

面向21世纪高等理工科重点课程辅导丛书

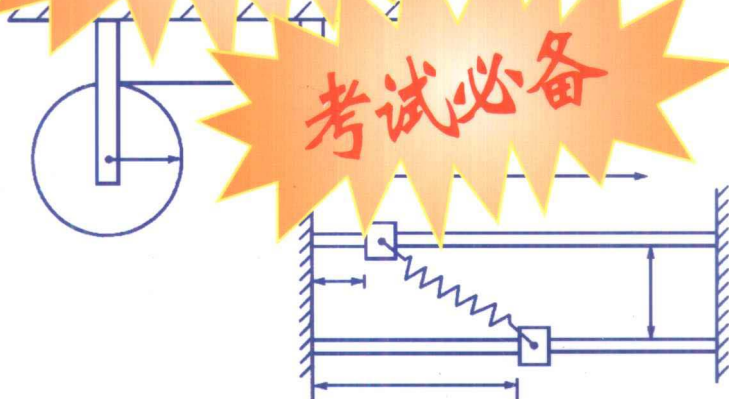
大学物理

学习指导

李长江 等编

复习必读

考试必备



化学工业出版社
教材出版中心



C4
L3/C

面向 21 世纪高等理工科重点课程辅导丛书

大学物理学习指导

李长江 等编



A1032092

化学工业出版社

教材出版中心

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习指导/李长江等编. —北京:化学工业出版社, 2002.10

(面向 21 世纪高等理工科重点课程辅导丛书)

ISBN 7-5025-3913-1

I. 大… II. 李… 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(2002)第 079719 号

面向 21 世纪高等理工科重点课程辅导丛书

大学物理学习指导

李长江 等编

责任编辑:唐旭华

责任校对:郑捷

封面设计:蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话:(010)64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

北京市彩桥印刷厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 10 3/4 字数 290 千字

2002 年 12 月第 1 版 2002 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3913-1/G·1064

定价:18.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

本书是按 1995 年修订的《大学物理课程教学基本要求》编写的一本教学参考书,旨在引导学生通过大学物理课的学习,能够比较全面和系统地认识和正确地理解课程中的基本概念、基本理论和基本方法,并能够使学生具有初步应用的能力。期望能对提高大学物理教学质量起到良好的辅助作用。

本书包括质点运动学、质点动力学、刚体定轴转动、相对论基础、真空中的静电场、静电场中的导体与电介质、稳恒磁场、磁介质、电磁感应、电磁场与电磁波、热力学基础、气体动理论、振动与波动、波动光学和量子物理基础等 15 章。每章分为基本要求、主要内容、例题和练习题 4 部分。提出基本要求有利于学生在学习中条理清晰,抓住要点。在主要内容中简明扼要地介绍了该章的基本概念与原理,定理、定律的表述及数学表示,物理意义及适用条件等。全书共收入 120 道典型例题,均给出了详解,有助于学生深入理解物理概念并应用这些概念分析问题和解决问题。全书共收入由选择题、填空题和计算题组成的 500 道练习题,并给出了参考答案。练习题内容覆盖了大学物理课程的全部要点,各章练习题的数量比例大致与各章的教学时数之比相当,这对学生系统复习和准备考试是有益的。书后附有 6 套模拟试题,供学生自我测评。附录部分给出了物理学常量表和力学、热学、电学、磁学、波动学和近代物理的量的名称、符号和单位,可供学生学习和解题时参考。

本书由李长江、郭长贵、王文科、马彩宜、刘丽敏和林静合作编写。本书是他们长年担任大学物理教学实践经验的总结,较符合实际且较有针对性。

限于编者水平,本书难免错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者
2002 年 8 月

目 录

1 质点运动学	1
1.1 基本要求	1
1.2 主要内容	1
1.3 例题	4
1.4 练习题	7
参考答案	10
2 质点动力学	12
2.1 基本要求	12
2.2 主要内容	12
2.3 例题	16
2.4 练习题	19
参考答案	27
3 刚体定轴转动	29
3.1 基本要求	29
3.2 主要内容	29
3.3 例题	32
3.4 练习题	34
参考答案	39
4 相对论基础	40
4.1 基本要求	40
4.2 主要内容	40
4.3 例题	41
4.4 练习题	45
参考答案	49
5 真空中的静电场	51
5.1 基本要求	51
5.2 主要内容	51

