

科学版学习指导系列

大学物理能力训练 与知识拓展

主 编 刘爱红
副主编 刘岚岚 赵红娥
主 审 余守宪



科学出版社

www.sciencep.com

科学版学习指导系列

大学物理能力训练 与知识拓展

主 编 刘爱红
副主编 刘岚岚 赵红娥
主 审 余守宪

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是配合大学物理教材和课堂教学而编写的辅助教材。全书通过约500个精选和编写的各种典型题目的分析和求解,指导学生掌握基本概念与基本原理,加强学生能力和科学素质的培养,介绍物理概念与基本原理在日常生活、科学技术和工程实际中的应用,在普通物理的层次上了解乃至理解现代物理学前沿及其进展。

本书将大学物理的基本内容划分为10章,每一章内容都由学习要求与重点难点、知识框架、基本概念与基本原理讨论题、基本能力训练题、综合能力与知识拓展训练题5个方面组成,每个方面各有其侧重点且相辅相成。

本书可供理工科院校学生及教师使用。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理能力训练与知识拓展/刘爱红主编. —北京:科学出版社,2004.3
科学版学习指导系列

ISBN 7-03-012835-4

I. 大… II. 刘… III. 物理学—高等学校—教学参考资料 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 004757 号

责任编辑:巴建芬 昌 盛 刘俊来/责任校对:包志虹

责任印制:安春生/封面设计:槐寿明

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>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年3月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2004年3月第一次印刷 印张:14 1/2

印数:1—7 000 字数:271 000

定价:18.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

大学物理是一门重要的基础理论课程,在培养学生的创新意识和科学素养中具有重要的作用。

要学好大学物理,除了课堂上的理论学习之外,还需要结合教学要求,做一定量的练习题,通过独立思考和反复训练,才能掌握好物理学的基本概念、基本规律和基本方法,真正提高分析和解决各种问题的能力。为此,我们精选和编制了与大学物理教学内容及要求密切结合,与物理学原理在日常生活、科学技术与工程实际的应用密切相关、反映物理前沿及其进展的约 500 个题目。

本书将大学物理的基本内容划分为 10 章,每一章由如下 5 个方面组成,每个方面各有其侧重点又相辅相成。

一、学习要求与重点难点——可以使学生更明确地了解工科大学物理教学的基本要求,并对内容的重点与难点给以足够的重视。

二、知识框架——使学生可以一目了然地了解本部分内容的知识体系、知识主干以及它们之间的相互关系,有利于提高学生对所学知识的概括、归纳和总结能力,同时也便于学生复习使用。

三、基本概念与基本原理讨论题——使学生通过本部分问题的讨论澄清学习中的疑点,正确理解相关基本概念和基本原理。

四、基本能力训练题——这部分习题绝大部分是针对课程内容的重点和难点而编写的典型题目,通过对这些题目的练习可以熟练地掌握和运用有关定理和定律。

五、综合能力与知识拓展训练题——本部分题目主要涉及四个方面的内容,即物理学与日常生活;物理学原理在科学技术与工程实际中的应用;近代物理的重要发现和发明;物理前沿及其进展。编者编写的这部分训练题是为了培养学生运用所学的理论知识解决实际问题的能力和创新能力,同时也使学生对所学知识不但具有纵向深度,而且具有横向广度,以体现教学改革的思想,达到培养高素质人才的目的。这也是本书的特色之所在。

本书的部分内容曾作为习题课资料在我校使用多年,近年新编写的有关物理学在工程技术中的应用、近代物理的重要发现和发明、前沿物理“普物化”的题目是我校在教学改革中做的一种新的尝试,对于该部分内容,编者力求在语言上深入浅出,使读者易于理解和接受。其中部分题目内容选自诺贝尔物理奖获奖项目,配有获奖者简介和照片,使读者产生亲切感,同时增加物理学史的有关知识。本书作为

我校大学物理辅助教材,配合《大学物理学》教材(吴柳主编),取得了良好的教学效果。

本书作者分工如下:

第一章、第二章由刘岚岚、蔡天芳、刘爱红编写;第三章由蔡天芳、刘岚岚编写;第四章由刘岚岚、刘爱红编写;第五章、第六章由刘爱红编写;第七章由赵红娥编写;第八章由刘岚岚编写;第九章、第十章由刘爱红编写。

参加本书编写工作的还有:杨甦、唐莹、滕永平、王波波、滕小瑛、章小丽等。

余守宪教授在百忙之中审定了全书,成正维教授对本书的编写一直给予热情的支持,林铁生教授对本书的内容体系提出了有益的建议,在此一并表示诚挚的感谢。

鉴于本书作者水平有限,错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2003 年 12 月

于北京交通大学

目 录

第一章 质点力学	1
一、学习要求与重点难点	1
二、知识框架	2
三、基本概念与基本原理讨论题	4
四、基本能力训练题	7
五、综合能力与知识拓展训练题	13
1. 失重	13
2. 潮汐	13
3. 竞走速度与摇摆	14
4. 弹弓效应	14
第二章 刚体力学	16
一、学习要求与重点难点	16
二、知识框架	17
三、基本概念与基本原理讨论题	18
四、基本能力训练题	19
五、综合能力与知识拓展训练题	23
1. 称量人体各部分的重量	23
2. 空车与重车	23
3. 麦克斯韦轮	23
4. 台球的滑动与滚动	24
5. 溜溜球	24
第三章 狭义相对论基础	26
一、学习要求与重点难点	26
二、知识框架	27
三、基本概念与基本原理讨论题	28
四、基本能力训练题	30
五、综合能力与知识拓展训练题	32
1. 因果事件的次序问题	32
2. 光行差	33
3. 双生子效应	34

4. 正负电子对撞机与资用能的利用	34
5. 粒子反应与相对论不变量的应用	35
第四章 静电场	37
一、学习要求与重点难点	37
二、知识框架	38
三、基本概念与基本原理讨论题	39
四、基本能力训练题	43
五、综合能力与知识拓展训练题	53
(一)静电的应用	53
1. 静电除尘	53
2. 静电喷漆用的微滴发生器	54
3. 同步卫星的离子推进器	55
(二)带电粒子加速器	56
1. 范德格拉夫静电加速器	56
2. 质子直线加速器	57
(三)加速电荷的应用	58
1. 场致发射显微镜	58
2. 静电透镜	59
(四)等离子体的振荡频率	59
(五)核裂变能的估算	60
第五章 稳恒磁场	62
一、学习要求与重点难点	62
二、知识框架	63
三、基本概念与基本原理讨论题	64
四、基本能力训练题	66
五、综合能力与知识拓展训练题	71
(一)粒子物理研究的重要工具——加速器与探测器	71
1. 云室与正电子的发现	71
2. 气泡室	72
3. 粒子加速器	73
4. 多丝正比室与基本粒子“夸克”的发现	74
(二)等离子体的磁约束	76
1. 等离子体的磁瓶约束机理	76
2. 受控热核反应中的托卡马克装置	77
(三)微波技术中的磁控管	79

(四)电磁炮	80
第六章 电磁感应 电磁场	82
一、学习要求与重点难点	82
二、知识框架	83
三、基本概念与基本原理讨论题	84
四、基本能力训练题	86
五、综合能力与知识拓展训练题	94
1. 电磁异步驱动——车速表的工作原理	94
2. 地下金属管探测仪	95
3. 电子计算机中的记忆磁芯元件	96
4. 三种电磁屏蔽	97
5. 超导体的两个基本性质——零电阻与理想的抗磁性	98
6. 磁流体发电机	99
7. 磁荷	100
第七章 机械振动和机械波	101
一、学习要求与重点难点	101
二、知识框架	102
三、基本概念与基本原理讨论题	104
四、基本能力训练题	106
五、综合能力与知识拓展训练题	115
1. 钢琴弦的振动	115
2. 次声波	117
3. 超声雾化	118
4. 彩超诊断	119
5. 微波照相——合成孔径成像技术	120
6. 多普勒声纳	121
7. 新星的距离	122
第八章 波动光学	124
一、学习要求与重点难点	124
二、知识框架	125
三、基本概念与基本原理讨论题	126
四、基本能力训练题	130
五、综合能力与知识拓展训练题	136
1. 光干涉式矿井甲烷检测器	136
2. 激光比长仪	137

