

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教辅

大学物理

学习指导与习题解答

少学时

张 宇 甄丽娟 唐光裕 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教辅

大学物理学习指导 与习题解答(少学时)

张宇 甄丽娟 唐光裕 主 编
赵远 杨学栋 主 审



机械工业出版社

本书结合编者 2007 年在机械工业出版社出版的普通高等教育“十一·五”国家级规划教材《大学物理 少学时》(第 2 版)编写而成,对该教材中各个章节的内容按框图形式进行了总结,并且结合教学及学生自学需要针对所有章节给出了相关的思考题及其解答;对于教材各章中有代表性的习题给出了详细的解题步骤;同时还结合各个章节的重点难点补充了一些习题及解答.

本书可作为工科大学管理类专业(非机、非土、非电专业)及其他对基础物理学内容要求学时较少专业的大学物理辅助参考书.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习指导与习题解答:少学时/张宇,甄丽娟,唐光裕主编. —北京:机械工业出版社, 2009.8

普通高等教育“十一·五”国家级规划教材配套教辅
ISBN 978-7-111-27897-9

I. 大… II. ①张…②甄…③唐… III. 物理学-高等学校-教学参考资料 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 130163 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张金奎 季顺利 责任编辑:陈心中

责任校对:刘志文 封面设计:姚毅

责任印制:乔宇

北京京丰印刷厂印刷

2010 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 14.25 印张 · 274 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-27897-9

定价:20.50 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

普通高等教育“十一五”国家级规划教材《大学物理 少学时》(第2版)自2007年出版以来,已被全国10余个省市的部分高校师生使用,大多数使用本书的院校向出版社或作者建议,为便于教学和学生自学,应该出一本与教材配套的习题解题指导,为此,作者编写了本书。

本书对教材各章中有代表性的习题给出了必要的解题步骤,同时还结合各章节的重点难点补充了一些习题及解答。

哈尔滨工业大学唐光裕教授对本书编写大纲的制订提出了许多建设性意见,并针对具体内容做了大量细致的工作。参加本书编写工作的有张宇、甄丽娟、唐光裕、孙凯霞、吴琦、孟庆鑫、姜向前、黄义春等。本书由张宇、甄丽娟、唐光裕负责统稿和定稿,由赵远、杨学栋主审。

本书的出版工作得到了普通高等教育项目、哈尔滨工业大学“十一五”规划教材项目的资助,并得到机械工业出版社高等教育分社等各方面的大力支持和帮助,编者在此表示深深的感谢。