5.3 例题	52
5.4 练习题	68
参考答案	76
6 静电场中的导体与电介质	78
6.1 基本要求	78
6.2 主要内容	78
6.3 例题	79
6.4 练习题	98
参考答案	107
7 稳恒磁场	109
7.1 基本要求	109
7.2 主要内容	109
7.3 例题	112
7.4 练习题	118
参考答案	131
8 磁介质	134
8.1 基本要求	134
8.2 主要内容	134
8.3 例题	135
8.4 练习题	137
参考答案	140
9 电磁感应	141
9.1 基本要求	141
9.2 主要内容	141
9.3 例题	144
9.4 练习题	152
参考答案	166
10 电磁场与电磁波	169
10.1 基本要求	169
10.2 主要内容	169
10.3 例题	172
10.4 练习题	174
参考答案	180

11 热力学基础	181
11.1 基本要求	181
11.2 主要内容	181
11.3 例题	186
11.4 练习题	191
参考答案	199
12 气体动理论	200
12.1 基本要求	200
12.2 主要内容	200
12.3 例题	205
12.4 练习题	211
参考答案	212
13 振动与波动	213
13.1 基本要求	213
13.2 主要内容	213
13.3 例题	221
13.4 练习题	235
参考答案	244
14 波动光学	247
14.1 基本要求	247
14.2 主要内容	248
14.3 例题	256
14.4 练习题	268
参考答案	278
15 量子物理基础	279
15.1 基本要求	279
15.2 主要内容	279
15.3 例题	283
15.4 练习题	289
参考答案	295
大学物理(一)模拟试题 1	297
大学物理(一)模拟试题 2	302
大学物理(一)模拟试题 3	307

大学物理 (二) 模拟试题 1	312
大学物理 (二) 模拟试题 2	316
大学物理 (二) 模拟试题 3	321
模拟试题参考答案	325
附录 A 物理学常量	329
附录 B 物理量和单位	330
B1 力学和热学的量和单位	330
B2 电学和磁学的量和单位	332
B3 波动学和近代物理的量和单位	333

1 质点运动学

1.1 基本要求

(1) 掌握位矢、位移、速度、加速度、角速度和角加速度等描述质点运动和运动变化的物理量。

(2) 能借助于直角坐标系计算质点在平面内运动时的速度、加速度。

(3) 能计算质点作圆周运动时的角速度、角加速度、切向加速度和法向加速度。

1.2 主要内容

1.2.1 质点运动的描述

(1) 基本概念：质点，参考系，坐标系，时间，空间，单位制和量纲。

(2) 基本物理量

位置矢量 $\vec{r}$ 表征一个质点在空间的位置。在直角坐标系中 $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$ 。当质点运动时， $\vec{r}$ 是时间的函数， $\vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$ 是质点的运动方程；而 $x(t)$, $y(t)$ 和 $z(t)$ 则是运动方程的分量式，从中消去参数 t 便得到质点运动的轨迹方程。如图 1.2-1 所示。

位移矢量 $\Delta\vec{r}$ 若质点从 A 点运动到 B 点， $\Delta\vec{r} = \vec{r}_B - \vec{r}_A$ 。

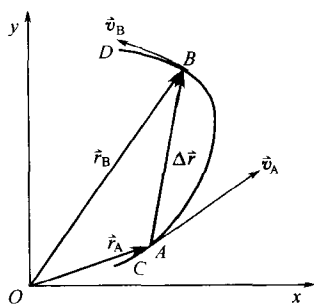


图 1.2-1

速度矢量 $\vec{v}$ 设质点从 A 点到 B 点用时间为 Δt , $\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}$ 。

瞬时速度的数值称为瞬时速率。 $|\vec{v}| = \frac{ds}{dt}$, s 是位置函数。

在直角坐标系中 $\vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j} + v_z \vec{k} = \frac{dx}{dt} \vec{i} + \frac{dy}{dt} \vec{j} + \frac{dz}{dt} \vec{k}$ 。

加速度矢量 $\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$

在直角坐标系中 $\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k} = \frac{d^2 x}{dt^2} \vec{i} + \frac{d^2 y}{dt^2} \vec{j} + \frac{d^2 z}{dt^2} \vec{k}$ 。

(3) 各物理量之间的关系:

