"十三五"江苏省高等学校重点教材

大学物理学学习指导

(第3版)

孙厚谦　高　虹　俞晓明　编

清华大学出版社

大学物理学学习指导

（第3版）

孙厚谦　高　虹　俞晓明　编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是与教材《大学物理学》(第3版)(清华大学出版社，主编 孙厚谦等)配套的学习参考书。全书按教材篇章次序分为力学、电磁学、热学、振动与波动(包括机械振动、机械波、几何光学和波动光学)、近代物理基础(包括狭义相对论基础和量子物理基础)共14章。各章均由基本要求、知识框架、内容提要、问题解答和自测题等五部分组成，并附有自测题参考解答，供学习者对学习效果进行自我检测。

本书可作为高等学校非物理专业学生的辅导书或自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学学习指导/孙厚谦，高虹，俞晓明编. —3版. —北京：清华大学出版社，2019(2019.8重印)
ISBN 978-7-302-52583-7

Ⅰ. ①大…　Ⅱ. ①孙…　②高…　③俞…　Ⅲ. ①物理学—高等学校—教学参考资料　Ⅳ. ①O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第042405号

责任编辑：朱红莲
封面设计：傅瑞学
责任校对：王淑云
责任印制：宋　林

出版发行：清华大学出版社
网　　址：http://www.tup.com.cn，http://www.wqbook.com
地　　址：北京清华大学学研大厦A座　　邮　　编：100084
社 总 机：010-62770175　　邮　　购：010-62786544
投稿与读者服务：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn
质量反馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn
印 装 者：三河市铭诚印务有限公司
经　　销：全国新华书店
开　　本：185mm×260mm　　印　　张：19　　字　　数：462千字
版　　次：2009年4月第1版　2019年3月第3版　　印　　次：2019年8月第2次印刷
定　　价：48.00元

产品编号：083173-02

前言

为了帮助读者更好地掌握教材的主要内容，我们编写了这本学习指导。

全书按教材篇章次序，分为力学、电磁学、热学、振动与波动（包括机械振动、机械波、几何光学和波动光学）、近代物理基础（包括狭义相对论基础和量子物理基础）共 14 章。各章均由基本要求、知识框架、内容提要、问题解答和自测题等五部分组成，并附有自测题参考解答。

基本要求 按掌握、理解、了解三个层次向读者指明在该章中要学习的主要内容，可以成为读者判断该章内容的主与次、重点与一般的依据。

知识框架 给出本章的知识体系与脉络。

内容提要 列出本章的基本内容，有的地方进行了归纳、对比。

问题解答 在教材中，在一个主要知识点或基本计算方法讲授后，从掌握基本公式、领悟物理思想、抓住解题要点、熟悉解题元素（如常见研究对象的物理量表示、解题时积分元等）、把握知识体系、综合应用和引申知识等角度，设计了一些问题。对这些问题的分析与解答，一方面比较全面地解读课程的基本内容，帮助学生完成学习任务；另一方面，不限于大纲要求和教材内容，专题式、拓展式地讨论某些问题，引导对物理有兴趣的学生学习更多的物理知识。

自测题 供读者自行检测学习效果。对计算题进行了比较详细的解答，同时对部分选择题、填空题的求解加以提示。在编写自测题时，注意与中学物理课程的衔接，避免不必要的重复。