由于编者的学识水平所限,书中难免有不当之处,敬请广大读者指正。

编 者
2009年5月 于哈尔滨

目 录

前言

第一章 质点运动学 1

- 一、主要内容框图及教学基本要求 1
- 二、思考题及其解答 2
- 三、习题选解 5
- 四、补充习题及其解答 7

第二章 质点动力学 10

- 一、主要内容框图及教学基本要求 10
- 二、思考题及其解答 12
- 三、习题选解 20
- 四、补充习题及其解答 25

第三章 刚体的定轴转动 31

- 一、主要内容框图及教学基本要求 31
- 二、思考题及其解答 32
- 三、习题选解 36
- 四、补充习题及其解答 40

第四章 狭义相对论基础 44

- 一、主要内容框图及教学基本要求 44
- 二、思考题及其解答 45
- 三、习题选解 48
- 四、补充习题及其解答 50

第五章 气体动理论 55

- 一、主要内容框图及教学基本要求 55
- 二、思考题及其解答 56
- 三、习题选解 60

四、补充习题及其解答 62

第六章 热力学基础 67

- 一、主要内容框图及教学基本要求 67
- 二、思考题及其解答 69
- 三、习题选解 75
- 四、补充习题及其解答 78

第七章 静电场 87

- 一、主要内容框图及教学基本要求 87
- 二、思考题及其解答 88
- 三、习题选解 95
- 四、补充习题及其解答 103

第八章 稳恒磁场 110

- 一、主要内容框图及教学基本要求 110
- 二、思考题及其解答 112
- 三、习题选解 117
- 四、补充习题及其解答 124

第九章 电磁感应与电磁场 128

- 一、主要内容框图及教学基本要求 128
- 二、思考题及其解答 129
- 三、习题选解 135
- 四、补充习题及其解答 140

第十章 机械振动 145

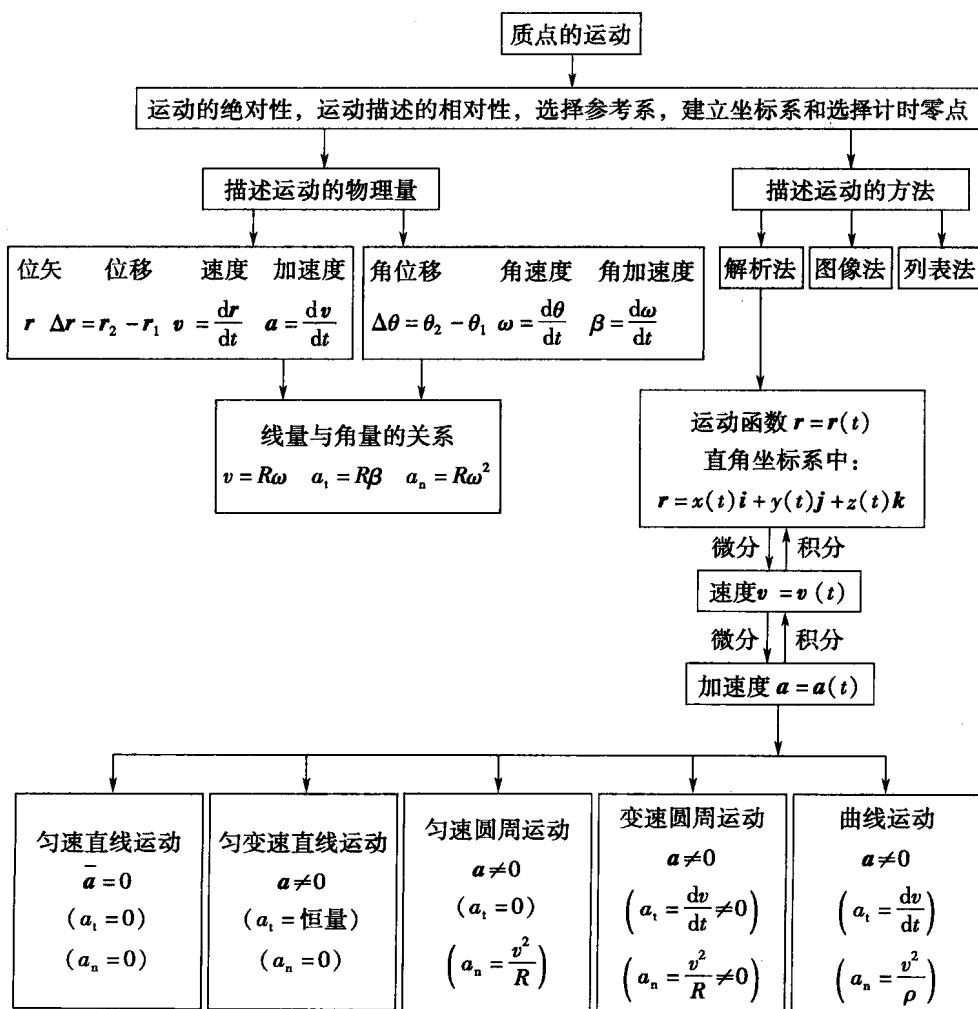
- 一、主要内容框图及教学基本要求 145
- 二、思考题及其解答 146

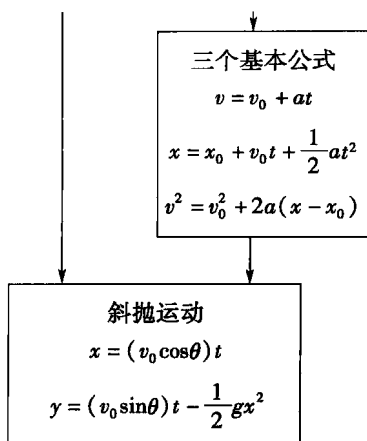
三、习题选解	151	二、思考题及其解答	178
四、补充习题及解答	154	三、习题选解	185
第十一章 机械波	160	四、补充习题及其解答	191
一、主要内容框图及教学基本 要求	160	第十三章 量子物理学基础	200
二、思考题及其解答	161	一、主要内容框图及教学基本 要求	200
三、习题选解	166	二、思考题及其解答	202
四、补充习题及其解答	170	三、习题选解	206
第十二章 波动光学	176	四、补充习题及其解答	213
一、主要内容框图及教学基本 要求	176	参考文献	221