位置矢量 (微分 $\rightarrow$) 速度矢量 $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$ (微分 $\rightarrow$) 加速度矢量 $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$

位置矢量 $\vec{r} = \int \vec{v} dt$ ($\leftarrow$ 积分) 速度矢量 $\vec{v} = \int \vec{a} dt$ ($\leftarrow$ 积分) 加速度矢量

1.2.2 加速度为恒矢量时的质点运动

若 $\vec{a} = \text{常量}$, 由 $\int_{v_0}^v d\vec{v} = \int_{t_0=0}^t \vec{a} dt$ 得 $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$;

由 $\int_{r_0}^r d\vec{r} = \vec{v}_0 \int_{t_0=0}^t dt + \vec{a} \int_{t_0=0}^t t dt$ 得

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2.$$

1.2.3 圆周运动

(1) 圆周运动的角速度 角速度

当质点在圆周上运动时, 矢径 $\vec{r}$ 与 Ox 轴之间的夹角 θ 随时间改变。如图 1.2-2 所示。定义: 角坐标 $\theta(t)$ 随时间的变化率为角速

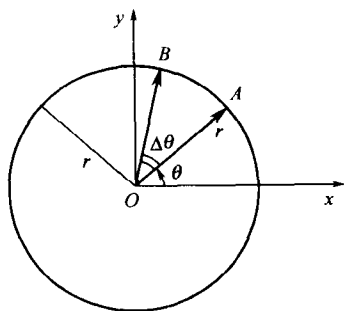


图 1.2-2 质点在平面上作圆周运动

度, 用符号 ω 表示, 有 $\omega = \frac{d\theta}{dt}$ 。角加速度 $\beta = \frac{d\omega}{dt}$ 。

圆周运动的角速度和速率的瞬时关系 $v = r\omega$ 。

(2) 圆周运动的切向加速度和法向加速度

质点在圆周上运动时某点的速度可以写为 $v = v\mathbf{e}_\tau$ 。 $\mathbf{e}_\tau$ 为切向单位矢量。

加速度可以写为 $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{dv}{dt}\mathbf{e}_\tau + v \frac{d\mathbf{e}_\tau}{dt} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$ 。

切向加速度 $\vec{a}_\tau = \frac{dv}{dt}\mathbf{e}_\tau = r \frac{d\omega}{dt}\mathbf{e}_\tau = r\beta\mathbf{e}_\tau$ 。

法向加速度 $\vec{a}_n = v \frac{d\mathbf{e}_\tau}{dt} = v \frac{d\theta}{dt}\mathbf{e}_n = r\omega^2\mathbf{e}_n = \frac{v^2}{r}\mathbf{e}_n$, $\mathbf{e}_n$ 为法向单位矢量。

匀速率圆周运动 $\vec{a} = r\omega^2\mathbf{e}_n$, $\theta = \theta_0 + \omega t$ 。

匀变速圆周运动 $\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n, \beta = \text{常量}$:
$$\begin{cases} \omega = \omega_0 + \beta t \\ \theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\beta t^2 \\ \omega^2 = \omega_0^2 + 2\beta(\theta - \theta_0) \end{cases}$$

(3) 一般曲线运动

当研究曲线运动速度时, 可把曲线运动用一系列的圆位移来逼近。因为在 $\Delta t \rightarrow 0$ 的极限情况下, 圆位移的大小和圆弧的长度是一致的。研究曲线运动加速度时, 把整条曲线用一系列不同半径的小圆弧代替。这样曲线上某一点的加速度可以类似变速圆周运动一样, 分成切向和法向分量

$$a_n = \frac{v^2}{\rho}, \quad a_\tau = \frac{dv}{dt}$$

式中 ρ 为曲线上某点曲率圆的半径叫做曲率半径。

1.2.4 相对运动

实际问题中为使描述问题方便, 常从一个参考系变换到另一参考系。假设参考系 K_2 相对于参考系 K_1 的位矢 $\vec{R}$, 如图 1.2-3 所示。其速度 $\vec{V}$ 和加速度 $\vec{A}$ 分别为

