动时的加速度指向圆心　B. 质点作匀速圆周运动时的加速度为恒量　C. 只有法向加速度的运动一定是圆周运动　D. 只有切向加速度的运动一定是直线运动

答案：[D]

分析：质点作圆周运动时，若速率大小也变化，加速度一定不指向圆心；匀速圆周运动时加速度的方向不断变化，所以加速度不是恒量；只有法向加速度，即$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=0$，速率 v 是常数，只有法向加速度的运动是速率不变的运动；只有切向加速度，$\frac{v^2}{\rho}=0$，$\rho\to\infty$，直线运动可看作曲率半径为无穷大的曲线运动。

(3) 一运动质点在某瞬时位于 $\boldsymbol{r}(x,y)$ 矢径的端点处，其速度的大小为

A. $\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$　B. $\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$　C. $\frac{\mathrm{d}|\boldsymbol{r}|}{\mathrm{d}t}$　D. $\sqrt{\left(\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\right)^2+\left(\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\right)^2}$

答案：[D]

分析：速度的定义可以写为：$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\mathbf{i}+\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\mathbf{j}+\frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\mathbf{k}$，由速度的定义和其矢量性可得答案。

(4) 下列说法正确的是

A. 当物体的加速度等于零时，速度必然为零　B. 瞬时速度就是很短时间内的平均速度　C. 不管加速度如何，平均速率表达式总可以写成 $v=\frac{v_0+v_t}{2}$　D. 运动物体速率不变时，速度可以变化

答案：[D]

分析：加速度的方向与速度的改变量方向一致，与速度的方向无关；瞬时速度等于时间趋近于零时平均速度的极限值；只有在匀变速运动时，平均速度 $v=\frac{r}{t}=\frac{v_0t+\frac{1}{2}at^2}{t}=\frac{v_0+v_t}{2}$；匀速率圆周运动是典型的速率不变、但速度方向变化的变速运动。

(5) 下列说法正确的是

A. 物体受到几个力作用时必然产生加速度　B. 物体速度很大，加速度也很大　C. 物体的运动方向和合外力的方向有时不一致　D. 物体运动的速率不变，所受合外力一定为零

答案：[C]

分析：物体所受合外力为零，加速度为零；加速度的大小只与速度的改变量有关；物体的运动方向



和合外力的方向有时不一致，例如斜上抛运动；物体在作匀速率圆周运动时，所受合外力指向圆心。

(6) 一质点沿 x 轴运动的规律是 $x = t^2 - 4t + 5(m)$，质点前 3 s 的运动为

A. 位移和路程都是 $3m$　B. 位移和路程都是 $-3m$　C. 位移为 $-3m$，路程为 $3m$　D. 位移为 $-3m$，路程为 $5m$

答案：[D]

分析：该质点先从 $x = 5m$ 处作匀减速运动到 $x = 1m$ 处，然后再从 $x = 1m$ 作匀加速运动到 $x = 2m$ 处；位移是矢量，只考虑始、末位置，所以位移为 $2 - 5 = -3m$；路程是标量，要考虑整个运动过程，所以路程为 $[(5-1)+(2-1)] = 5m$。

(7) 用细绳系一小球使之在竖直平面内作圆周运动，则

A. 小球在任意位置都有切向加速度　B. 小球在任意位置都有法向加速度　C. 小球在任意位置绳子的拉力和重力是惯性离心力的反作用　D. 当小球运动到最高点时，它将受到重力、绳的拉力和向心力的作用

答案：[B]

分析：小球作圆周运动必须任意位置的向心力不等于零，即指向圆心的合外力不等于零；由于力是产生加速度的原因，所以任意位置的法向加速度必不为零。

(8) 有一转台在距转轴 R 处有一质量为 m 的工件，随转台作圆周运动，设工件与转台间的摩擦系数为 μ_0，为了使工件不打滑，则转台的角速度 ω 必须为

A. $2\sqrt{\dfrac{\mu_0 g}{R}}$　B. $\sqrt{\dfrac{3\mu_0 g}{R}}$　C. $\sqrt{\dfrac{3\mu_0 g}{2R}}$　D. $\leqslant\sqrt{\dfrac{\mu_0 g}{R}}$