第一章 质点运动学

一、主要内容框图及教学基本要求

1. 主要内容框图





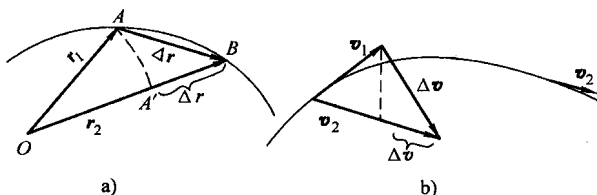
2. 教学基本要求

- (1) 理解质点、参考系、坐标系、时刻和时间等物理概念。
- (2) 掌握位矢、位移、速度和加速度等描述运动及其变化的一些物理量的定义，理解它们的相对性、瞬时性、矢量性。
- (3) 掌握运动函数的物理意义，学会并熟练地运用矢量代数和微积分等数学工具求解质点运动学中的两类基本问题，即已知质点的运动函数求速度、加速度和已知质点的加速度或速度及其初始条件求运动函数。
- (4) 掌握用角量描述圆周运动的规律，并理解圆周运动中角量和线量的关系。能熟练计算角速度、角加速度以及切向加速度和法向加速度。
- (5) 了解相对运动的位移关系和速度关系，并会计算简单的相对运动问题。

二、思考题及其解答

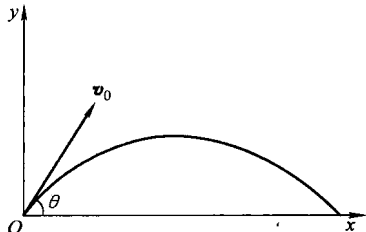
1-1 在曲线运动中， Δr 与 $\Delta r = \Delta |r|$ ， Δv 与 $\Delta v = \Delta |v|$ 的区别，试作图说明之。

【解】 Δr 是两位置矢量之差，即 $\Delta r = r_2 - r_1$ ，而 Δr 是两位置矢量的大小之差（矢量模之差），即 $\Delta r = |r_2| - |r_1|$ ，见思考题 1-1 解图 a， $\Delta r = \overline{AB}$ ，而 $\Delta r = \overline{A'B}$ 。同理 $\Delta v = v_2 - v_1$ ， $\Delta v = |v_2| - |v_1|$ ，见题 1-1 解图 b。



思考题 1-1 解图

1-2 一质点作抛体运动(忽略空气阻力), 如思考题 1-2 图所示. 试分析质点在运动过程中:



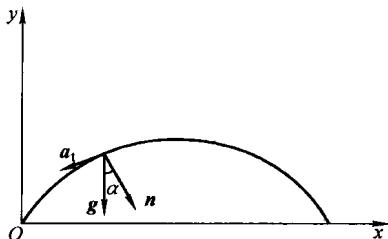
思考题 1-2 图

- (1) $\frac{dv}{dt}$ 是否变化?
- (2) $\frac{dv}{dt}$ 是否变化?
- (3) 法向加速度是否变化?
- (4) 轨道何处曲率半径最大? 其数值是多少?

【解】 (1) $\frac{dv}{dt}$ 不变化. $\frac{dv}{dt}$ 是质点作抛体运动时的加速度矢量, 即等于重力加速度 g , 为一恒矢量. $\frac{dv}{dt}$ 表示速度矢量(速度的大小和方向)对时间的变化率.

(2) $\frac{dv}{dt}$ 变化. $\frac{dv}{dt}$ 表示速率(速度的大小)对时间的变化率, 是加速度 g 在抛物线轨迹上各点切线方向的分量大小, 即切向加速度 a_t 的大小, $a_t = \frac{dv}{dt} = g \sin \alpha$, 式中 α 是 g 与轨迹内法线 n 的夹角, 见思考题 1-2 解图. 由于轨迹上不同点 α 角不同, 故 $\frac{dv}{dt}$ 变化.

(3) 法向加速度变化. 法向加速度 a_n 是质点加速度 g 在轨迹上各点沿法向的分量, 即法向加速度 a_n 的大小, $a_n = g \cos \alpha$, 由于 α 角变化, 所以法向加速度的大小也变化.



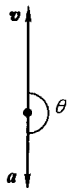
思考题 1-2 解图

(4) 因 $a_n = v^2/\rho = g \cos \alpha$, 故 $\rho = v^2/a_n$. 在轨道起点和终点处($\alpha = \theta$), a_n 值最小; 在最高点, $\alpha = 0$, $a_n = g$, 其值最大. 而在起点和终点 $v = v_0$ 为最大. 在最高点 $v = v_0 \cos \theta$ 为最小. 由 $\rho = v^2/a_n$, 可以看出在起点和终点曲率半径 ρ 值一定最大, 在最高点 ρ 值最小. 考虑在起点(或终点)的 ρ 值, $|\rho_{\max}| = v_0^2/g \cos \theta$.