对本书的编写，编者不满足于对教材进行简单的提炼和总结，而是力求将多年的教学经验和体会尽可能地融入其中。

本书初版时，我校俞晓明、刘雨龙、史友进、郝玉华等老师帮助收集了部分问题和自测题。

由于编者水平有限，不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编　者

2018 年 12 月

目录

第一篇　力　　学

第二篇 电 磁 学

第三篇 热 学

第四篇 振动与波动

第五篇 近代物理基础

第一篇

力学

第1章 质点运动学

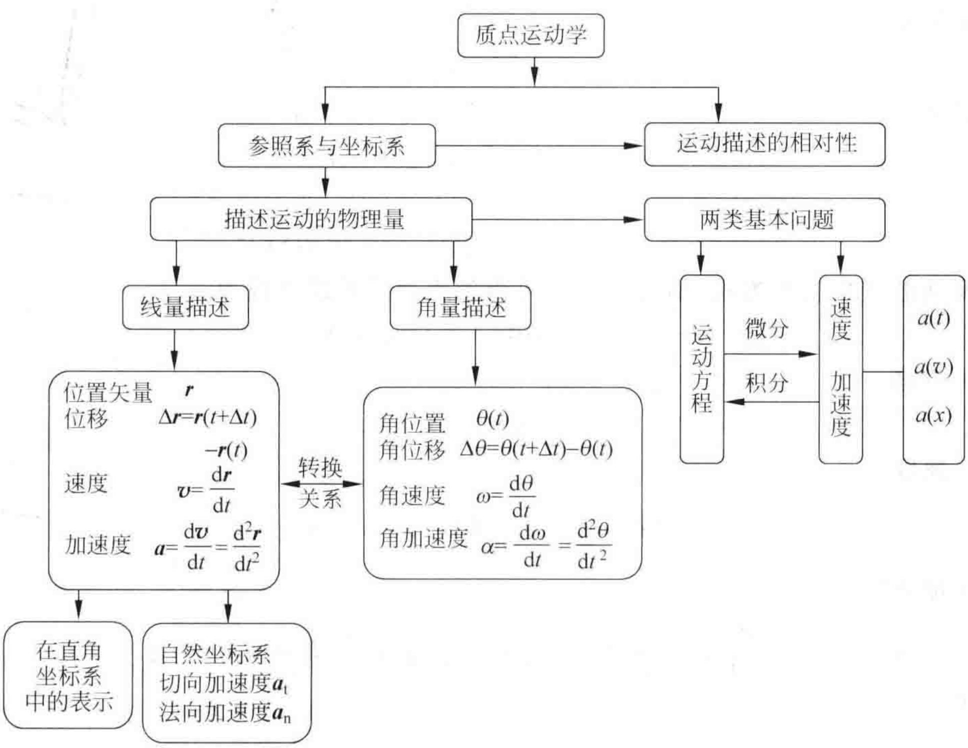
1.1 基本要求

1. 深刻理解描述质点运动及运动变化的基本物理量：位置矢量 $\boldsymbol{r}$、位移 $\Delta\boldsymbol{r}$、速度 $\boldsymbol{v}$ 和加速度 $\boldsymbol{a}$ 等，掌握它们的矢量定义；理解速度、加速度的瞬时性；掌握它们在直角坐标系中、自然坐标系中的表示；掌握质点作圆周运动时的角量描述以及角量与线量之间的关系。

2. 理解运动方程的概念，熟练掌握用微积分的方法处理质点运动学的两类基本问题。

3. 了解质点在两互相作平动的参照系中的位移、速度之间的变换关系。

1.2 知识框架



1.3 内 容 提 要

1. 位矢、位移、速度和加速度的矢量表示(定义)

(1) 位置矢量(位矢) $\boldsymbol{r}$。描述质点在空间位置的变化。

运动方程。质点位置随时间的变化关系。

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

(2) 位移 $\Delta\boldsymbol{r}$。描述质点位置的改变情况。

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

路程 Δs。质点在某一运动过程中在空间所经历的轨迹的长度。

(3) 速度 $\boldsymbol{v}$。描述质点运动快慢和方向。

$$\boldsymbol{v}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$$

速率 v。与速度相联系的物理量,其等于速度的大小。

$$v=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta s}{\Delta t}=\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}=\left|\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}\right|$$

(4) 加速度 $\boldsymbol{a}$。描述质点速度变化情况

$$\boldsymbol{a}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\boldsymbol{v}}{\Delta t}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2}$$

2. 位矢、位移、速度和加速度的直角坐标表示

(1) 位矢

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

运动方程

$$\boldsymbol{r}(t)=x(t)\boldsymbol{i}+y(t)\boldsymbol{j}+z(t)\boldsymbol{k}$$

或

$$x=x(t),\quad y=y(t),\quad z=z(t)$$

上式也称为轨迹的**参数方程**,消去时间 t,可得到质点的**轨迹方程**为

$$f_1(x,y,z)=0,\quad f_2(x,y,z)=0$$

(2) 位移

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

(3) 速度

$$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k}=v_x\boldsymbol{i}+v_y\boldsymbol{j}+v_z\boldsymbol{k}$$

(4) 加速度

$$\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k}=\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}^2z}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{k}=a_x\boldsymbol{i}+a_y\boldsymbol{j}+a_z\boldsymbol{k}$$

注 描述质点运动及运动变化的基本物理量：位置矢量 $\boldsymbol{r}$、位移 $\Delta\boldsymbol{r}$、速度 $\boldsymbol{v}$ 和加速度 $\boldsymbol{a}$ 都是矢量，在具体计算中，一般都要在合适的坐标系中进行。这是大学物理和中学物理处理问题的主要区别之一。直角坐标系是最常用的坐标系，熟练地在直角坐标系中写出它们的矢量表达式是最基本的训练。