答案：[D]

分析：工件在盘上不动时，是作半径为 R 的匀速圆周运动，具有法向加速度 $a_n = R\omega^2$。工件还受到一个静摩擦力 $f_s = \mu_0 mg$，只有当 $f_s \leqslant a_n$ 时，工件才不打滑。

(9) 如图 1-1 所示，质量相同的物体 A、B 用轻弹簧连接后，在用细绳悬挂，当系统平衡后，突然将细绳剪断，则剪断的瞬间有

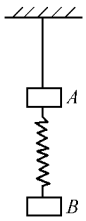

图 1-1

A. A、B 的加速度均为 g　B. A、B 的加速度均为零　C. A 的加速度为零，B 的加速度为 $2g$　D. A 的加速度为 $2g$，B 的加速度为零

答案：[D]

分析：剪断的瞬间 A、B 都静止，A 受到向下重力和 B 对它的向下的拉力，合力为两倍的重力；B 受到向下的重力和 A 对它的向上的拉力，合力为零。

(10) 一个质量为 1.0 kg 的质点，在平面内的运动方程为 $\boldsymbol{r} = 5t\mathbf{i} + 0.5t^2\mathbf{j}$，合外力在 $t = 2$s 到 $t = 5$s 这段时间内对质点所做的功为

A. 3 焦耳　B. 7.5 焦耳　C. 9.5 焦耳　D. 10.5 焦耳

答案：[D]

分析：$\boldsymbol{v} = 5\mathbf{i} + t\mathbf{j}$，$v_0^2 = 29$，$v_t^2 = 50$，由动能定理 $W = \dfrac{1}{2}mv_t^2 - \dfrac{1}{2}mv_0^2 = 10.5$ 焦耳

(11) 一电动机以每分钟 1 800 转的角速度转动，在电动机的轴上装有三个转轮，直径分别为 5、10、15 cm，三个转轮边缘上的线速度之比为

A. 1∶1∶1　B. 1∶2∶3　C. 1∶4∶9　D. 9∶4∶1

答案：[B]

分析：速度与角速度之间的关系为：$v = r\omega$。

(12) 一力学系统由两个质点组成，它们之间只有引力作用。若两质点所受外力的矢量和为零，则此系统

A. 动量、机械能以及对一轴的角动量守恒　B. 动量、机械能守恒，但角动量是否守恒不能断定

需要全本请访问 www.ertongbook.com



C. 动量守恒,但机械能和角动量守恒与否不能断定　D. 动量和角动量守恒,但机械能是否守恒不能断定

答案:[C]

分析:质点系所受合外力等于零时,则质点系的动量不会改变;质点系在只有保守力做功的情况下,系统的机械能保持不变;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。

(13) 设地球质量为 M,一质量为 m 的宇宙飞船返回地球时,可以认为是在地球引力场中运动(此时发动机已关闭)。当它从距地球中心 R_1 处下降到 R_2 处时,它所增加的动能应等于

A. $\frac{GMm}{R_2^2}$　B. $GMm\frac{R_1-R_2}{R_1^2}$　C. $GMm\frac{R_1-R_2}{R_1^2R_2^2}$　D. $GMm\frac{R_1-R_2}{R_1R_2}$

答案:[D]

分析:$\Delta E=-\int_{R_1}^{R_2}\frac{GmM}{r^2}dr$。

(14) 两个半径相同的轮子,质量相同,A 轮的质量集中在边缘,B 轮的质量分布较均匀,二者均从静止开始转动,则

A. 如果二者角动量相同,A 轮的角速度较大　B. 如果二者角速度相同,B 轮的角动量较大　C. 如果二者所受合外力矩相同,两者的角加速度相同　D. 如果二者所受合外力的功相同,两者末态动能相同

答案:[D]

