21 世纪高等学校教材

大学物理学习指导

戴　兵　主编

高　景　主审

上 海 交 通 大 学 出 版 社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内 容 提 要

本书根据21世纪高等学校教材《大学物理学》(上、下册)的主要内容,结合大批资深教师的长期教学经验编写而成。

全书分为三个部分。第一部分按教材篇章次序编写,每章由“目的与要求”、“内容提要”、“疑难点分析与问题讨论”及“例题选解”组成;第二部分为14套练习题;第三部分为4套模拟测试题。书后附有练习题和模拟测试题答案。

本书内容由浅入深,难度适宜,重点突出。

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

大学物理学习指导/戴兵主编. —上海:上海交通大学出版社,2006

21世纪高等学校教材

ISBN 7-313-04173-X

Ⅰ.大... Ⅱ.戴... 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(2006)第002843号

大学物理学习指导

戴 兵 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路877号 邮政编码200030)

电话:64071208 出版人:张天蔚

常熟市文化印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×960mm 1/16 印张:18 字数:336千字

2006年2月第1版 2006年2月第1次印刷

印数:1—7050

ISBN 7-313-04173-X/O·193 定价:25.00元

版权所有 侵权必究

21 世纪高等学校教材
编审委员会

顾　　问：韩正之

执行主任：百　文

副 主 任：胡敬群　高　景　靳全勤　张华隆
蒋凤瑛　冯　颖　普杰信　程全洲
潘群娜　杨裕根　徐祖茂　曹天守
宓一鸣　姜献峰　李　敏　李湘梅
闫洪亮　陈树平　包奇金宝　刘克成
白丽媛　戴　兵　张占山　张红梅

前　言

物理学是高等院校理工科学生的一门重要的基础理论课，在培养学生的科学素质中具有不可替代的作用。

全书分为三个部分。第一部分按教材篇章次序编写，每章由“目的与要求”、“内容提要”、“疑难点分析与问题讨论”及“例题选解”组成；第二部分为 14 套练习题；第三部分为 4 套模拟测试题。书后附有练习题和模拟测试题答案。

在学习物理学的过程中，做习题可以加深对基本概念、基本规律的理解，是一个不可或缺的环节，本书通过对典型例题的求解，帮助学生加强对教学内容的理解，提高学习效果。学生通过所附习题的练习，可以检查自己的学习效果。

本书的编写者都是长期从事大学物理教学的教师，本书是他们多年教学经验的总结。本书由戴兵任主编，孙炳华、成鸣飞、孙越胜任副主编。各章的编写人员分别为：成鸣飞（第 1～5 章）、袁国秋（第 6 章）、孙蕾蕾（第 7 章）、孙越胜（第 8 章）、龚云国（第 9 章）、李保源（第 10 章）、孙炳华（第 11、12、13、16、17 章）、戴兵（第 14、15 章）、曹前（第 18、19、29 章）、卞临斌（第 21、22、23 章）。全书由戴兵、孙炳华统稿。

高景教授百忙中抽空审阅了本书，在此深表感谢。

由于时间和水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

编　者

2005 年 10 月

目　　录

第一部分 …… 1

第一章　质点运动学 …… 1
第二章　质点运动定律 …… 9
第三章　机械能和功 …… 14
第四章　动量和角动量 …… 21
第五章　刚体力学基础 …… 27
第六章　狭义相对论基础 …… 35
第七章　机械振动 …… 43
第八章　机械波 …… 55
第九章　平衡态与分子热运动的统计规律 …… 70
第十章　热力学定律 …… 77
第十一章　静电场 …… 85
第十二章　导体电学 …… 93
第十三章　电介质 …… 98
第十四章　稳恒磁场 …… 103
第十五章　磁介质 …… 111
第十六章　变化的电磁场 …… 114
第十七章　电磁波 …… 122
第十八章　光的干涉 …… 125
第十九章　光的衍射 …… 136
第二十章　光的偏振 …… 144
第二十一章　量子光学基础 …… 149
第二十二章　量子力学基础 …… 155
第二十三章　固体的量子理论 …… 164