3. 曲线运动中的速度和加速度

(1) 自然坐标系。坐标轴的定义：某一点的切向坐标轴通过该点沿轨迹的切线方向并指向质点前进的一侧，该方向的单位矢量用 $\boldsymbol{e}_t$ 表示；法向坐标轴通过该点沿轨迹的法线方向并指向曲线的凹侧，该方向的单位矢量用 $\boldsymbol{e}_n$ 表示。

(2) 速度

$$\boldsymbol{v} = v\boldsymbol{e}_t = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{e}_t$$

(3) 加速度

$$\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}_t + \boldsymbol{a}_n = a_t\boldsymbol{e}_t + a_n\boldsymbol{e}_n = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{e}_t + \frac{v^2}{\rho}\boldsymbol{e}_n$$

加速度的大小

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = \sqrt{\left(\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{\rho}\right)^2}$$

式中的 ρ 是轨迹曲线的曲率半径，如果是圆周运动，则为圆的半径。

方向用 $\boldsymbol{a}$ 与 $\boldsymbol{e}_t$ 的夹角 θ 来表示

$$\tan\theta = \frac{a_n}{a_t}$$

(4) 圆周运动的角量表示

① 角坐标

$$\theta$$

② 角速度

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

③ 角加速度

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

④ 角量与线量的关系

$$v = R\omega$$

$$a_t = R\alpha \quad a_n = v\omega = R\omega^2$$

4. 运动学的两类基本问题

(1) 由质点的运动方程，用求导数的方法求出质点的速度和加速度。

(2) 已知加速度函数及初始条件($t=0$ 时质点的位置、速度)，或已知速度函数和初始条件($t=0$ 时质点的位置)，求质点的运动方程。这类问题主要应用积分的方法加以求解。

注 处理运动学的两类基本问题，需要运用高等数学的微积分知识，这是大学物理和中学物理的另一主要区别。同时其中的第二类是本章的难点。在教材1.4节中以直线运动为例讨论了 $a=a(t)$，$a=a(v)$ 和 $a=a(x)$ 等三种情况。最关键的步骤是分离变量，得到正确的积分表达式。

5. 相对运动

设有两个参照系，一个为 K 系(即 $Oxyz$ 坐标系)，另一个为 K' 系(即 $O'x'y'z'$ 坐标系)。K' 系沿 Ox 轴以速度 $\boldsymbol{u}$ 相对 K 系做平动。开始时(即 $t=0$)这两个参照系相重合，同一质点在两参照系中的位矢、速度之间的变换关系为

$$\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_O+\boldsymbol{r}'$$
$$\boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}'+\boldsymbol{u}$$

1.4 问题解答

问题 1-1 质点作曲线运动(不包括直线运动)，在时刻 t，质点的位矢为 $\boldsymbol{r}$，速度为 $\boldsymbol{v}$，速率为 v，$t\sim t+\Delta t$ 时间内的位移为 $\Delta\boldsymbol{r}$，路程为 Δs，位矢的大小的变化量为 Δr(或记为 $\Delta|\boldsymbol{r}|$)，平均速度为 $\overline{\boldsymbol{v}}$，平均速率为 $\overline{v}$。

(1) 根据题意，必定有(B)。

(A) $|\Delta\boldsymbol{r}|=\Delta s=\Delta r$

(B) $\Delta s>|\Delta\boldsymbol{r}|\geqslant\Delta r$，当 $\Delta t\to0$ 时，$|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|=\mathrm{d}s$

(C) $\Delta s>|\Delta\boldsymbol{r}|\geqslant\Delta r$，当 $\Delta t\to0$ 时，$|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|=\mathrm{d}r$

(D) $\Delta s>|\Delta\boldsymbol{r}|\geqslant\Delta r$，当 $\Delta t\to0$ 时，$\mathrm{d}s=\mathrm{d}r$

