21 世纪普通高等教育基础课规划教材

大学物理学学习指导

雒向东　主编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21世纪普通高等教育基础课规划教材

大学物理学学习指导

主　编　雒向东

副主编　魏秀芳　吴学勇

参　编　郭中华　董向成

机械工业出版社

本书是参照教育部物理基础课程教学指导分委会编写的《理工科类大学物理课程教学基本要求》，本着“突出重点，化解难点，加强指导，培养能力”的原则，根据教材《大学物理学》(上、下册)的主要内容，在凝结编者多年教学实践经验的基础上几经修改编写而成的. 全书按教材章节次序分为14章，除第14章外，每章由“学习要求”、“知识要点”、“习题解答”组成，内容由浅入深，难度适宜.

本书侧重对《大学物理学》学习方法的指导，它既可作为《大学物理学》的配套参考书，也可作为使用其他物理教材师生的教学或自学辅导书.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学学习指导/雒向东主编. —北京：机械工业出版社，2011.3

21世纪普通高等教育基础课规划教材

ISBN 978-7-111-33250-3

Ⅰ.①大… Ⅱ.①雒… Ⅲ.①物理学—高等学校—教学参考资料 Ⅳ.①04

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第015743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 责任编辑：张金奎

版式设计：霍永明 责任校对：张晓蓉

封面设计：姚 毅 责任印制：乔 宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2011年4月第1版第1次印刷

169mm×239mm · 12.75印张 · 244千字

标准书号：ISBN 978-7-111-33250-3

定价：22.00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	
读者购书热线：(010)88379203	封面无防伪标均为盗版

前　言

大学物理与中学物理相比存在着较大的差别．这不仅表现在内容的深度和广度上，而且也表现在课程的讲授方法上．因而常使一些初学大学物理的学生感到不适应，觉得它难学，特别是对于习题的求解，有时甚至有不知从何处入手的感觉．这说明，对低年级大学生加强学习方法的指导是非常必要的．

为了帮助读者更好地掌握教材的主要内容，我们编写了这本辅助教材作为学习指导．本书是按教材章节顺序编写的，除第14章外，每一章由“学习要求”、“知识要点”、“习题解答”三部分组成．

“学习要求”向读者指明该章必须掌握的主要内容，反映了该章的重点，可以作为读者判断该章内容的主与次、重点与一般的依据．“知识要点”简要列出了本章的基本内容，有的地方进行了归纳、对比，顺序与教材不一定相同，但知识的系统性加强了．需要说明的是，“知识要点”不能代替教材，读者应把阅读和钻研教材内容放在第一位．如果只背“知识要点”而不看教材，是学不好物理学的．“习题解答”主要是解答反映本章内容的习题，我们想通过习题的解答过程告诉读者必要的知识或方法．做习题只是一种学习手段，处于辅助的地位．希望读者做题后再思考、总结，加强对基本内容的理解和掌握，并在学习能力上有所提高．

任何指导书都不能代替读者个人的独立思考和刻苦学习，编者希望本书能对读者的学习起到参考作用．本书由雒向东任主编，魏秀芳、吴学勇任副主编，郭中华、董向成参加了部分章节的编写工作．

由于时间和水平有限，书中难免存在不妥之处，敬请读者批评指正．

编　者

目　　录

第 1 章　质点运动的描述　时空观

学 习 要 求

1. 理解质点、刚体模型及参考系的概念.

2. 掌握位置矢量、位移、速度、加速度的概念，能熟练地计算质点作一维(直线)、二维(平面)运动时的速度及加速度.

3. 理解切向加速度、法向加速度和角速度及角加速度的概念，能熟练地计算质点作圆周运动时的角速度、角加速度以及切向和法向加速度.

4. 理解相对运动的概念，并能分析和计算质点的相对运动问题.

5. 理解爱因斯坦狭义相对论的两个基本原理(假设).

6. 理解洛伦兹坐标变换，能用它分析、计算在不同惯性系中运动质点的时空变换问题.

7. 了解狭义相对论中同时性的相对性，以及长度收缩和时间膨胀的概念，会分析、计算有关长度收缩和时间膨胀的问题.