分析:根据转动惯量的定义,$J_A>J_B$。$J\omega$ 相同,A 轮的角速度较小;ω 相同,A 轮的角动量较大;$M=J\alpha$,M 相同,α 不同;$\int M\mathrm{d}\theta=\frac{1}{2}J\omega^2$,合外力的功相同,$\frac{1}{2}J\omega^2$ 相同。

(15) 一个人站在旋转平台的中央,两臂侧平举,整个系统以 $2\pi r$ rad/s 的角速度旋转,转动惯量为 6.0 kg·m^2。如果将两臂收回则该系统的转动惯量为 2.0 kg·m^2。此时系统的转动动能与原来的转动动能比为

A. 2　B. $\sqrt{2}$　C. 3　D. $\sqrt{3}$

答案:[C]

分析:转动动能:$E_k=\frac{1}{2}J\omega^2$

2. 填空题

(1) 在半径为 R 的圆周上运动的质点,其速率与时间关系为 $V=\mathrm{b}t^2$(b 为常数),则走过的路程与时间关系 $S=$ _____,t 时刻质点的切向加速度 $a_\tau=$ _____,法向加速度 $a_n=$ _____,总加速度 $a=$ _____。

答案:$S=\frac{1}{3}b\,t^3$,$a_\tau=2bt$,$a_n=\frac{b^2t^4}{R}$,$a=\sqrt{4b^2t^2+\frac{b^4t^8}{R^2}}$

分析:$S=\int V\mathrm{d}t$,$a_\tau=\frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}t}$,$a_n=R\omega^2=R\left(\frac{V}{R}\right)^2=\frac{V^2}{R}$,$a=\sqrt{a_\tau+a_n}$。

(2) 一小口径步枪,每秒钟打出 10 发质量为 0.002 kg 的子弹,子弹速率为 500 m/s。子弹射出后被一刚性墙挡住(忽略空气阻力)。每一子弹的动量 $p=$ _____,子弹对墙的平均冲力 $F=$ _____。

答案:$p=1$ kg·m/s;$F=10$ N

分析:$p=mv$;$F=\frac{p}{t}=10mv$。

(3) 有两个弹簧,质量忽略不计,原长都是 10 cm,第一个弹簧上端固定,下挂一个质量为 m 的物



体后，长 11 cm，而第二个弹簧上端固定，下挂一个质量为 m 的物体后，长 13 cm，现将两弹簧串联，上端固定，下面仍挂一个质量为 m 的物体，则两弹簧的总长为_____。

答案：24 cm

分析：第一个弹簧的倔强系数为 $\frac{1}{mg}$，第二个弹簧的倔强系数为 $\frac{3}{mg}$，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：$10+10+\frac{4}{mg}\cdot mg=24$。

(4) 在生物物理实验中，用来分离不同种类分子的超级离心机的转速是 6×10^4 r/min。在这种离心机的转子内，离轴 10 cm 远的一个大分子，其向心加速度是重力加速度的_____倍。

答案：4×10^5

分析：$\frac{a_n}{g}=\frac{4\pi^2n^2r}{g}=\frac{4\pi^2(6\times10^4)^2\times0.1}{60^2\times9.8}=4\times10^5$。

(5) 以水平速度 v_0 抛出一个物体，不计空气阻力，t 时刻小球切向加速度的大小 $a_t=$_____，法向加速度 $a_n=$_____。

答案：$a_\tau=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=\frac{g^2t}{\sqrt{v_0^2+g^2t^2}}$，$a_n=\frac{v_0g}{\sqrt{v_0^2+g^2t^2}}$

分析：以水平方向和竖直方向建立坐标系，$x=v_0t$，$y=\frac{1}{2}gt^2$

$v_x=\mathrm{d}x/\mathrm{d}t=v_0$，$v_y=\mathrm{d}y/\mathrm{d}t=gt$，速率 $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{v_0^2+g^2t^2}$

$a_\tau=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=\frac{g^2t}{\sqrt{v_0^2+g^2t^2}}$，$a=g$，$a_n=\sqrt{a^2-a_\tau^2}=\frac{v_0g}{\sqrt{v_0^2+g^2t^2}}$。