答 正确回答该题的关键是明确有关量的定义。

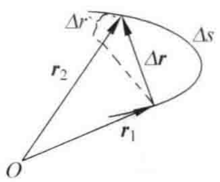
一、Δs、$|\Delta\boldsymbol{r}|$、Δr 的关系

1. 一般曲线运动中 Δs、$|\Delta\boldsymbol{r}|$、Δr 的关系。

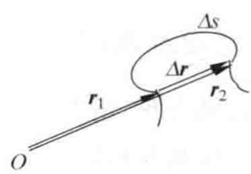
这三个量都与有限时间间隔相联系。如问题1-1解用图1所示，$|\Delta\boldsymbol{r}|=|\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_1|$ 是位矢的增量(即位移)的模，$\Delta r=|\boldsymbol{r}_2|-|\boldsymbol{r}_1|$ 是位矢的模的增量，Δs 是一段时间内所经历的路程。质点作曲线运动，显然 $\Delta s>|\Delta\boldsymbol{r}|$。在一般情况下，$|\boldsymbol{r}_1|$、$|\boldsymbol{r}_2|$、$|\Delta\boldsymbol{r}|$ 构成三角形，$\Delta r=|\boldsymbol{r}_2|-|\boldsymbol{r}_1|$ 是三角形两边之差，其必然小于第三边 $|\Delta\boldsymbol{r}|$，而且 Δr 可以小于零，所以 $\Delta s>|\Delta\boldsymbol{r}|>\Delta r$。

2. 几种特殊情况中 Δs、$|\Delta\boldsymbol{r}|$、Δr 的关系。

(1) $\Delta s>|\Delta\boldsymbol{r}|=\Delta r$。质点在 $\Delta\boldsymbol{r}$ 内作曲线运动，$\boldsymbol{r}_1$、$\boldsymbol{r}_2$ 同向，并有 $|\boldsymbol{r}_2|\geqslant|\boldsymbol{r}_1|$，如问题1-1解用图2所示。



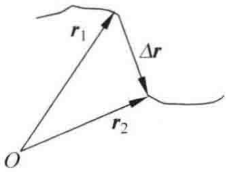
问题1-1解用图1



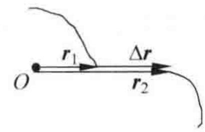
问题1-1解用图2

(2) $\Delta s=|\Delta \boldsymbol{r}|>\Delta r$。在 $\Delta \boldsymbol{r}$ 对应的时间间隔 Δt 内，质点作单向直线运动，$\boldsymbol{r}_1$、$\boldsymbol{r}_2$ 不同向，如问题 1-1 解用图 3 所示。

(3) $\Delta s=|\Delta \boldsymbol{r}|=\Delta r$。$\boldsymbol{r}_1$、$\boldsymbol{r}_2$ 同向，质点沿 $\boldsymbol{r}_1$ 方向作单向直线运动，如问题 1-1 解用图 4 所示。



问题 1-1 解用图 3



问题 1-1 解用图 4

题中排除了直线运动，即排除了(2)和(3)，所以 $\Delta s>|\Delta \boldsymbol{r}|\geqslant \Delta r$。

可以看出，(1)和(3)对参考点 O 的选择加以限制，即参考点 O 的选择要使 $\boldsymbol{r}$、$\boldsymbol{r}_2$ 同向，并有 $|\boldsymbol{r}_2|\geqslant|\boldsymbol{r}_1|$。通过重新选择参考点 O，可以使(2)的情形变成(3)的情形。

二、ds、|dr|、dr 的关系

当 $\Delta t\to 0$ 时，$|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|=\mathrm{d}s$，这是高等数学中计算曲线弧长的基本方法，无穷小弧长用对应的弦长(即为对应的切线长)代替。同时 $\mathrm{d}r$ 必小于 $|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|$、$\mathrm{d}s$。

综上可知，选项 B 正确。

(2) 根据题意，必定有(C)。

(A) $|\boldsymbol{v}|=v, |\overline{\boldsymbol{v}}|=\overline{v}$　　(B) $|\boldsymbol{v}|\neq v, |\overline{\boldsymbol{v}}|\neq\overline{v}$

(C) $|\boldsymbol{v}|=v, |\overline{\boldsymbol{v}}|\neq\overline{v}$　　(D) $|\boldsymbol{v}|\neq v, |\overline{\boldsymbol{v}}|=\overline{v}$

答　$|\boldsymbol{v}|=\left|\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}\right|$ 为 $\boldsymbol{v}$ 的大小，$v=\dfrac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$ 为速率，由 $|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|=\mathrm{d}s$，知两者恒相等；$|\overline{\boldsymbol{v}}|=\left|\dfrac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}\right|$，$\overline{v}=\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$，由(1)可知对曲线运动两者必不相等。选项 C 正确。