第二部分 …… 168

练习题一 …… 168
练习题二 …… 172

需要全本请访问 www.ertongbook.com

练习题三 …… 177
练习题四 …… 181
练习题五 …… 185
练习题六 …… 188
练习题七 …… 192
练习题八 …… 196
练习题九 …… 199
练习题十 …… 204
练习题十一 …… 211
练习题十二 …… 218
练习题十三 …… 222
练习题十四 …… 226

第三部分 …… 230

模拟测试一 …… 230
模拟测试二 …… 234
模拟测试三 …… 238
模拟测试四 …… 243

答案 …… 248

第一部分

第一章　质点运动学

一、目的与要求

（1）了解描述运动的三个必要条件：参考系（坐标系）、物理模型（质点、刚体）、初始条件。

（2）理解描述质点运动的基本物理量：位置矢量、位移、速度、加速度的定义和性质，明确这些物理量的矢量性、相对性和速度、加速度的瞬时性。

（3）掌握质点运动学两类问题：用微分方法由已知的运动学方程求速度、加速度；用积分的方法由已知质点的速度或加速度求质点的运动学方程。

（4）掌握圆周运动的角量表示、角量描述以及角量和线量之间的关系。

（5）理解相对运动的有关概念，并学会应用变换式进行质点相对运动的基本计算。

二、内容提要

1. 描述物体运动的三个条件，学会质点位置确定的方法

（1）参考系：由于自然界物体的运动是绝对的，所以讨论物体的运动情况只能在相对的意义中，这就是参考系的建立。同时，如果要定量描述物体的运动还必须建立坐标系，比较常用的坐标系有笛卡儿坐标系（直角坐标系）、极坐标系、球面坐标系和柱面坐标系等。

（2）物理模型：即理想化的模型，本章主要介绍质点和刚体两个物理模型。

质点：当研究马路上的汽车时，通常不需要将整个汽车画下来，因为汽车上每一点的运动此时均可代表汽车的运动。我们就可以将其简化为一个仅有质量而无大小和形状的点。一般要求满足以下两个条件之一的方可以称为质点：物体作平动，各点具有相同的速度和加速度；或者运动物体的形状、大小与其运动的空间相比可以忽略。

质点组：如果上述两个条件都不满足，此时可以将此物体分成许多小部分，每一部分又足够的小，可以看成一质点，此时物体就变成了许多质点构成的质点组。刚体是各质点元之间无相对位移的质点组。

（3）初始条件：指开始计时时刻物体位置和速度（或角位置、角速度），它会影响下面物体的运动状态。

2. 描述质点运动的基本物理量

（1）位矢和位移（如图 1－1）：

位置矢量：用 r 表示由坐标原点引向质点所在处的有向线段，有

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

其大小为

$$r=|\boldsymbol{r}|=\sqrt{x^2+y^2+z^2},$$

方向为

$$\cos\alpha=\frac{x}{r},\ \cos\beta=\frac{y}{r},\ \cos\gamma=\frac{z}{r}。$$

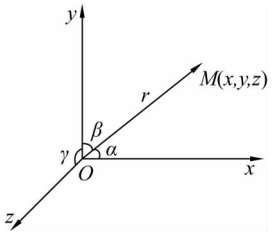


图 1－1

位移 $\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_1$ 是由起点指向终点的有向线段，是一个矢量，只与始末位置有关。而路程是质点在空间运动所经历的轨迹的长度，恒为正，是标量，用 s 表示。位移和路程的区别在于两点间的路程是不唯一的，可以是多种情况，而位移是唯一的，并且在一般情况下，位移大小不等于路程。

运动方程 $\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}(t)$ 表示质点位置随时间变化的情况。