(6) 把质量为 m 的重物，挂在一上端固定的弹簧下，以手托住缓慢下降至弹簧伸长为 x 时静止，在此过程中人手做的功等于_____。

答案：$-mgx+\frac{1}{2}kx^2$

分析：设向上为正方向，人手做功为 $\int_0^x-(mg-kx)\mathrm{d}x=-mgx+\frac{1}{2}kx^2$。

(7) 一质量为 m 的物体与一固定表面发生非弹性碰撞，速率 v 与法线夹角 θ，如图 1-2，已知碰撞的恢复系数为 e，当表面光滑时，经一次碰撞后，物体的机械能损失_____。

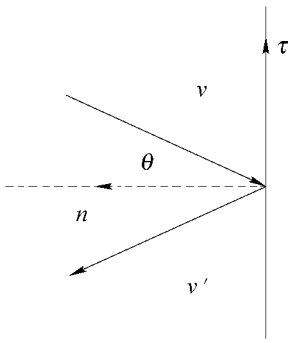

图 1-2

答案：$\frac{1}{2}mv^2\cos^2\theta(1-e^2)$

分析：把速度矢量沿固定表面和垂直表面正交分解，切向速率 $v_\tau=v\sin\theta$，法向速率 $v_n=v\cos\theta$ 设碰后切向速率和法向速率为 v'_τ，v'_n，碰撞前后忽略物体重力，物体切向动量守恒，$v'_\tau=v\sin\theta$，由恢复系数定义，$e=\frac{-v'_n}{v_n}$

则 $v'_n=-ev_n$

机械能损失 $\Delta E=\frac{1}{2}m(v_\tau^2+v_n^2)-\frac{1}{2}m(v'^2_\tau+v'^2_n)=\frac{1}{2}mv^2\cos^2\theta(1-e^2)$

(8) 桌面上堆放一串柔软的长链，其单位长度的质量为 ρ_l，今拉住长链的一端竖直向上以恒定速度 v_0 上提。当提起的长度为 l 时，所用的向上的力为 $F=$_____。

答案：$F=l\rho_lg+p_lv_0^2$

分析：设在 $\mathrm{d}t$ 时间内又有长度为 $\mathrm{d}l=v_0\mathrm{d}t$ 的一小段上提，则在 $\mathrm{d}t$ 时间内已上提的长链的动量增



量为 $v_0\rho_l(l+\mathrm{d}l)-v_0p_ll=v_0p_l\mathrm{d}l$。由动量定理,对已上提的长链有$(F-l\rho_lg)=v_0\rho_l\mathrm{d}l=v_0^2\rho_l\mathrm{d}t$。

(9) 如果物体受到合外力的冲量使动量发生改变,那么物体的动能_____改变。(填一定、不一定),如果物体所受到合外力对物体做功使动能发生改变,那么物体的动量_____改变。(填一定、不一定)

答案:不一定,一定

分析:如果合外力与物体的运动方向始终相互垂直,合外力的冲量不为零,但不对物体做功,物体动能保持不变,如匀速率圆周运动;物体所受到合外力不为零且对物体做功,那么一定有时间上的积累,就会引起物体动量的改变。

(10) 一质量 $m=2\ 200\ \mathrm{kg}$ 的汽车以 $v=60\ \mathrm{km/h}$ 的速度沿一平直公路开行。则汽车对公路一侧距公路 $d=50\ \mathrm{m}$ 的一点的角动量 $L_1=$_____;对公路上任一点的角动量 $L_2=$_____。

答案:$L_1=1.83\times10^6\ \mathrm{kg\cdot m^2/s}$,$L_2=0$

分析:根据角动量定义:$L=mvr\sin\theta$。

(11) 掷铁饼运动员手持铁饼转动 1.25 圈后松手,此刻铁饼的速度值达到 $v=25\ \mathrm{m/s}$。设转动时铁饼沿半径为 R 的圆周运动并且均匀加速。则铁饼离手时的角速度 $\omega=$_____;铁饼的角加速度 $a=$_____;铁饼在手中加速的时间(把铁饼视为质点)$t=$_____。