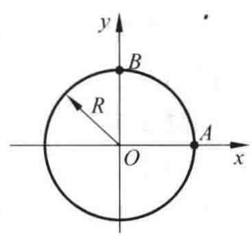
问题 1-2　如问题 1-2 图所示，设质点作半径为 R、周期为 T、逆时针的匀速圆周运动，从点 $A(R,0)$ 运动到点 $B(0,R)$。求该过程中，质点的(1)路程 Δs；(2)位移 $\Delta \boldsymbol{r}$ 的矢量表达式；(3)平均速度 $\overline{\boldsymbol{v}}$ 的矢量表达式；(4)平均速率 $\overline{v}$。如果质点作顺时针的匀速圆周运动，从点 $A(R,0)$ 运动到点 $B(0,R)$，再回答上述问题。

解　(1) $\Delta s=\dfrac{\pi}{2}R$；

(2) $\Delta \boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_B-\boldsymbol{r}_A=R(\boldsymbol{j}-\boldsymbol{i})$；

(3) $\overline{\boldsymbol{v}}=\dfrac{\boldsymbol{r}_B-\boldsymbol{r}_A}{T/4}=\dfrac{4R(\boldsymbol{j}-\boldsymbol{i})}{T}$；

(4) $\overline{v}=\dfrac{\Delta s}{T/4}=\dfrac{2\pi R}{T}$



问题 1-2 图(教材图 1-8)

如果质点作顺时针的匀速圆周运动，则 $\Delta s=\dfrac{3\pi}{2}R$，$\Delta \boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_B-\boldsymbol{r}_A=R(\boldsymbol{j}-\boldsymbol{i})$，　$\overline{\boldsymbol{v}}=\dfrac{\boldsymbol{r}_B-\boldsymbol{r}_A}{\dfrac{3T}{4}}=\dfrac{4R(\boldsymbol{j}-\boldsymbol{i})}{3T}$，　$\overline{v}=\dfrac{2\pi R}{T}$

问题 1-3　作平面运动的质点在某瞬时位矢为 $\boldsymbol{r}=x(t)\boldsymbol{i}+y(t)\boldsymbol{j}$，对其速度大小的表达

式有四种意见

(1) $\dfrac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$；(2) $\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$；(3) $\dfrac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$；(4) $\sqrt{\left(\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\right)^2+\left(\dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\right)^2}$。下列叙述正确的是（ D ）。

(A) 只有(1)、(2)正确　　(B) 只有(2)正确

(C) 只有(2)、(3)正确　　(D) 只有(3)、(4)正确

答 $\dfrac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$表示位矢的模的变化率。在直角坐标系中，$r=|\boldsymbol{r}|=\sqrt{x^2+y^2}$

$$\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}=\frac{x\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}+y\dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}}{\sqrt{x^2+y^2}}=\frac{\boldsymbol{r}\cdot\boldsymbol{v}}{r}=\boldsymbol{v}\cdot\boldsymbol{e}_r$$

$\boldsymbol{e}_r$ 是 $\boldsymbol{r}$ 方向的单位矢量，该式表明$\dfrac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$是速度沿 $\boldsymbol{r}$ 方向的分量，而$\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$是速度，$\dfrac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$是速率，$\sqrt{\left(\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\right)^2+\left(\dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\right)^2}$是速度大小在直角坐标系中的表示。

问题 1-4 质点的运动方程为 $x=bt-ct^2$，b，c 均为正常数，则该质点（ C ）。

(A) 始终作匀加速直线运动

(B) 始终作匀减速直线运动

(C) 先作匀减速直线运动，后作匀加速直线运动

(D) 先作匀加速直线运动，后作匀减速直线运动

答 $v=\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=b-2ct$，$a=\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=-2c$，$t<\dfrac{b}{2c}$，$v>0$，$a<0$，作匀减速直线运动；$t>\dfrac{b}{2c}$，$v<0$，$a<0$，作匀加速直线运动。

问题 1-5 对于教材例 1-4，求：(1)质点作加速运动的时间间隔；(2)平均速度与平均速率在量值上相等的时间间隔。

解 (1) 当 v、a 同号时，质点作加速运动；当 v、a 异号时，质点作加速运动。

由 $a=6(t-1)$，知$[0,1)$时间间隔内，$a<0$，$[1,\infty)$时间间隔内，$a\geqslant 0$；

由 $v=3(t-3)(t+1)$，知$[0,3)$时间间隔内，$v<0$，$[3,\infty)$时间间隔内，$v\geqslant 0$，由此得$[0,1)$时间间隔内，$v<0$，$a<0$，$(3,\infty)$时间间隔内，$v>0$，$a>0$，质点作加速运动。