（2）速率和速度：位矢变化的快慢用速度来表示。速度的定义为

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

$$\begin{cases}\text{平均速度} & \overline{\boldsymbol{v}}=\dfrac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t},\\ \text{平均速率} & \overline{v}=\dfrac{\Delta s}{\Delta t}。\end{cases}\qquad\begin{cases}\text{速度} & \boldsymbol{v}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t},\\ \text{速率} & v=\dfrac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}。\end{cases}$$

（3）加速度：为了表示速度变化的快慢，引入加速度的概念，用 a 表示：

$$\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}\,\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2}。$$

在直角坐标系的加速度可表示为

$$\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k}=a_x\boldsymbol{i}+a_y\boldsymbol{j}+a_z\boldsymbol{k}。$$

(4) **运动的独立性原理或运动的叠加原理：任意曲线运动都可以视为沿** xyz **轴的三个独立的直线运动的叠加(矢量加法)。**

3. 质点运动学两类问题

一是由运动方程求质点的各物理量以及运动轨迹，比如给出运动方程，通过消参数来求轨道方程，求导来得到速度和加速度的情况，判断其运动。

二是由某个物理量和初始条件求运动方程。比如给出速度或加速度的方程，以及初始条件，通过积分来求位置矢量的表达式。

4. 圆周运动的角量表示

(1) **平面极坐标系中的径向速度和横向速度：**

$$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(r\boldsymbol{e}_r)=\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{e}_r+r\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{e}_r}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{e}_r+r\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{e}_\theta。$$

加速度的秉性方程： $\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}_\tau+\boldsymbol{a}_\mathrm{n}=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{\tau}+\frac{v^2}{\rho}\boldsymbol{n}$。

(2) **圆周运动的切向加速度：** $a_\mathrm{t}=\mathrm{d}v/\mathrm{d}t$，**反映了速度大小的改变；法向加速度：** $a_\mathrm{n}=v^2/R$，**反映了速度方向的改变。**

(3) **圆周运动的角量表示：**

在前面已经知道描述质点的运动用线量： r、Δr、$\boldsymbol{v}$、$\boldsymbol{a}$。**那么对于圆周运动，对应地引入以下的概念即角量：** θ、$\Delta\theta$、ω、β。

角位置 θ**：质点做圆周运动时的位置用角度来表示，它的单位是弧度(rad)，一般以逆时针转动的** θ **为正，顺时针转动的** θ **为负。**

角位移 $\Delta\theta$**：在** t **时刻，质点在** A **处(**θ_A**)，在** $t+\Delta t$ **时刻，质点到达** B **点(**θ_B**)，所以** $\theta_B=\theta_A+\Delta\theta$**，此时** $\Delta\theta=\theta_B-\theta_A$ **就定义为角位移。**

角速度 ω**：表示圆周运动快慢的物理量，** $\omega=\mathrm{d}\theta/\mathrm{d}t$。

角加速度 β**：表示圆周运动变化快慢的物理量，** $\beta=\mathrm{d}^2\theta/\mathrm{d}t^2=\mathrm{d}\omega/\mathrm{d}t$。

角量表示的运动方程： $\theta=\theta(t)$。

(4) **角量和线量的关系：**

ω **与** v **之间的关系：**

$$v=R\omega，\text{推导如下：}v=\frac{|\,\mathrm{d}r\,|}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}=\frac{R\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}=R\omega；$$

β 与 a 之间的关系：

$$a_{\mathrm{t}}=R\beta\text{，推导如下：}a_{\mathrm{t}}=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=\frac{R\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}=R\beta\text{；}$$

$$a_{\mathrm{n}}=R\omega^{2}\text{，推导如下：}a_{\mathrm{n}}=\frac{v^{2}}{R}=R\omega^{2}\text{。}$$