答案:$\omega=25\ \mathrm{rad/s}$,$a=39.8\ \mathrm{rad/s^2}$,$t=0.628\ \mathrm{s}$

分析:$\omega=\dfrac{v}{R}=25\ \mathrm{rad/s}$;$a=\dfrac{\omega^2}{2\theta}=\dfrac{25^2}{2\times2\pi\times1.25}=39.8\ \mathrm{rad/s^2}$;$t=\dfrac{2\theta}{\omega}=0.628\ \mathrm{s}$。

(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 $J=$_____。

答案:$J=m\left[\dfrac{14}{5}R^2+2lR+\dfrac{l^2}{2}\right]$

分析:由于圆球对中心轴的转动惯量 $J_C=\dfrac{2}{5}mR^2$ 和平行轴定理 $J=J_C+md^2$,则此题中的 $J=2\left[\dfrac{2}{5}mR^2+m\left(\dfrac{1}{2}+R\right)^2\right]$。

(13) 一个人坐在角速度为 ω_0 的转台上,手持一个旋转着的飞轮,其转轴与转台的转轴重合,角速度为 ω,如果突然使飞轮的转轴倒转,角速度大小不变,转台将_____。

答案:转速加快

分析:设转台和人的转动惯量为 J,飞轮的转动惯量为 J',

整个系统在转轴的方向上角动量守恒 $J\omega_0+J'\omega=J\omega'-J'\omega$,

故 $\omega'=\omega_0+\dfrac{J'}{J}\omega$,转台转速加快。

3. 计算题

(1) 一质点沿半径为 R 的圆周运动,在自然坐标系下运动学方程为 $s=v_0t-\dfrac{1}{2}bt^2$,其中 v_0,b 都是常数,试求

① t 时刻的加速度 a;

② 在什么时刻质点的加速度大小等于 b;

③ 当加速度大小等于 b 时,质点绕圆周运行的圈数。

解:①$v=\dfrac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}=v_0-bt$

$a_\tau=\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=-b\quad a_n=\dfrac{v^2}{R}=\dfrac{(v_0-bt)^2}{R}$



$a=\sqrt{a_\tau^2+a_n^2}=\sqrt{\dfrac{(v_0-bt)^4}{R}+b^2}$

设加速度与切向的夹角为 θ，$\tan\theta=\dfrac{a_n}{a_\tau}=\dfrac{-(v_0-bt)^2}{bR}$

② 假设 t 时刻质点的加速度大小等于 b

$\sqrt{\dfrac{(v_0-bt)^4}{R}+b^2}=b$　于是 $t=\dfrac{v_0}{b}$

③ 当加速度大小等于 b 时，即在 $\dfrac{v_0}{b}$ 时间内走过的路程

$s=v_0t-\dfrac{1}{2}bt^2=v_0\cdot\dfrac{v_0}{b}-\dfrac{1}{2}b\cdot\left(\dfrac{v_0}{b}\right)^2=\dfrac{v_0^2}{2b}$

质点绕圆周运行的圈数 $N=\dfrac{s}{2\pi R}=\dfrac{v_0^2}{2\pi R\cdot 2b}=\dfrac{v_0^2}{4\pi bR}$

答案：$a=\sqrt{a_\tau^2+a_n^2}=\sqrt{\dfrac{(v_0-bt)^4}{R}+b^2}$，

设加速度与切向的夹角为 θ，$\tan\theta=\dfrac{a_n}{a_\tau}=\dfrac{-(v_0-bt)^2}{bR}$，

当 $t=\dfrac{v_0}{b}$ 加速度为 b，质点绕圆周运行的圈数 $N=\dfrac{s}{2\pi R}=\dfrac{v_0^2}{2\pi R\cdot 2b}=\dfrac{v_0^2}{4\pi bR}$。