3. 喇叭口声纳	138
4. 射电望远镜	139
5. 法拉第光纤电流传感器	140
6. 自由电子激光	141
7. 激光陀螺	143
第九章 量子物理	145
一、学习要求与重点难点	145
二、知识框架	146
三、基本概念与基本原理讨论题	148
四、基本能力训练题	150
五、综合能力与知识拓展训练题	157
(一)激光冷却与捕获原子	157
1. 多普勒冷却	157
2. 偏振梯度冷却	159
3. 光子阱(光钳)	160
4. 磁阱	161
(二)玻色-爱因斯坦凝聚	162
(三)穆斯堡尔效应	162
(四)半导体的应用	164
1. 太阳能光电池	164
2. 异质结与半导体激光器	165
(五)超导的微观机理	166
第十章 气体动理论与热力学基础	168
一、学习要求与重点难点	168
二、知识框架	169
三、基本概念与基本原理讨论题	171
四、基本能力训练题	174
五、综合能力与知识拓展训练题	185
(一)绝热去磁法致冷	185
(二)用穿孔板共振装置控制噪声	186
(三)费米-狄拉克统计与自由电子气	187
1. $T=0\text{K}$ 时自由电子气的费米能	188
2. 简并压强	189
3. 金属的弹性模量	189
(四)固体的热容	190

1. 低温情形下固体的热容——声子气体	191
2. 金属自由电子的热容	192
(五) 负热力学温度	193
(六) 耗散结构 激光	193
答案	195
附录	219
(一) 物理学常用常量	219
(二) 国际单位制的有关规定	220
主要参考书目	221

第一章 质点力学

一、学习要求与重点难点

学习要求

1. 理解质点、参考系、惯性系的概念。
2. 掌握位置矢量、位移、速度、加速度等描述质点运动的物理量,能借助于直角坐标系求解质点的平面运动的运动学问题,尤其是质点运动学的两类问题:即由运动方程求速度和加速度以及逆问题由加速度和初始条件求运动方程;能利用自然坐标熟练地计算质点的切向和法向加速度;能借助于圆周运动的角量描述熟练地计算质点做圆周运动时的角速度、角加速度以及切向加速度和法向加速度。
3. 理解相对运动的概念,能分析和计算与平动有关的相对运动问题。
4. 掌握牛顿三定律及其适用条件,特别是物体的受力分析及运用牛顿定律解题的基本思路和方法。
5. 理解功的概念,并会计算变力的功;理解势能的概念,会计算三种势能;掌握保守力做功的特点。
6. 理解冲量的概念,并会计算变力的冲量。
7. 掌握质点的动能定理、功能原理、动量定理及角动量定理,并能熟练运用。
8. 掌握动量守恒、机械能守恒及角动量守恒适用的条件,掌握运用守恒定律解决问题的思路和方法,并能联合应用三个守恒定律解决综合性的力学问题。