1-3 作图表示下述几种运动情况中的加速度 a 和速度 v 的方向, 并用 θ 角表示两者方向之间的夹角. (1) 铅直上抛及下抛; (2) 抛体运动上升和下落; (3) 匀速率圆周运动. 作图过程中有何领会?

【解】 见思考题 1-3 解图. 一般地说, 速度和加速度的方向并不一定相同, 这一点与直觉的想法不一致. 从作图过程中应体会到, 速度的方向就是物体运动的方向, 而加速度的方向是运动改变的方向, 即在时间趋向于零时的速度增量的

极限方向.

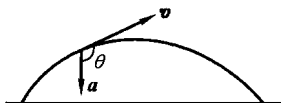


铅直上抛 ($a=g$), $\theta=180^\circ$



铅直下抛 ($a=g$), $\theta=0^\circ$

(1)

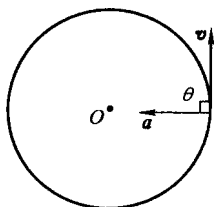


抛体上升 ($a=g$), $90^\circ < \theta < 180^\circ$



抛体下落 ($a=g$), $90^\circ > \theta > 0^\circ$

(2)



匀速率圆周运动, $\theta=90^\circ$

(3)

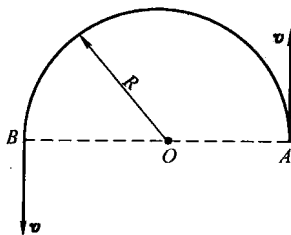
思考题 1-3 解图

1-4 如思考题 1-4 图所示, 质点沿半径为 R 的圆作匀速圆周运动, 从 A 点出发, 经半圆到达 B 点, 试问下列叙述中哪一个是不正确的? [A]

- (A) 速度增量的大小为 $|\Delta v| = 0$;
- (B) 速率增量 $\Delta v = 0$;
- (C) 位移大小 $|\Delta r| = 2R$;
- (D) 路程 $s = \pi R$.

1-5 一质点作曲线运动, 其瞬时速度为 v , 瞬时速率为 v , 平均速度为 \bar{v} , 平均速率为 \bar{v} , 试问下列四种关系中哪一种是正确的? [C]

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



思考题 1-4 图

1-6 一小球沿斜面向上运动，其运动函数为 $s = s_0 + 4t - t^2$ (SI)，则小球将在何时从斜面往下运动？ [C]

- (A) 4s; (B) 6s; (C) 2s; (D) 3s.

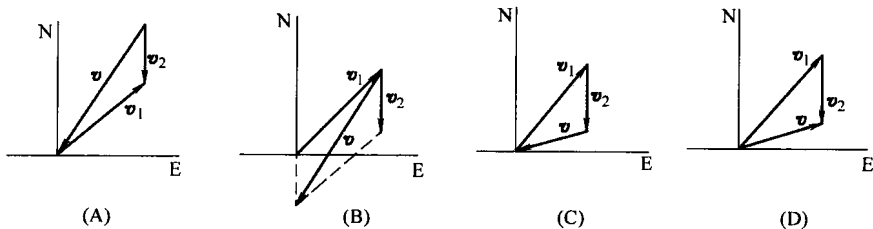
1-7 某物体的运动规律为 $\frac{dv}{dt} = -kv^2t$ 。式中 k 为大于零的恒量，当 $t=0$ 时，初速为 v_0 ，则速度 v 与时间 t 的函数关系为 [C].

- (A) $v = \frac{1}{2}kt^2 + v_0$; (B) $v = -\frac{1}{2}kt^2 + v_0$;
 (C) $\frac{1}{v} = \frac{1}{2}kt^2 + \frac{1}{v_0}$; (D) $\frac{1}{v} = -\frac{kt^2}{2} + \frac{1}{v_0}$.

1-8 一质点作半径为 R 的变速圆周运动， v 为任一时刻质点的速率，下式中哪一个正确表示了加速度 a 的大小？ [D]

- (A) $\frac{dv}{dt}$; (B) $\frac{dv}{dt} + \frac{v^2}{R}$; (C) $\frac{v^2}{R}$; (D) $\left[\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \frac{v^4}{R^2} \right]^{1/2}$.