分析：本题属于运动学的第一类问题，注意切向加速度和法向加速度的不同求法，在自然坐标系下，坐标 s 就是运动过程中走过的距离。

(2) 如图 1-3 所示，跨过滑轮 C 之绳子，一端挂有重物 B，另一端 A 被人拉着沿水平方向匀速运动，其速率 $v_0=1$ m/s。A 离地高度保持为 h，$h=1.5$ m。运动开始时，重物放在地面 B_0 处，此时绳 C 在铅直位置刚好绷紧，滑轮离地高度 $H=10$ m，滑轮半径忽略不计，求：① 重物 B 上升的运动学方程；② 重物 B 在 t 时刻的速率和加速度；③ 重物 B 到达 C 处所需的时间。

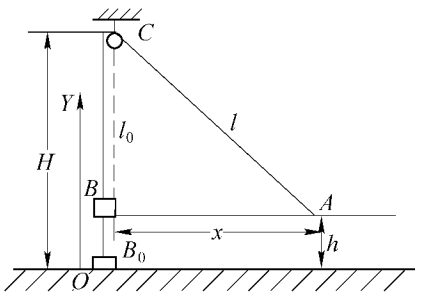

图 1-3

解：① 物体在 B_0 处时，滑轮左边绳长为 $l_0=l-h$，当重物的位移为 y 时，右边绳长为 $l=\sqrt{l_0^2+x^2}=\sqrt{(H-h)^2+v_0^2t^2}$

因绳长为　$H+l_0=l+(H-y)$

可得重物的运动学方程为

$y=l-l_0=\sqrt{l_0^2+(v_0t)^2}-(H-h)$

$y=\sqrt{72.25+t^2}-8.5$

② 重物 B 的速度和加速度为

$v=\dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}=\dfrac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(\sqrt{72.25+t^2}-8.5)=\dfrac{t}{\sqrt{72.25+t^2}}$

$a=\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=\dfrac{72.25}{(72.25+t^2)^{3/2}}$

③ 由 $y=\sqrt{72.25+t^2}-8.5$ 得

$t=\sqrt{(y+8.5)^2-72.25}$ 当 $y=10$ m 时，$t=16.43$ s

答案：重物 B 上升的运动学方程为 $y=\sqrt{72.25+t^2}-8.5$；重物 B 在 t 时刻的速率为 $v=\dfrac{t}{\sqrt{72.25+t^2}}$，加速度为 $a=\dfrac{72.25}{(72.25+t^2)^{3/2}}$；重物 B 到达 C 处所需的时间 16.43 s。



分析：先求运动方程，即位移与时间的函数关系；根据速度和加速度的定义分别对位移求一阶导数和二阶导数，即可求得质点运动的速度和加速度。

(3) 一质点以初速度 v_0 作一维运动，所受阻力与其速度成正比，试求当质点速度 $\frac{v}{n}(n>1)$ 时，质点经过的距离与质点所能行径的总距离之比。

解：质点运动是一维的，故取一维坐标 OX，原点($x=0$) 为质点在 $t=0$ 时刻以初速 v_0 开始运动的位置。

由题意，质点的加速度可表示为

$$a=-kv \tag{1}$$

式中 k 为大于零的常数。

解法一　由加速度的定义，作变量替换，有

$$a=v\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}x}=-kv$$

即

$$\mathrm{d}v=-k\mathrm{d}x$$

由初始条件 $x=0$ 时 $v=v_0$，有

$$\int_0^y \mathrm{d}v=-k\int_0^x \mathrm{d}x$$

积分得

$$v=v_0-kx \tag{2}$$

由速度的定义及(2) 式，有

$$\frac{\mathrm{d}x}{v_0-kx}=\mathrm{d}t$$

由初始条件 $t=0$ 时 $x=0$，积分得

$$\ln\frac{v_0-kx}{x_0}=-kt$$

即

$$x=\frac{v_0}{k}(1-e^{-kt}) \tag{3}$$

由(3) 式知，质点所能行经的最大距离为

$$x_m=\frac{v_0}{k}$$

由题意及(2) 式得 $x=\frac{1}{k}\left(v_0-\frac{v_0}{n}\right)=\frac{v_0}{k}\left(1-\frac{1}{n}\right)$