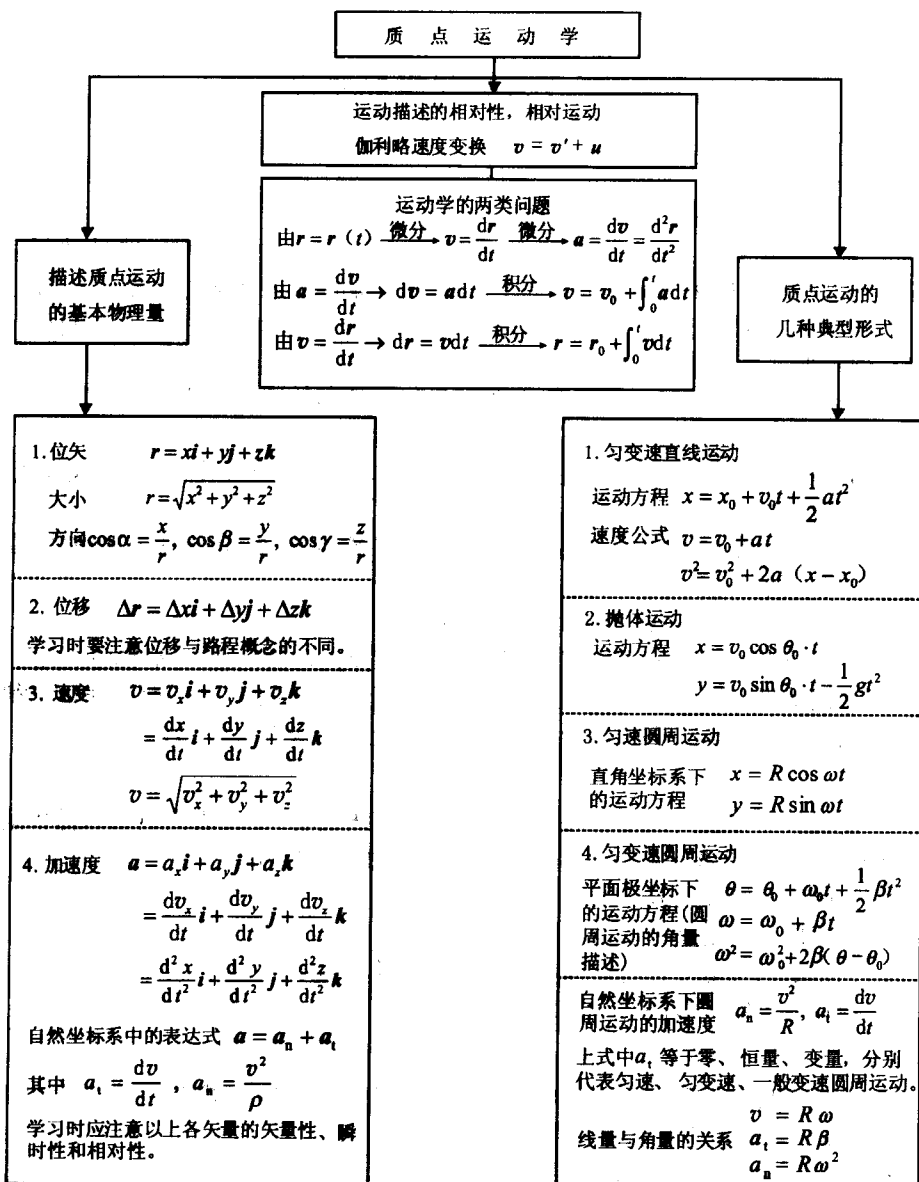
重点

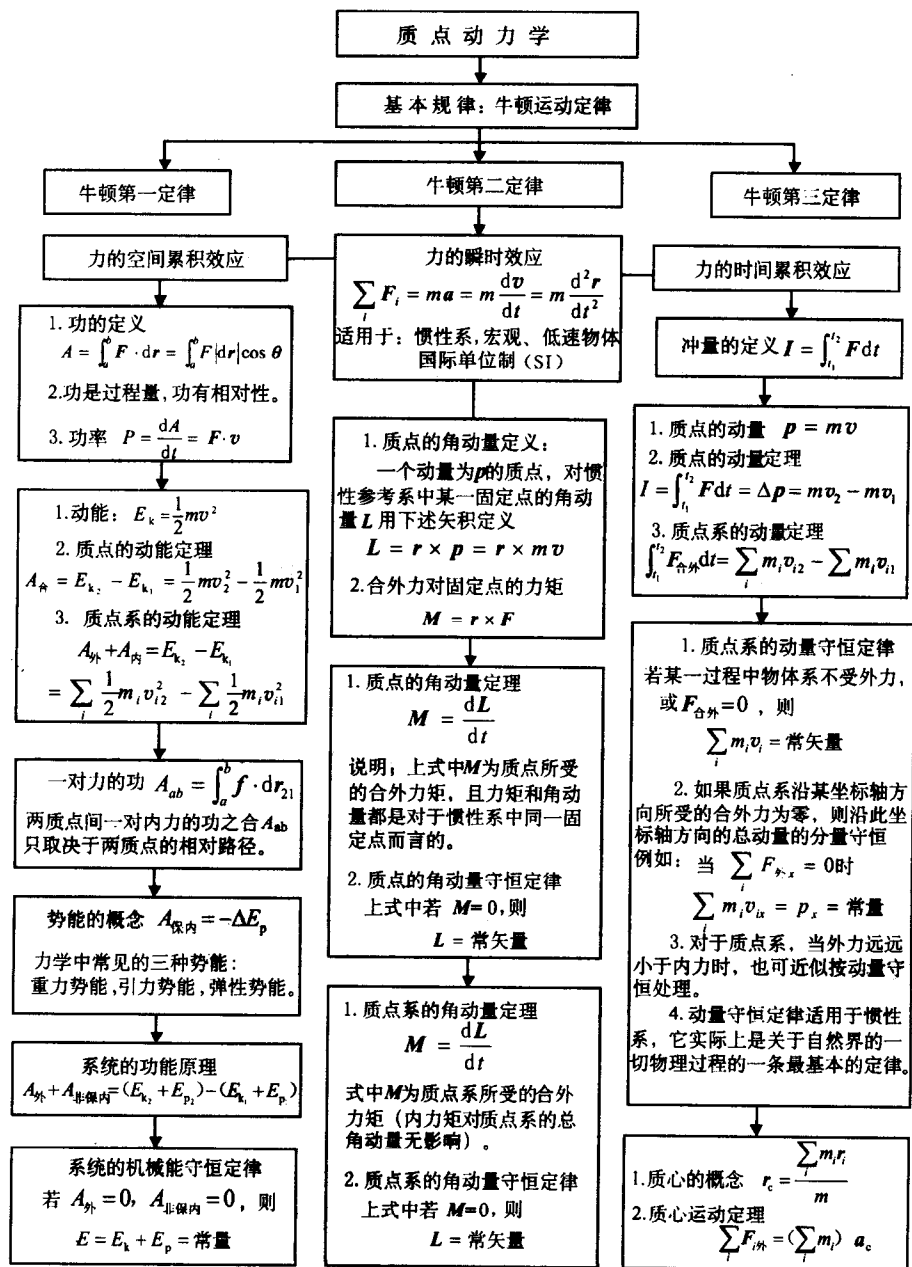
1. 位置矢量、位移、速度、加速度概念;变速直线运动、变速圆周运动和抛体运动的规律;运用直角坐标系和自然坐标系解决运动学两类问题。
2. 牛顿运动定律及其应用。
3. 质点的动能定理和动量定理及其应用。
4. 系统的机械能守恒定律和动量守恒定律及其运用。
5. 应用守恒定律解决力学问题的思路和方法。

难点

1. 如何正确理解速度、加速度的瞬时性、矢量性和相对性;掌握运用高等数学的微积分手段解决质点运动学问题的方法。
2. 变力作用下功和冲量的计算。
3. 准确分析一个力学过程中系统的动量守恒和机械能守恒的条件。
4. 系统的势能概念的正确理解。
5. 综合性质点力学问题的求解方法的掌握。

二、知识框架





三、基本概念与基本原理讨论题

1. 速度矢量和加速度矢量是怎样定义的? 写出它们的定义式。若一个质点的运动学方程为 $x = x(t)$, $y = y(t)$, 在计算该质点的速度和加速度时, 有一种解法是先求出