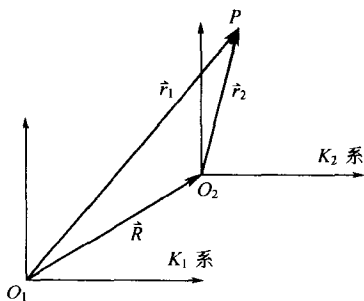


图 1.2-3

$$\vec{V} = \frac{d\vec{R}}{dt}, \quad \vec{A} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{d^2\vec{R}}{dt^2}$$

若 K_1 和 K_2 中坐标轴始终保持平行, 在参考系 K_1 中质点 P 的位矢、速度、加速度分别为 $\vec{r}_1, \vec{v}_1, \vec{a}_1$, 则在参考系 K_2 中其位矢、速度、加速度 $\vec{r}_2, \vec{v}_2, \vec{a}_2$ 分别为

$$\vec{r}_2 = \vec{r}_1 - \vec{R}$$

$$\vec{v}_2 = \frac{d\vec{r}_1}{dt} - \frac{d\vec{R}}{dt} = \vec{v}_1 - \vec{V}$$

$$\vec{a}_2 = \frac{d\vec{v}_1}{dt} - \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{a}_1 - \vec{A}$$

这是经典力学的变换式, 它们建立在“绝对时空”观念之上。在相对论理论中, 它们将为洛伦兹变换所代替。

1.3 例题

(1) 画出下列情形的 $s-t$, $v-t$, $a-t$ 图。

① 悬挂重物的绳子突然被剪断后重物的运动。

② 从一层上升到 120m 到达 29 层电梯的运动。

③ 在水平面内匀速旋转的唱盘边缘立一小柱, 在水平平行光从旁照射下小柱在墙上投影的运动。

解 见图 1.3-1 所示。

在图 1.3-1 (a) 中, s 以重物初始位置为坐标原点, v, a 朝下为正, $t = t_0$ 时绳被剪断。

在图 1.3-1 (b) 中, s 以电梯在一层为坐标原点, v, a 朝上为正。当电梯静止和作匀速运动时, 乘客没有异样感觉 (图中 I, III, V 阶段)。当电梯加速上升时, 乘客有超重的感觉 (图中阶段 II)。当电梯减速时, 乘客有失重的感觉 (阶段 IV)。

在图 1.3-1(c) 中, 小柱转到与 O 点在墙上投影点重合时, $|v|$

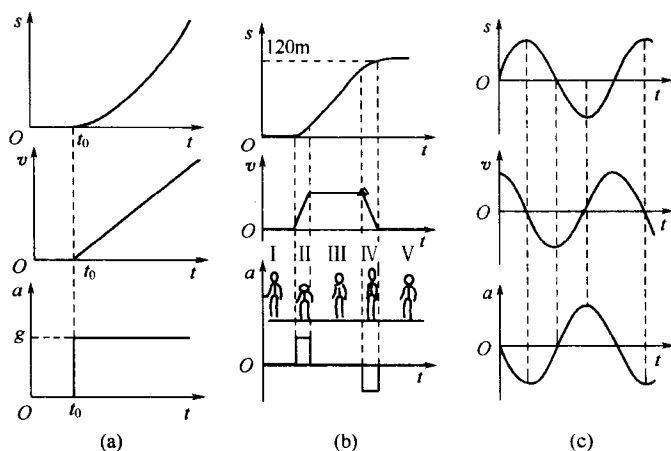


图 1.3-1

最大,而 $a=0$;在两端处 $v=0$,而 $|a|$ 最大,但 a 正负与 s 相反。

通过图示表示质点的运动状态,可以很直观地看清运动过程,这是在描述运动中常采用的一种方法。

(2) 在离水面高为 h 的岸边一人用绳拉船靠岸,人收绳的速度为恒值 v_0 ,试求船距岸边为 x 时的速度及加速度。

解 建立坐标如图 1.3-2 (a) 所示,小船沿 X 轴做直线运动。由几何关系有

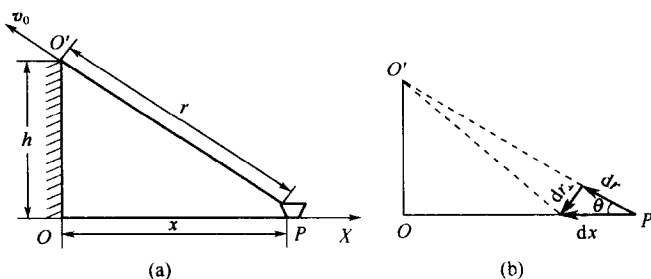


图 1.3-2

$x(t) = \sqrt{r(t)^2 - h^2}$, 由速度的定义式有

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{r(t)}{\sqrt{r(t)^2 - h^2}} \frac{dr(t)}{dt} = -\frac{\sqrt{x^2 + h^2}}{x} v_0$$