1-9 小船以速度 v_1 向东北方向行驶，船上乘客测得风从北方以速度 v_2 吹来，则风相对于地面的速度 v 应由思考题 1-9 图的四个图中哪一个矢量合成图确定？ [D]



思考题 1-9 图

三、习题选解

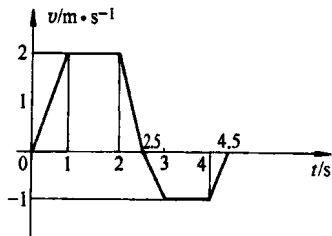
1-3 一质点沿 x 轴作直线运动，其 $v-t$ 曲线如题 1-3 图所示。设 $t=0$ 时，质点位于坐标原点，则求在 $t=4.5\text{s}$ 时，质点在 x 轴上的位置。

【解】 $t=4.5\text{s}$ 时，位移

$$\Delta x = \frac{(1+2.5) \times 2}{2} - \frac{(1+2) \times 1}{2} = 2\text{m}$$

又 $t=0$ 时 $x_0=0$ ，所以 $t=4.5\text{s}$ 时，位置

$$x = 2\text{m}$$



题 1-3 图

1-6 一艘正在行驶的快艇, 在发动机关闭后, 有一个与它速度方向相反的加速度, 其大小与它的速度平方成正比, 即 $\frac{dv}{dt} = -kv^2$, 式中 k 为恒量. 试证明: 快艇在关闭发动机后又行驶 x 距离时的速度为 $v = v_0 e^{-kx}$, 其中 v_0 是发动机关闭时的速度.

【证明】 因为

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} v = -kv^2$$

所以

$$\int_{v_0}^v \frac{1}{v} dv = \int_0^x (-k) dx$$

得

$$\ln \frac{v}{v_0} = -kx$$

即

$$v = v_0 e^{-kx}$$

1-7 在 Oxy 平面内有一个运动的质点, 其运动函数为 $r = 3ti + 10t^2j$ (SI), 求:

- (1) t 时刻的速度.
- (2) 切向加速度和法向加速度的大小.
- (3) 该质点运动的轨迹方程.

【解】 (1) $v = \frac{dr}{dt} = 3i + 20tj$ (SI)

(2) 因为 $v = \sqrt{3^2 + (20t)^2}$

所以

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{400t}{\sqrt{3^2 + (20t)^2}}$$

而

$$a = 20j$$

故

$$a_n = \sqrt{a^2 - a_t^2} = \frac{600}{\sqrt{3^2 + (20t)^2}}$$

(3) 由 $\begin{cases} x = 3t \\ y = 10t^2 \end{cases}$, 得

$$y = \frac{10}{9}x^2$$

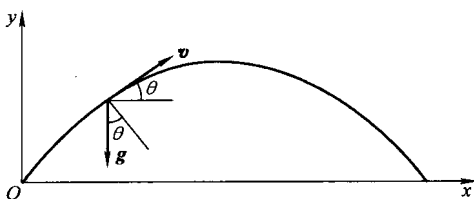
1-8 如题 1-8 图所示, 以一定初速度斜向上抛出一物体. 若忽略空气阻力, 求当物体的速度 v 与水平面的夹角为 θ 时的切向加速度和法向加速度的大小.

【解】 将 g 沿着 v 和垂直于 v 方向进行投影, 有

$$a_t = -g \sin \theta$$

$$a_n = g \cos \theta$$

1-9 小船从岸边 A 点出发渡河, 如果它保持与河岸垂直向前划, 则经过时间 t_1 到达对岸下游 C 点; 如果小船以同样速率划行, 但垂直河岸横渡到正对岸 B 点, 则需要与 A 、 B 两点联成的直线成 α 角逆流划行, 经时间 t_2 到达 B 点. 若 B 、 C 两点间距为 s , 求此河的宽度及 α 的数值.