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

然后根据 $v = \frac{dr}{dt}$ 及 $a = \frac{d^2 r}{dt^2}$ 求出速度和加速度, 此解法正确与否? 并说明理由。

(1) 试就质点做圆周运动这一特例说明之;

(2) 写出 v 和 $\mathbf{v}$, a 和 $\mathbf{a}$ 的正确表达式;

(3) 试就质点做一般曲线运动情况分别标出 Δr 、 $\Delta \mathbf{r}$ 、 $|\Delta \mathbf{r}|$; Δv 、 $\Delta \mathbf{v}$ 、 $|\Delta \mathbf{v}|$, 并讨论 $\frac{dr}{dt}$ 、 $\frac{d\mathbf{r}}{dt}$ 、 $\left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right|$ 、 $\frac{dv}{dt}$ 、 $\frac{d\mathbf{v}}{dt}$ 、 $\left| \frac{d\mathbf{v}}{dt} \right|$ 的含义。

提示 速度和加速度是运动学中两个重要概念, 学习中要注意区分 Δr 与 $|\Delta \mathbf{r}|$, Δv 与 $|\Delta \mathbf{v}|$ 。常见的错误是把速度大小 $v = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right|$ 与 $\frac{dr}{dt}$ 等同起来; 把加速度的大小 $a = \left| \frac{d\mathbf{v}}{dt} \right|$ 与 $\frac{dv}{dt}$ 等同起来。其实两者并不相等。要搞清楚此问题, 关键是区分 $|\Delta \mathbf{r}|$ 与 Δr 及 $|\Delta \mathbf{v}|$ 与 Δv , 即真正搞清楚矢量增量的大小与矢量大小的增量之间的区别与联系。

2. 切向加速度和法向加速度各是如何定义的? 说明其物理意义并讨论下列问题:

(1) 物体做曲线运动时, 速度方向必沿着运动轨道的切线方向, 速度的法向分量为零, 因此其法向加速度必定为零, 而切向加速度一定不为零;

(2) 当 $a_t = 0$, $a_n = 0$, 质点做_____运动,

当 $a_t = 0$, $a_n \neq 0$, 质点做_____运动,

当 $a_t \neq 0$, $a_n = 0$, 质点做_____运动,

当 $a_t \neq 0$, $a_n \neq 0$, 质点做_____运动。

(3) 一个质点做抛体运动(忽略空气阻力), 初速度为 v_0 , 抛射角为 θ , 如图 1-1 所示。则该质点在运动过程中,

① $\frac{dv}{dt}$ 是否变化?

② $\frac{d\mathbf{v}}{dt}$ 是否变化?

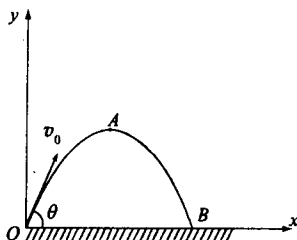


图 1-1

③求抛出点 O 、最高点 A 和落地点 B 的法向加速度和切向加速度。

要求 (1) 通过讨论真正掌握法向加速度和切向加速度的物理意义。

(2) 通过问题(1)~(3)的讨论总结出在什么情况下可以方便地由总加速度 a 在自然坐标中的正交分解法, 求出法向加速度和切向加速度。

3. 试讨论小雨点与大雨点相比, 在空气中哪个降落得快? 已知物体在空气中降落时受到的空气阻力为 $f_{\text{阻}} = cSv^2$ 。其中, S 为物体的横截面积, v 为下降速度, c 为比例常数(设雨滴的形状为球形)。

提示 对大、小雨点的终极速度进行比较, 即可得到结论。设 $S = \pi r^2$, $m = \rho \frac{4}{3} \pi r^3$, r 为雨点的半径。