式中 $\frac{dr(t)}{dt} = -v_0$ ，负号表示船速与 X 轴正向相反，即向岸驶去。

由上式结果可知，船速与 x 有关，做变速运动。

$$a = \frac{dv}{dt} \quad \text{得出} \quad a = -\frac{h^2 v_0^2}{x^3}, \quad \text{负号表示加速度与 } X \text{ 轴正向相反。}$$

注 此题求解时，一种常见的错误是把船速视为收绳速度的一个分量，得出

$$v = -v_0 \cos \theta = -\frac{x}{\sqrt{x^2 + h^2}} v_0$$

这种算法错误在于，盲目运用矢量分解。由图 1.3-2 (b) 可知：当船发生一元位移 dx 时，绳长变化量 $dr = dx \cos \theta$ 。 dx 为船的总位移，而 dr 只是一个分位移，另一个是分位移 $dr_{\perp}$ 。可见“船速的投影就是绳速”是正确的，而“绳速的投影是船速”则是错误的。

(3) 已知质点的运动方程 $x = -R \sin \omega t, y = R(1 - \cos \omega t)$ 。式中 R, ω 为常量，试问质点做什么运动？并求速度和加速度。

解 由运动方程消去 t 可得轨道方程为 $x^2 + (y - R)^2 = R^2$ 说明质点以 R 为半径，做圆周运动，圆周的中心在 $(0, R)$ 点上。

由速度定义： $v_x = \frac{dx}{dt} = -R\omega \cos \omega t, v_y = \frac{dy}{dt} = R\omega \sin \omega t$ 有 $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = R\omega$ ，可见 v 为恒量，质点做匀速圆周运动，绕圆心的加速度

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = R\omega^2 \sin \omega t, \quad a_y = \frac{dv_y}{dt} = R\omega^2 \cos \omega t$$

有 $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = R\omega^2 = a_n$ ，而 $a_t = 0$ 。这结果正符合角量与线量间的关系。

(4) 如图 1.3-3 所示，两船 A 和 B 各以速度 $\vec{v}_A$ 和 $\vec{v}_B$ 行驶，它们会不会相碰？

解 选 A 船为参考系。B 船相对于 A 船的速度 $\vec{V} = \vec{v}_B - \vec{v}_A$ ，

见图 1.3-3 (a)。从 B 引一平行于 $\vec{V}$ 方向的直线，见图 1.3-3 (b)，它不与 A 相交，这表明两船不会相碰。图中 B_1, B_2 等位置为 B 船运动中相对于 A 船的位置。若由 A 作此直线的垂线 AN，其长度就是两船相靠最近的距离。

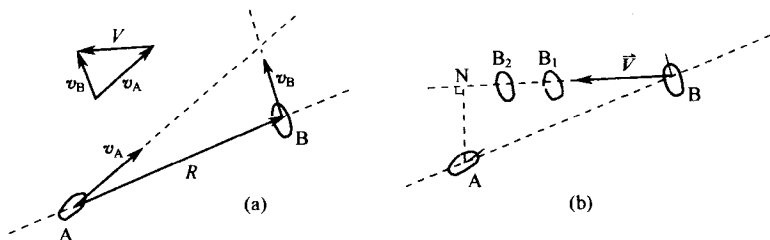


图 1.3-3

此题若用水面作参考系，答案是不容易看清楚。而以 A 为参考系，结论一目了然。

(5) 一质点沿 x 轴运动，某加速度为 a 与位置坐标 x 的关系为 $a = 2 + 6x^2$ (SI)，如果质点在原点处的速度为零，试求其在任意位置的速度。