5. 相对运动的有关概念

（1）质点运动时，在不同的参照系中，看到的效果不同，这里只讨论两个参考系的相对运动是平动，并且是在低速状态之下的相对位移、相对速度和相对加速度的概念。

分别建立两坐标系 K 和 K'，K—$Oxyz$，K'—$O'x'y'z'$，其中 $\boldsymbol{R}$ 是 O' 在 K 系中的位矢。质点 P 在空间运动，在 K 系中的位矢、速度、加速度分别用 $\boldsymbol{r}$、$\boldsymbol{v}$、$\boldsymbol{a}$ 来表示，而在 K' 系中的位矢、速度、加速度分别用 $\boldsymbol{r}'$、$\boldsymbol{v}'$、$\boldsymbol{a}'$ 来表示。当 K' 相对于 K 系以速度 u 沿着 x 轴做平动时，它们之间的关系如下：

$$\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}'+\boldsymbol{R}\text{。}$$

对上式一次求导得 $\boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}'+\boldsymbol{u}$。

对上式二次求导得 $\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}'+\boldsymbol{a}_{0}$，

其中 $\boldsymbol{v}$ 称为绝对速度；$\boldsymbol{v}'$ 称为相对速度；$\boldsymbol{u}$ 称为牵连速度。

（2）在日常解决三个物体的相对运动时，可用字母 A、B、C 来表示三个质点，使用下式来解决相对运动的问题：$\boldsymbol{v}_{AB}=-\boldsymbol{v}_{BA}$，$\boldsymbol{v}_{AC}=\boldsymbol{v}_{AB}+\boldsymbol{v}_{BC}$。

三、疑难点分析与问题讨论

1. 描述运动物理量的矢量性

质点的运动的变化常常随着大小和方向的变化而变化，因此描述质点运动的物理量——位置矢量、位移、速度、加速度都是矢量。它们的运算遵循矢量的运算法则。并且要注意位移和路程、平均速度和平均速率的区别。

［问题 1－1］ 在曲线运动中，$|\Delta\boldsymbol{r}|$ 与 Δr 是否相同？$|\Delta\boldsymbol{v}|$ 与 Δv 是否相同？$\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$ 与 $\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$ 有何区别？$\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}$ 和 $\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$ 有何区别？请举例说明。

要点与分析 本题测试的是关于位移、速度、加速度的矢量性概念，针对于学

生对矢量符号容易漏掉或理解不深的问题展开的。

解 (1) $|\Delta\boldsymbol{r}|$ 与 Δr 不相同，$\Delta\boldsymbol{r}$ 是两矢量之差，即 $\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_1$，而 Δr 是两个矢量的模之差，即 $\Delta r=|\boldsymbol{r}_2|-|\boldsymbol{r}_1|$，由图 1-2(a)可见，两者是不同的概念。

(2) 同理 $|\Delta\boldsymbol{v}|$ 与 Δv 也不相同，由图 1-2(b)可见。

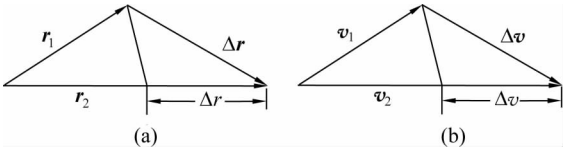


图 1-2

(3) $\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$ 表示质点运动的速度，是矢量，有大小和方向；而 $\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$ 是矢径大小的变化率，只有大小，没有方向。

(4) $\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\boldsymbol{a}$ 是质点运动的加速度；而 $\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=a_\tau$ 是质点运动的切向加速度，只负责改变速度的大小。

[问题 1-2] 质点沿半径为 R 的圆周作匀速率运动，每 T 秒转一圈。在 $2T$ 时间间隔中，其平均速度大小与平均速率大小分别为_____。

(A) $2\pi R/T$，$2\pi R/T$　　(B) 0，$2\pi R/T$

(C) 0，0　　(D) $2\pi R/T$，0

要点与分析 本题测试的概念是平均速率和平均速度的区别：平均速度是位移除以时间，平均速率是路程除以时间。本题中，在 $2T$ 时间内的位移是 0，在 $2T$ 时间内的路程是 $4\pi R$，所以对应的平均速度是 0，平均速率是 $2\pi R/T$。应选 B。