题 1-8 图

【解】 如题 1-9 图所示, 设河水速度为 u , 河宽为 l , 船速为 v_r , 则

$$l = v_r t_1, \quad s = ut_1$$

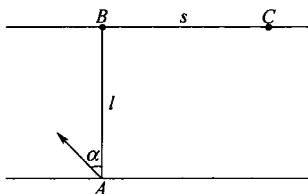
和

$$l = (v_r \cos \alpha) t_2, \quad l \tan \alpha = ut_2$$

由以上四个方程解得

$$\alpha = \arccos \frac{t_1}{t_2} \left(\text{或} \arcsin \frac{\sqrt{t_2^2 - t_1^2}}{t_2} \right)$$

$$l = v_r t_1 = \frac{t_2 s}{\sqrt{t_2^2 - t_1^2}}$$



题 1-9 图

1-10 在相对于地面静止的坐标系内, A 、 B 两船都以 $2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速率匀速行驶, A 船沿 x 轴正向, B 船沿 y 轴正向. 今在 A 船上设置与静止坐标系方向相同的坐标系 (x 、 y 轴的单位矢量分别用 i 、 j 表示), 那么从 A 船看 B 船, 它对 A 船的速度为多少?

【解】 由

$$v_A = 2i, \quad v_B = 2j$$

及相对速度公式

$$v_B = v_{BA} + v_A$$

得

$$v_{BA} = v_B - v_A = (-2i + 2j) \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

四、补充习题及其解答

1-1 路灯离地面的高度为 H , 一个身高为 h 的人在路灯下的水平路面上以恒定速度 v_0 步行前进, 如补充题 1-1 图所示. 求当人与灯的水平距离为 x 时, 人的头顶在地面上的影子移动的速度大小.

【解】 由图可得

$$\frac{h}{H} = \frac{s-x}{s}$$

故
$$s = \frac{H}{H-h}x$$

头顶在地面影子的速度

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{H}{H-h} \frac{dx}{dt} = \frac{H}{H-h} v_0$$

1-2 一质点沿半径为 R 的圆周轨迹运动, 其路程 s 随时间 t 变化的规律为 $s = bt - \frac{1}{2}ct^2$

(SI), 式中 b 、 c 为大于零的常数, 且 $b^2 >$

Rc. 求:

- (1) 该质点的切向加速度 a_t 和法向加速度 a_n .
- (2) 什么时刻该质点的 $a_t = a_n$?

【解】 (1) $v = \frac{ds}{dt} = b - ct$

切向加速度

$$a_t = \frac{dv}{dt} = -c$$

法向加速度

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{(b-ct)^2}{R}$$

(2) 若 $a_t = a_n$ 有

$$c = \frac{(b-ct)^2}{R}$$

解得

$$t = \frac{b}{c} \pm \sqrt{\frac{R}{c}} \text{ (s)}$$

1-3 一质点沿半径为 R 的圆周轨迹运动(补充题 1-3 图), 任意时刻走过路程与 t 的关系为 $s = v_0 t - \frac{1}{2}bt^2$, 这里 v_0 和 b 均为常量. 求: (1) 任意时刻质点的加速度; (2) t 为何值时, 质点的加速度大小为 b .

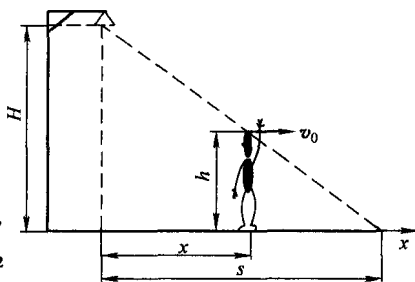
【解】 (1) $v_t = \frac{ds}{dt} = v_0 - bt$

$$a_t = \frac{dv_t}{dt} = -b$$

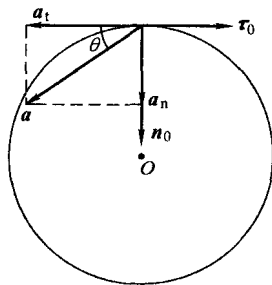
$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{v_t^2}{R} = \frac{(v_0 - bt)^2}{R}$$

所以 $a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = \frac{1}{R} \sqrt{(v_0 - bt)^2 + b^2 R^2}$

$$a = a_t \tau_0 + a_n n_0$$



补充题 1-1 图



补充题 1-3 图

$$\tan\theta = \frac{a_n}{a_t} = \frac{(v_0 - bt)^2}{Rb}$$

即

$$\theta = \arctan \frac{(v_0 - bt)^2}{Rb}$$

(2)

$$a = \frac{1}{R} \sqrt{(v_0 - bt)^2 + b^2 R^2} = b$$

所以

$$(v_0 - bt)^2 = 0$$

$$t = \frac{v_0}{b}$$

1-4 如补充题 1-4 图所示, 轮船 B 在江面上相对于岸边向东行驶, 其速度大小为 25km/h, 该船上观察者看到一小船 A 以相对于轮船的速度为 40km/h, 向北行驶, 试求岸上观察者观察到小船 A 的速度是多少?