解 因为 $a = \frac{dv}{dt}$ ，条件为 $x=0$ 时 $v=0$ ， $a = 2 + 6x^2$ ， a 是 x 的函数。

所以在 $a = \frac{dv}{dt}$ 中引入 x 参变量， $a = \frac{dv}{dt} \cdot \frac{dx}{dx} = \frac{dx}{dt} \cdot \frac{dv}{dx} = v \frac{dv}{dx}$

$$v \frac{dv}{dx} = 2 + 6x^2, \int_0^v v dv = \int_0^x (2 + 6x^2) dx$$

$$\text{所以 } \frac{1}{2} v^2 = 2x + 2x^3, v = 2\sqrt{x(1+x^2)}$$

由结果说明：质点在 x 轴正方向上运动。当 $x < 0$ 时， v 没有意义。

1.4 练习题

1.4.1 选择题

(1) 一质点在平面上作一般曲线运动，其瞬时速度为 $\vec{v}$ ，瞬时

速率为 v ，某一段时间内的平均速度为 $\bar{\vec{v}}$ ，平均速率为 $\bar{v}$ ，它们之间的关系必定有（ ）。

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

(2) 一质点在做匀速率圆周运动时（ ）。

- (A) 切向加速度改变，法向加速度也改变；
 (B) 切向加速度不变，法向加速度改变；
 (C) 切向加速度不变，法向加速度也不变；
 (D) 切向加速度改变，法向加速度不变。

(3) 如图 1.3-2 所示，湖中有一小船，有人用绳绕过岸上一定高度处的定滑轮拉湖中的船向岸边运动。该人以匀速率 v_0 收绳，绳不伸长、湖水静止，则小船的运动是（ ）。

- (A) 匀加速运动； (B) 匀减速运动；
 (C) 变加速运动； (D) 变减速运动；
 (E) 匀速直线运动。

(4) 质点作曲线运动， $\vec{r}$ 表示位置矢量， s 表示路程， a_τ 表示切向加速度，下列表达式中（ ）。

- ① $\frac{dv}{dt} = a$; ② $\frac{dr}{dt} = v$; ③ $\frac{ds}{dt} = v$; ④ $\left| \frac{d\vec{v}}{dt} \right| = a_\tau$ 。
 (A) 只有①，④是对的； (B) 只有②，④是对的；
 (C) 只有②是对的； (D) 只有③是对的。

(5) 某物体的运动规律为 $\frac{dv}{dt} = -kv^2t$ ，式中的 k 为大于零的常数。当 $t=0$ 时，初速为 v_0 ，则速度 v 与时间 t 的函数关系是（ ）。

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

(6) 下列说法哪一条正确？（ ）

- (A) 加速度恒定不变时, 物体运动方向也不变;
 (B) 平均速率等于平均速度的大小;
 (C) 不管加速度如何, 平均速率表达式总可以写成 $\bar{v} = (v_1 + v_2)/2$;
 (D) 运动物体速率不变时, 速度可以变化。
- (7) 下列说法中, 哪一个是正确的? ()
- (A) 一质点在某时刻的瞬时速度是 2m/s , 说明它在此后 1s 内一定要经过 2m 的路程;
 (B) 斜向上抛的物体, 在最高点处的速度最小, 加速度最大;
 (C) 物体作曲线运动时, 有可能在某时刻的法向加速度为零;
 (D) 物体加速度越大, 则速度越大。

1.4.2 填空题

(1) 一飞轮作匀减速转动, 在 5s 内角速度由 $40\pi\text{rad/s}$ 减到 $10\pi\text{rad/s}$, 则飞轮在这 5s 内总共转过了 _____ 圈, 飞轮再经 _____ 的时间才能停止转动。

(2) 半径为 30cm 的飞轮, 从静止开始以 $0.50\text{rad}\cdot\text{s}^{-2}$ 的匀角加速度转动, 则飞轮边缘上一点在飞轮转过 240° 时的切向加速度 $a_\tau =$ _____, 法向加速度 $a_n =$ _____。

(3) 灯距地面高度为 h_1 , 一个人身高为 h_2 , 在灯下以匀速率 v 沿水平直线行走, 如图 1.4-1 所示。则他的头顶在地上的影子 M 点沿地面移动的速度大小 $v_M =$ _____。

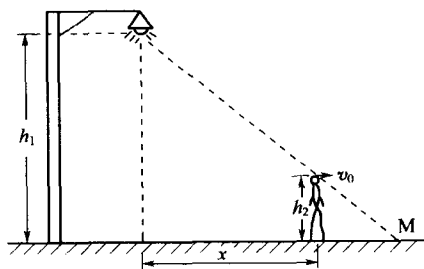


图 1.4-1