4. 如图 1-2 所示, 船 A 和船 B 相对于河岸分别以速度 v_B 和 v_A 行驶, 试分析它们会不会相碰? 做图表示出两船相靠的最近距离。

提示 以船 A 为参考系做图来考察船 B 相对于船 A 的速度方向。

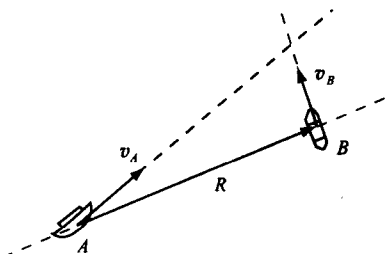


图 1-2

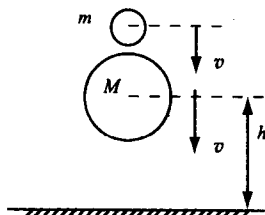


图 1-3

5. 如图 1-3 所示, 将一个小皮球放在一个大皮球的上边, 使之自由落下。当它们落到地面上反弹时小球跳的高度比原来高许多倍, 往往会打到天花板上。试对此现象进行分析。

提示 先以大球为参考系分析小球反弹的速度, 再以地面为参考系分析小球反弹的速度, 并考虑到两个弹性球质量相差甚远。

6. 讨论物体受下述变力作用时, 求解加速度的思路。

(1) 力是时间的函数 $F = F(t)$: 一质量为 m 的质点 A 受周期性外力 $F = F_0 \cos \omega t$ 的作用沿 x 轴运动, 其中 F_0 、 ω 均为常数, 且 $t = 0$ s 时 A 静止于坐标原点, 求 A 的速度、位置与时间的关系;

(2) 力是位置的函数 $F = F(x)$: 一质量为 m 的质点 B 沿 x 轴运动, 受力 $F = F_0 + kx$ 的作用, 其中 F_0 、 k 均为常量, 且 B 在 $x = 0$ 处的速度为 v_0 , 求 B 的速度和坐标间的关系;

(3) 力是速度的函数 $F = F(v)$: 一质量为 m 的轮船 C 在停靠码头之前, 关闭发动机, 这时 C 的速率为 v_0 , 设水的阻力与轮船的速率成正比, 比例常数为 k , 求发动机停机后 C 能前进的最大距离。

提示 本题属于变力作用下求质点运动学的第二类问题, 求解的关键步骤在于根据力函数的具体形式进行恰当的分离变量, 然后求出速度与位置的关系。

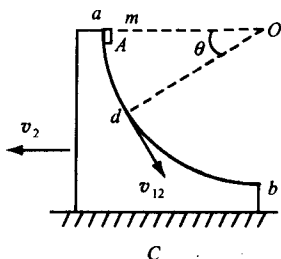


图 1-4

7. 如图 1-4 所示, $\widehat{ab}$ 为弧形槽 B 的 $1/4$ 光滑圆弧, 置于光滑桌面 C 上, 当质量为 m 的物体 A 沿弧下滑过程中, B 将向左运动。若 A 滑到点 d 时相对于 B 的速度为 v_{12} , 此时 B 相对于桌面的速度为 v_2 , 方向为水平向左。

(1) 求该时刻物体 A 相对于桌面的速度水平分量与垂直分量;

(2) 写出 A 相对于桌面动能的表达式;

(3) 写出 A 相对于桌面水平动量的表达式。

8. 判断下列说法的正误, 并说明理由。

- (1) 所受合外力为零的系统, 机械能一定守恒;
- (2) 不受外力的系统, 必然同时满足动量守恒和机械能守恒;
- (3) 合外力为零, 内力只有保守力的系统, 机械能必然守恒;
- (4) 只有保守内力作用的系统, 动量和机械能必然都守恒;
- (5) 一质点在某一过程中, 所受合外力的冲量为零, 则质点的动量一定守恒;
- (6) 合外力为零的系统, 对某一点的角动量一定守恒。