错误分析 选 A 的同学把平均速度和平均速率认为是同一个定义；选 C 和 D 的同学不确切知道平均速度和速率的定义。

2. 运动的相对性

物体运动的描述在不同的参考系中是不一样的，因此在对物体的运动进行描述之前要选择合适的坐标系，弄清楚有关物理量在各个参考系中的数值和方向，在解题中要特别注意运算时的物理量的矢量性。

[问题 1-3] 在相对地面静止的坐标系内，A、B 两船都以 2 m/s 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 方向单位矢量用 $\boldsymbol{i}$、$\boldsymbol{j}$ 表示)，那么在 A 船上的坐标系中，B 船的速度(以 m/s 为单位)为_____。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

（A）$2\boldsymbol{i}+2\boldsymbol{j}$　　（B）$-2\boldsymbol{i}+2\boldsymbol{j}$

（C）$-2\boldsymbol{i}-2\boldsymbol{j}$　　（D）$2\boldsymbol{i}-2\boldsymbol{j}$

要点与分析　本题测试的是相对速度的概念：$\boldsymbol{v}_{AB}=\boldsymbol{v}_{BC}+\boldsymbol{v}_{CA}$。

解　在本题中，$\boldsymbol{v}_{A\text{对地}}=2\boldsymbol{i}$（即$\boldsymbol{v}_{\text{地对}A}=-2\boldsymbol{i}$），$\boldsymbol{v}_{B\text{对地}}=2\boldsymbol{j}$，$\boldsymbol{v}_{BA}=\boldsymbol{v}_{B\text{地}}+\boldsymbol{v}_{\text{地}A}=2\boldsymbol{j}-2\boldsymbol{i}$。故选 B。

四、例题选解

［例题 1-1］　一质点在 Oxy 平面内运动，运动方程为 $x=2t$，$y=19-2t^2$，式中 x、y 以 m 计，t 以 s 计。

（1）计算并图示质点的运动轨道；

（2）写出 $t=1$ s 时刻和 $t=2$ s 时刻质点的位置矢量，并计算这 1 s 内质点的平均速度；

（3）计算 1 s 末和 2 s 末质点的瞬时速度和加速度；

（4）在什么时刻，质点的位置矢量与其速度矢量恰好垂直？这时，它们的 x、y 分量各为多少？

（5）在什么时刻，质点离原点最近？算出这一距离。

要点与分析　本题测试的是关于运动方程、轨道方程、位置矢量和速度、加速度的定义。

解　（1）质点的运动方程：在参数方程 $\begin{cases}x=2t,\\ y=19-2t^2\end{cases}$ 中约掉参数即可得到

$$y=19-2\left(\frac{x}{2}\right)^2=19-\frac{x^2}{2}$$

是一条抛物线（图示略）。

（2）将参数方程写成运动矢量表达式，即：$\boldsymbol{r}=2t\boldsymbol{i}+(19-2t^2)\boldsymbol{j}$，要求位置矢量，只要直接代入时间即可：$t=1$ s 时，$\boldsymbol{r}=2\boldsymbol{i}+17\boldsymbol{j}$；$t=2$ s 时，$\boldsymbol{r}=4\boldsymbol{i}+11\boldsymbol{j}$。平均速度为：$\boldsymbol{v}=\dfrac{\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_1}{\Delta t}=2\boldsymbol{i}-6\boldsymbol{j}$，大小为 6.32 m/s，方向与 x 轴成 $-71°33'54''$。

（3）速度是位矢的一阶导数，加速度是位矢的两阶导数。所以

$$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}=2\boldsymbol{i}-4t\boldsymbol{j},\ \boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}=-4\boldsymbol{j}。$$

$t=1$ s 时，$\boldsymbol{v}=2\boldsymbol{i}-4\boldsymbol{j}$ 的大小为 4.47 m/s，方向与 x 轴成 $-63°$ 角。