(2) 当在某时间间隔内，速度的符号保持不变，平均速度与平均速率在量值上相等。由(1)可知，在$[0,3)$时间间隔内与$[3,\infty)$时间间隔内，两者量值相等。

问题 1-6 对于质点运动的下列情况，说明其各作什么类型的运动。(1)$a_t\neq 0$，$a_n=0$；(2) $a_t=0$，$a_n\neq 0$；(3) $a_t=0$，$a_n=0$，$v\neq 0$；(4)作圆周运动，$a_t=0$。

答 a_t 反映质点速度大小变化的快慢，a_n 反映质点速度方向变化的快慢。由此可知

(1) 质点作变速直线运动；(2)质点作匀速(率)曲线运动；(3)质点作匀速直线运动；(4)质点作匀速(率)圆周运动。

问题 1-7 质点作曲线运动，对下列表达式，(1)$\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=a$；(2)$\dfrac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}=v$；(3)$\dfrac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}=v$；(4)$\left|\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}\right|=a_t$。下述判断正确的是（ D ）。

(A) 只有(1)、(4)正确　　(B) 只有(2)、(4)正确

(C) 只有(2)正确　　(D) 只有(3)正确

说明 $\frac{dv}{dt}$为切向加速度分量；$\frac{dr}{dt}$的意义在问题 1-3 中已讨论；$\frac{ds}{dt}$为速度的大小(即速率)；$\left|\frac{d\boldsymbol{v}}{dt}\right|$为加速度的大小。

问题 1-8 质点作任意平面曲线运动，其加速度的方向总是指向曲线凹进那一侧，为什么？

答 物体作平面曲线运动时，曲线上每一点都有一个曲率圆，曲率圆的圆心(**曲率中心**)在曲线凹进那一侧。法向加速度的方向总是指向曲率中心，切向加速度沿曲率圆的切线方向，两者的矢量和当然指向曲线的凹侧。

问题 1-9 质点作半径为 R 的圆周运动，速率随时间均匀增大。问 a_t、a_n、a 三者的大小是否都随时间改变？加速度 $\boldsymbol{a}$ 与速度 $\boldsymbol{v}$ 之间的夹角如何随时间改变？

答 速率随时间均匀增大，$a_t=\frac{dv}{dt}$不随时间变化；$a_n=v^2/R$，$a=\sqrt{a_n^2+a_t^2}$，$\boldsymbol{a}$ 与 $\boldsymbol{v}$ 之间的夹角 $\theta=\arctan(a_n/a_t)$，显然三者均随时间增加。

问题 1-10 沿直线运动的物体，其速度与时间成反比，则其加速度与速度的关系是(B)。

(A) 与速度成正比　　(B) 与速度的平方成正比

(C) 与速度成反比　　(D) 与速度的平方成反比

答 由题意 $v=\frac{k}{t}$，$a=\frac{dv}{dt}=-\frac{k}{t^2}=-\frac{1}{k}\left(\frac{k}{t}\right)^2=-\frac{1}{k}v^2$。

问题 1-11 质点沿 x 轴运动，通过坐标 x 时，速度为 $k\sqrt{x}$，k 为正常数，则质点加速度为(C)。

(A) $\frac{k}{2\sqrt{x}}$　　(B) $\frac{1}{2k}$　　(C) $\frac{1}{2}k^2$　　(D) k

答 $a=\frac{dv}{dt}=\frac{dv}{dx}\frac{dx}{dt}=\frac{k}{2\sqrt{x}}v=\frac{k}{2\sqrt{x}}k\sqrt{x}=\frac{1}{2}k^2$。

问题 1-12 质点沿 x 轴运动，加速度 $a=-2v^2$，$t=0$ 时，质点的速度为 v_0，位置为 x_0，则质点的速度随坐标 x 变化的表达式 $v(x)$ 为(B)。

(A) $v=v_0e^{-2x}$　　(B) $v=v_0e^{-2(x-x_0)}$　　(C) $v=v_0e^{2x}$　　(D) $v=v_0e^{2(x-x_0)}$

答

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

即

$$\frac{dv}{v}=-2dx$$

代入初始条件积分

$$\int_{v_0}^{v}\frac{dv}{v}=\int_{x_0}^{x}-2dx$$

得

$$v=v_0e^{-2(x-x_0)}$$

问题 1-13 对教材例 1-13 的抛体运动，(1) 求抛体的轨迹方程并判断是何种曲线；(2) 定义抛体回到 $y=0$ 的点(**落点**)与抛出点 O 间的距离为**射程**，用 H 表示(教材图 1-15)，