9. 如图 1-5 所示, 质量为 M 半径为 R 的 $1/4$ 圆弧形槽 D 置于光滑水平面上。开始时质量为 m 的物体 C 与弧形槽 D 均静止, 在物体 C 由圆弧顶点 a 处下滑到圆弧底端 b 点的过程中, 判断下列说法是否正确, 并说明理由 (设圆弧表面也是光滑的)。

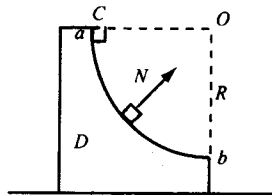


图 1-5

(1) 以地面为参考系, 槽 D 对物体 C 的支持力不做功;

(2) 以槽 D 为参考系, 槽 D 对物体 C 的支持力不做功;

(3) 以地面为参考系, 物体 C 在 b 点相对于地面的速率 v_1 满足 $\frac{1}{2}mv_1^2 = mgR$;

(4) 以槽 D 为参考系, 物体 C 在 b 点相对于槽 D 的速率 v_2 满足 $\frac{1}{2}mv_2^2 = mgR$;

(5) 以地面为参考系, C 、 D 系统动量守恒;

(6) 以地面为参考系, C 、 D 与地球系统机械能守恒。

提示 一个力的功的数值与参考系的选择有关, 而一对力的功与参考系的选择无关。

10. 试定性分析图 1-6 中运动员在撑杆跳高过程中涉及到几种能量的转化。

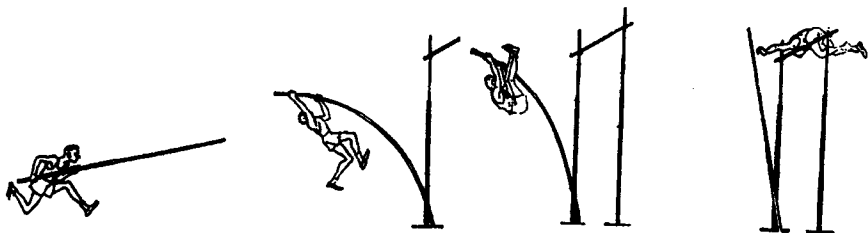


图 1-6

四、基本能力训练题

(一) 选择题

1. 一质点在平面上做一般曲线运动, 其瞬时速度为 $\mathbf{v}$, 瞬时速率为 v , 某一段时间内的平均速度为 $\bar{\mathbf{v}}$, 平均速率为 $\bar{v}$ 。它们之间的关系必定有 []

- (A) $|\mathbf{v}| = v, |\bar{\mathbf{v}}| = \bar{v}$; (B) $|\mathbf{v}| \neq v, |\bar{\mathbf{v}}| = \bar{v}$;
(C) $|\mathbf{v}| \neq v, |\bar{\mathbf{v}}| \neq \bar{v}$; (D) $|\mathbf{v}| = v, |\bar{\mathbf{v}}| \neq \bar{v}$ 。

2. 一质点沿螺旋线自外向内运动, 如图 1-7 所示, 已知其走过的弧长与时间 t 的一次方成正比, 则该质点加速度的大小是 []

- (A) 越来越大; (B) 越来越小;
(C) 不变; (D) 不能判定。



图 1-7

3. 在由两个质点组成的系统中, 若质点之间只有万有引力作用, 且此系统所受的外力的矢量和为零, 则此系统 []

- (A) 动量、机械能守恒, 但角动量是否守恒不能断定;
(B) 动量守恒, 但机械能和角动量是否守恒不能断定;
(C) 动量和角动量守恒, 但机械能是否守恒不能断定。

4. 人造地球卫星绕地球做椭圆轨道运动, 卫星轨道近地点和远地点分别为 A 和 B , 用 L 和 E_k 分别表示卫星对地心的角动量和动能的瞬时值, 则应有 []

- (A) $L_A > L_B, E_{kA} > E_{kB}$; (B) $L_A = L_B, E_{kA} < E_{kB}$;
(C) $L_A = L_B, E_{kA} > E_{kB}$; (D) $L_A < L_B, E_{kA} < E_{kB}$ 。