所以

$$\frac{x}{x_m}=1-\frac{1}{n}$$

解法二　由加速度的定义有

$$a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=-kv$$

分离变量

$$\frac{\mathrm{d}v}{v}=-k\mathrm{d}t$$

由初始条件 $t=0$ 时 $v=v_0$，有

$$v=v_0\mathrm{e}^{-kt} \tag{4}$$

又

$$v=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=v_0\mathrm{e}^{-kt}$$

由初始条件 $t=0$ 时 $x=0$，积分得

$$x=\int_0^t v_0\mathrm{e}^{-kt}\mathrm{d}t=\frac{v_0}{k}(1-\mathrm{e}^{-kt}) \tag{5}$$

由(5)式得,此质点所能行经的最大距离

$$x_m = \frac{v_0}{k}$$

(5)式可写成 $x = x_m(1 - e^{-kt})$

结合(4)式,有 $x = \frac{x_m}{v_0}(v_0 - v)$

故 $$\frac{x}{x_m} = 1 - \frac{v}{v_0}$$

将 $v = \frac{v_0}{n}$ 代入得 $$\frac{x}{x_m} = 1 - \frac{1}{n}$$

答案:质点经过的距离与质点所能行径的总距离之比为 $\frac{x}{x_m} = 1 - \frac{1}{n}$。

分析:本题属于加速度与速度的函数关系的运动学第二类问题。此类问题用 $a = v\frac{dv}{dx}$ 还是 $a = \frac{dv}{dt}$,要根据题意确定。本题不涉及时间,故选择前者比较简单,如解法一,当然也可以选择后者,如解法二,不过此时求出的是 $v = v(t)$ 和 $x = x(t)$,消去 t,即可得到 $v = v(x)$。

(4)设雨点在空气中降落,空气阻力正比于速度的平方,正比于雨点的横截面积,问小雨点与大雨点相比,在空气中哪个降落得比较快?

解:空气阻力为

$$f_{阻力} = -CSv^2$$

式中 S 为雨点的横截面积,v 为它的速度,C 为比例常数。

由牛顿定律 $$mg - CSv^2 = ma$$

得 $$a = g - \frac{CS}{m}v^2 \tag{1}$$

由(1)式可知,v 增大时,a 变小,当 $a = 0$ 时,雨点达到收尾速度 v_T,即

$$0 = g - \frac{CS}{m}v_T^2$$

则 $$v_T = \sqrt{\frac{mg}{CS}} \tag{2}$$

设雨点半径为 r,质量密度为 ρ,雨点的横截面积 $S = \pi r^2$,将 m,S 代入(2)式,得

$$v_T = \sqrt{\frac{4\rho g r}{3C}}$$

由于 $v \propto \sqrt{r}$,所以大雨点比小雨点落得快。

答案:大雨点比小雨点落得快。

分析:本题是牛顿运动定律的应用。

(5)如图 1-4(a)所示。一质量为 M,长度为 l 的均质绳子,以匀角速度 ω 绕固定端旋转。设绳子不伸长,重力忽略不计。试求离固定端距离为 r 处绳中的张力。

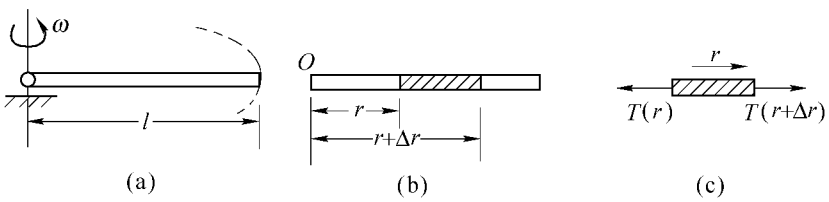

图 1-4

需要全本请访问 www.ertongbook.com