$t=2$ s 时，$\boldsymbol{v}=2\boldsymbol{i}-8\boldsymbol{j}$ 的大小为 8.85 m/s，方向与 x 轴成 $-75°$ 角。

加速度 $\boldsymbol{a}=-4\boldsymbol{j}$ 的大小为 $4\ \mathrm{m/s^2}$，方向指向 y 轴负向。

(4) 要使质点的位置矢量与其速度矢量恰好垂直，即两矢量的点乘为 0，即

$$\boldsymbol{r}\cdot\boldsymbol{v}=0,\ [2t\boldsymbol{i}+(19-2t^2)\boldsymbol{j}]\cdot[2\boldsymbol{i}-4t\boldsymbol{j}]=0,$$

可得：$t_1=0$，$t_2=3\ \mathrm{s}$。

$t_1=0$，$\boldsymbol{r}=19\boldsymbol{j}$，$\boldsymbol{v}=2\boldsymbol{i}$。

$t_2=3\ \mathrm{s}$，$\boldsymbol{r}=6\boldsymbol{i}+\boldsymbol{j}$，$\boldsymbol{v}=2\boldsymbol{i}-12\boldsymbol{j}$。

(5) 要求质点离原点最近，即要求质点位置矢量的最小值

$$|\boldsymbol{r}|=\sqrt{x^2+y^2}=\sqrt{(2t)^2+(19-2t^2)^2}。$$

令它对时间的一阶导数等于 0，可求得：$t=3\ \mathrm{s}$，此时 $|\boldsymbol{r}|=\sqrt{x^2+y^2}=\sqrt{(6)^2+(19-2\times3^2)^2}=\sqrt{37}\ \mathrm{m}$。

读者常见的错误是：关于矢量的计算很容易出错，可通过本题进行多重练习。

[例题 1-2] 一质点沿半径为 0.1 m 的圆周做运动，其角位置 θ（以弧度表示）可用下式表示：$\theta=2+4t^3$，式中 t 以 s 计。问：

(1) $t=2\ \mathrm{s}$ 时，它的法向加速度和切向加速度各为多少？$t=4\ \mathrm{s}$ 时又如何呢？

(2) 当切向加速度的大小恰好是总加速度大小的一半时，θ 的值是多少？

(3) 在哪一时刻，切向加速度和法向加速度恰好有相等的值？

要点与分析 本题测试的是角量的有关概念。角速度是角位置的一阶导数 $\omega=\dfrac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}$，角加速度是角位置的二阶导数 $\beta=\dfrac{\mathrm{d}^2\theta}{\mathrm{d}t^2}$；角量和线量之间的关系为

$$v=\omega R,\ a_\tau=R\beta,\ a_\mathrm{n}=\omega R^2。$$

解 由 $\theta=2+4t^3$，可得 $\omega=12t^2$，$\beta=24t$。

(1) $a_\mathrm{n}=R\omega^2$，$a_\tau=\mathrm{d}v/\mathrm{d}t=R\beta$。

$a_\mathrm{n}=R\omega^2=0.1\times(12t^2)^2$，$a_\tau=\mathrm{d}v/\mathrm{d}t=R\beta=0.1\times24t$。

当 $t=2\ \mathrm{s}$ 时，$a_\mathrm{n}=230.4\ \mathrm{m/s^2}$，$a_\tau=4.8\ \mathrm{m/s^2}$。

当 $t=4\ \mathrm{s}$ 时，$a_\mathrm{n}=3\,686.4\ \mathrm{m/s^2}$，$a_\tau=9.6\ \mathrm{m/s^2}$。

(2) 当切向加速度的大小恰好是总加速度大小的一半时，即 $a_\tau=\dfrac{1}{2}a$，$t=0.66\ \mathrm{s}$ 时，$\theta=3.15\ \mathrm{rad}$。