【解】 $v = v_0 + v' = (25i + 40j)$ km/h

则 $v = \sqrt{25^2 + 40^2}$ km/h = 47.2 km/h

$$\tan\theta = \frac{v'}{v_0} = \frac{40}{25} = 1.6$$

所以

$$\theta = 58^\circ$$

1-5 一物体以速度 v_0 开始下落, 该物体可视为质点, 其加速度与速度关系为 $a = A - Bv$, 这里 A 、 B 为常量. 从物体开始下落时开始计时, 并设开始下落点为坐标原点. 求物体运动方程.

【解】 物体下落为一维运动, $t=0$ 时, $x=0$, $v=v_0$.

$$a = A - Bv = \frac{dv}{dt}$$

$$\int_{v_0}^v \frac{dv}{A - Bv} = \int_0^t dt$$

则

$$v = \frac{A}{B} - \frac{A - Bv_0}{B} e^{-Bt}$$

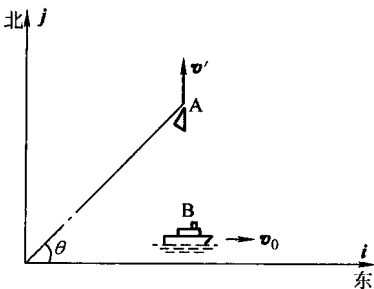
又

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{A}{B} - \frac{A - Bv_0}{B} e^{-Bt}$$

$$\int_{x_0}^x dx = \int_0^t \left(\frac{A}{B} - \frac{A - Bv_0}{B} e^{-Bt} \right) dt$$