(3) $a_\mathrm{n}=a_\tau$ 时，可得 $t=0.55\ \mathrm{s}$。

[例题 1-3] 当一列火车以 10 km/h 的速率水平向东行驶时，相对于地面匀速竖直下落的雨滴，在列车的窗子上形成的雨迹与竖直方向成 30°角。求：

（1）雨滴相对于地面的水平分速度有多大？相对于列车的水平分速度有多大？

（2）雨滴相对于地面的速率如何？相对于列车的速率如何？

要点与分析　本题测试的是相对速度的概念，如图 1－3 所示：$\boldsymbol{v}_{AB}=\boldsymbol{v}_{BC}+\boldsymbol{v}_{CA}$。

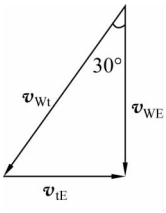


图 1－3

解　（1）题给雨滴相对于地面竖直下落，故相对于地面的水平分速为零。雨滴相对于列车的水平分速与列车速度等值反向为 10 m/s，正西方向。

（2）设下标 W 指雨滴，t 指列车，E 指地面，则有

$$\boldsymbol{v}_{WE}=\boldsymbol{v}_{Wt}+\boldsymbol{v}_{tE},\ \boldsymbol{v}_{tE}=10\ \mathrm{m/s}。$$

v_{WE}竖直向下，v_{Wt}偏离竖直方向 30°，由图求得：

雨滴相对于地面的速率为 $v_{WE}=v_{tE}\cot 30^\circ=17.3\ \mathrm{m/s}$。

雨滴相对于列车的速率 $v_{Wt}=\dfrac{v_{tE}}{\sin 30^\circ}=20\ \mathrm{m/s}$。

第二章　质点运动定律

一、目的与要求

（1）理解牛顿运动定律的内容和实质，明确牛顿运动定律的使用范围及条件。

（2）掌握用隔离法分析质点受力和解题的基本方法，能用微积分求解一维变力作用下简单的质点动力学问题。

（3）了解惯性力的概念和特点，以及在非惯性系中运用牛顿定律求解质点动力学的方法。

二、内容提要

1. 牛顿运动定律

（1）惯性定律：任何物体都保持静止或匀速直线运动的状态，直到受到力的作用迫使它改变这种状态为止。它包含了两个重要的概念，即惯性：质点保持原来速度不变的性质；力：质点受其他物体的作用，是改变速度的原因。

（2）牛顿第二定律：在受到外力作用时，物体所获得的加速度的大小与外力成正比，与物体的质量成反比；加速度的方向与外力的矢量和的方向相同，表达式为 $\boldsymbol{F}=m\boldsymbol{a}$。

（3）第三定律：两个物体之间的相互作用总是相等的，而且指向相反的方向。即作用力与反作用力，有 $\boldsymbol{F}_1=-\boldsymbol{F}_2$。且①它们总是成对出现，它们之间一一对应。②它们分别作用在两个物体上，绝不是平衡力。③它们一定是属于同一性质的力。

2. 常用的力

（1）万有引力和重力：任何两个物体之间都要相互吸引，其大小为

$$F=G\frac{m_1m_2}{r^2}。$$

方向为两质点连线方向，因为 G 很小，所以一般万有引力也很小，只有当质量很大时，才要考虑它。

（2）弹力：也称弹性力，是指弹性物体受外力作用发生形变后产生的一种回复力。比如：弹簧伸长或压缩产生的力、绳子的拉力、桌面的支持力等。弹力的性质有：

①本质：物体产生形变后，企图恢复原来的形状所产生的。②产生条件：两物体接触，接触物体产生形变。③方向：沿接触面的法向。

（3）摩擦力：两接触的物体沿接触面发生的阻止相对运动或相对运动趋势的力。可将摩擦力分成滑动摩擦力和静摩擦力。

滑动摩擦力的大小为 $f_k = \mu_k N$，其中 μ_k 是滑动摩擦系数，与两物体材料特性及接触面的状态有关。它的方向与两物体相对运动的方向相反。

静摩擦力的大小为 $f_s = \mu_s N$，其中 μ_s 是静摩擦系数，与两物体材料特性及接触面的状态有关。它的大小介于 0 和某个最大值之间。它的方向与两物体相对运动趋势的方向相反。

3. 牛顿运动定律的应用

牛顿运动定律只在惯性系中成立，所以在运用牛顿定律解题时，首先要确认所选的参考系是惯性系，然后按照下列的一般步骤来进行解题：

（1）确定研究对象进行受力分析（隔离物体，画受力图）；

（2）取坐标系；

（3）列方程（一般用分量式）；

（4）利用其他的约束条件列补充方程；

（5）先用文字符号求解，后代入数据计算结果。

三、疑难点分析与问题讨论

1. 弹性力和摩擦力的问题

在受力分析时，比较复杂的是弹性力和摩擦力，弹性力的大小和物体所受的其他力及运动状态有关，比较容易判断的是力的方向，它总是垂直于物体接触点的切面，而它们的大小则往往需要通过牛顿定律求出。同样在解题时要注意的是在实际问题中静摩擦力往往也是未知的，并且不能随意套用公式计算出来，只能根据物体的运动情况和受力分析得到。静摩擦力的方向可先假设，再由计算结果来给予检验，如果计算结果是正值，那么它的方向就与假设相同；如果计算结果是

负值，那么它的方向就与假设相反。

［问题 2－1］ 如图 2－1 所示，用一斜向上的力 F（与水平成 30°角），将一重为 G 的木块压靠在竖直壁面上，如果不论用怎样大的力 F，都不能使木块向上滑动，则说明木块与壁面间的静摩擦系数的大小为_____。

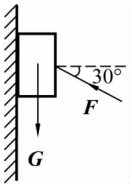


图 2－1

（A）$\mu \geqslant \frac{1}{2}$　　（B）$\mu \geqslant \frac{1}{\sqrt{3}}$

（C）$\mu \geqslant \sqrt{3}$　　（D）$\mu \geqslant 2\sqrt{3}$

要点与分析　本题测试的是牛顿力学的知识，对物体处于平衡状态的分析，所学力中的静摩擦力的分析等。

解　本题中将 F 进行分解后，并判断出摩擦力方向为向下（题中：F 不能使木块向上滑动），可得

$$\begin{cases} N = F\cos 30^\circ, \\ G + f = F\sin 30^\circ, \\ f = \mu N。 \end{cases}$$

故选 B。

2. 牛顿运动力学的应用

在运用牛顿定律解题时，要注意它仅适用于宏观、低速并能看成质点的物体，而且只在惯性系中成立，所以首先一定要先判断是否在其适用范围之内，否则就会有错误的结论。其次是在列出牛顿第二定律的分量式时，要注意力和加速度的方向的确定。若与坐标轴正方向相同为正，反之为负，若方向一时无法判定，则可先假定一个方向，然后根据计算结果来确定。同时要根据质点所做运动的情况来选择合适的方程，如果质点做的是直线运动，那么方程为 $F = ma$ 即可，如果质点做的是曲线运动（一般是圆周运动），则方程为

$$\sum F_\tau = m\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t},\ \sum F_n = m\frac{v^2}{\rho}。$$

［问题 2－2］ 在做匀速转动的水平转台上，与转轴相距 R 处有一体积很小的工件 A，如图 2－2 所示。设工件与转台间静摩擦系数为 μ_s，若使工件在转台上无滑动，则转台的角速度 ω 应满足_____。

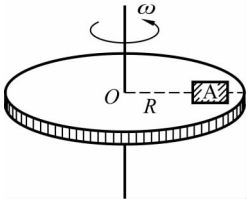


图 2－2

（A）$\omega \leqslant \sqrt{\frac{\mu_s g}{R}}$　　（B）$\omega \leqslant \sqrt{\frac{3\mu_s g}{2R}}$

需要全本请访问 www.ertongbook.com