所以

$$x = x_0 + \frac{At}{B} + \frac{A - Bv_0}{B^2} e^{-Bt} - \frac{A - Bv_0}{B^2}$$

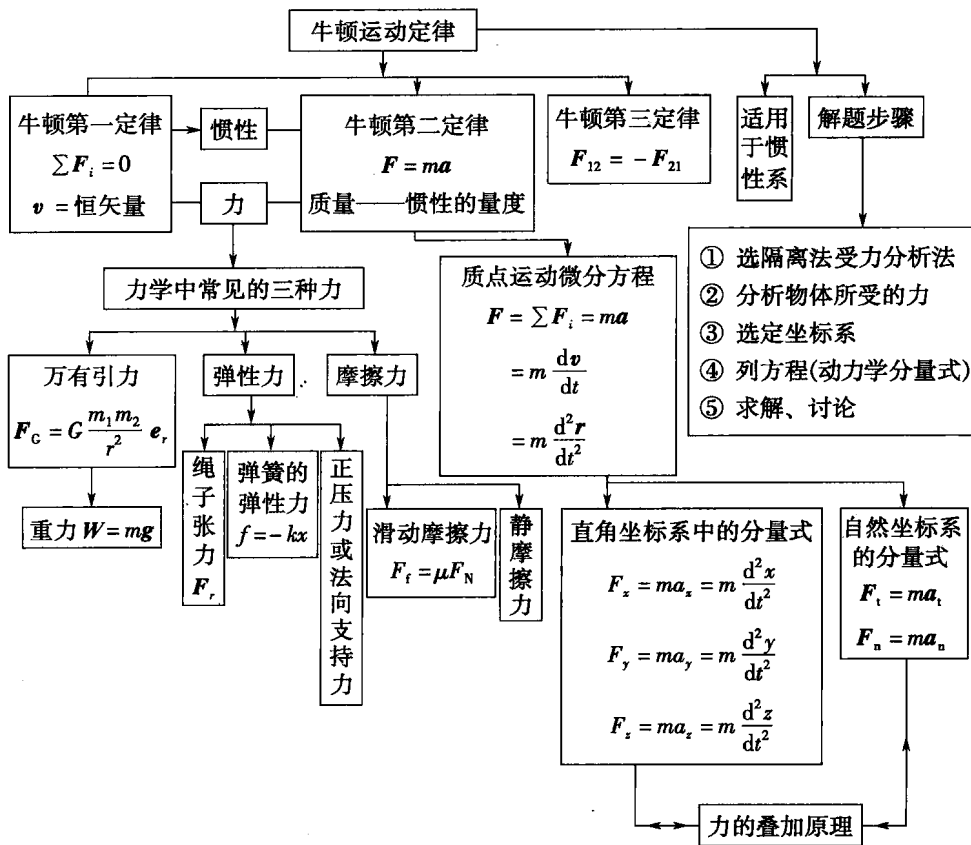


补充题 1-4 图

第二章 质点动力学

一、主要内容框图及教学基本要求

1. 牛顿运动定律主要内容框图



2. 牛顿运动定律教学基本要求

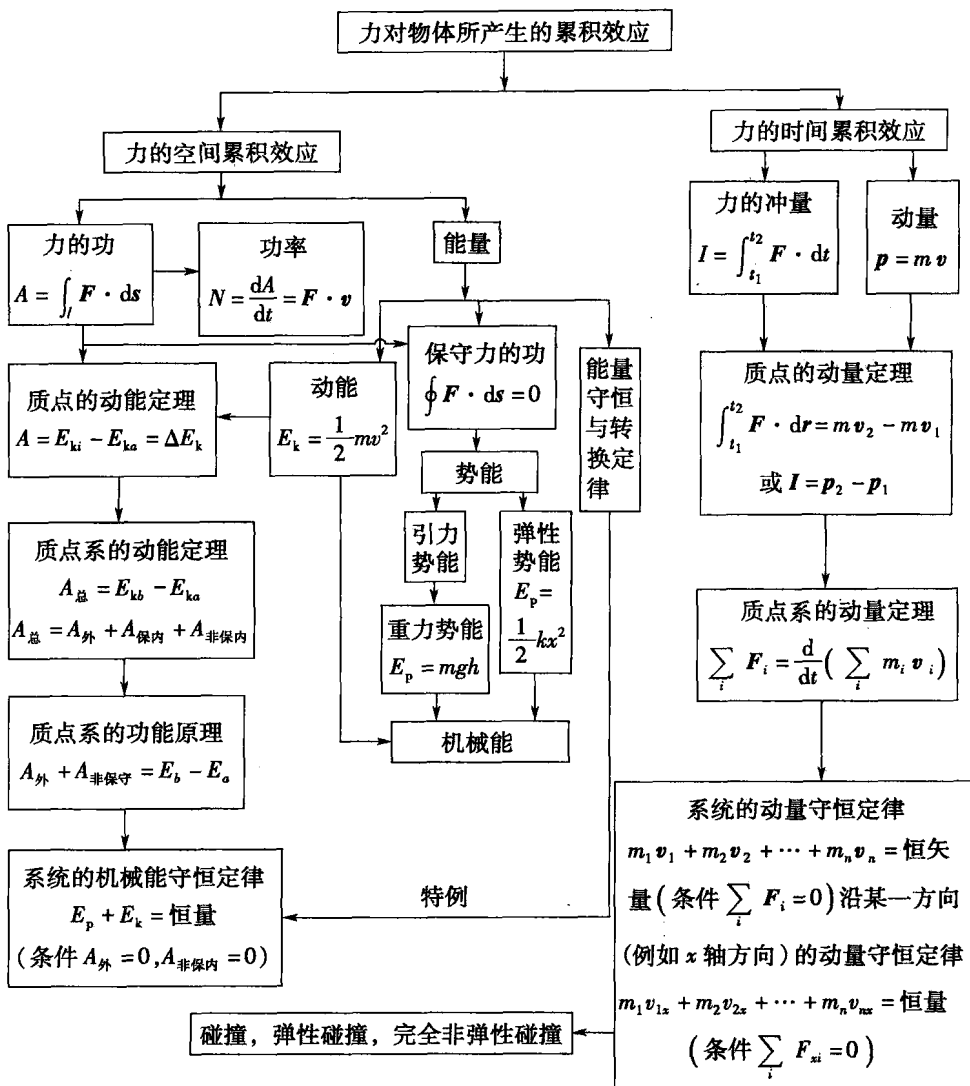
(1) 理解牛顿运动定律的内容及其物理意义，掌握应用牛顿定律求解质点动力学问题的基本思路及方法。

(2) 明确力、质量、惯性和惯性系等概念。

(3) 理解万有引力(包括重力)、弹性力和摩擦力的特点和性质，并能运用

隔离法正确分析物体的受力情况.

3. 力对物体所产生的累积效应主要内容框图



4. 力对物体所产生的累积效应教学基本要求

- (1) 理解功和功率的物理意义，掌握变力做功的计算方法。
- (2) 领会保守力做功的特点，理解动能和势能的概念，并掌握它们的计算方法。
- (3) 掌握动能定理、功能原理和机械能守恒定律及其守恒条件，并能应用这些规律求解相关的力学问题。