8. 了解牛顿力学的时空观和狭义相对论的时空观，以及两者的差异.

知 识 要 点

1. 质点　参考系

为描述物体的运动，这个被选取的参考物体就称为参考系. 运动的描述具有相对性. 坐标系是数学化、定量化的参考系.

质点是只有质量而无形状和大小的理想物体.

2. 位移矢量

位移矢量是由质点的初位置指向末位置的有向线段. 位移和路程是两个不同的概念.

3. 速度　加速度

平均速度：$\bar{\boldsymbol{v}} = \dfrac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}$

平均速率：$\bar{v} = \dfrac{\Delta s}{\Delta t}$

瞬时速度：$\boldsymbol{v}=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$

平均加速度：$\overline{\boldsymbol{a}}=\dfrac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}$

瞬时加速度：$\boldsymbol{a}=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\dfrac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2}$

速度的直角坐标表示：$\boldsymbol{v}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}=\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}+\dfrac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k}$

加速度的直角坐标表示：$\boldsymbol{a}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\dfrac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\dfrac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}+\dfrac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k}=\dfrac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{i}+\dfrac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{j}+\dfrac{\mathrm{d}^2z}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{k}$

4. 加速度恒定时质点的运动

运动学的两类问题：

第一类问题是已知质点的运动方程，求质点在任意时刻的速度和加速度，从而得知质点运动的全部情况．这类问题用微分法解决．

第二类问题是已知质点运动的加速度（或速度）以及初始状态，求质点的运动方程．这类问题是第一类问题的逆运算，用积分法解决．

加速度 $\boldsymbol{a}$ 为恒矢量时质点的运动方程：$\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}_0=\boldsymbol{v}_0t+\dfrac{1}{2}\boldsymbol{a}t^2$

5. 切向加速度和法向加速度

自然坐标系中加速度的表示：$\boldsymbol{a}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{\tau}+v\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{\tau}}{\mathrm{d}t}$，$\boldsymbol{a}_\tau=\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{\tau}=a_\tau\boldsymbol{\tau}$

圆周运动时加速度的自然坐标表示：$\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}_\tau+\boldsymbol{a}_\mathrm{n}=a_\tau\boldsymbol{\tau}+a_\mathrm{n}\boldsymbol{n}=\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{\tau}+\dfrac{v^2}{R}\boldsymbol{n}$

6. 圆周运动的角量描述

角位移：$\Delta\theta=\theta_2-\theta_1$

角速度：$\omega=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\theta}{\Delta t}=\dfrac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}$

角加速度：$\beta=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\omega}{\Delta t}=\dfrac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}=\dfrac{\mathrm{d}^2\theta}{\mathrm{d}t^2}$

线量与角量的关系：$s(t)=R\theta(t)$；$v=R\omega$；$a_\tau=R\beta$；$a_\mathrm{n}=\dfrac{v^2}{R}=R\omega^2$

匀速率圆周运动：v 和 ω 都为常量，$\beta=0$，$a_\tau=0$，$a_\mathrm{n}=R\omega^2=\dfrac{v^2}{R}$为常量．

匀变速率圆周运动：$\beta=$常量，$a_\tau=R\beta=$常量，$a_\mathrm{n}=R\omega^2=\dfrac{v^2}{R}$，但不为常量．

一般曲线运动：$\begin{cases} a_\tau=\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} \\ a_\mathrm{n}=\dfrac{v^2}{\rho} \end{cases}$

7. 相对运动

运动叠加原理：

任意质点的曲线运动可以看做是无限多个无穷短暂的直线运动和匀速圆周运动的叠加，这种把质点运动看做若干个分运动叠加的方法叫做运动叠加原理，概括起来可以具体表述如下：

（1）质点相对于某个参考点的运动可以看做质点相对于同一个参考点的几个分运动的叠加.

（2）质点相对于参考点 A 的运动可以看做质点相对于参考点 B 的运动与参考点 B 相对于参考点 A 的运动的叠加.

相对运动：$\boldsymbol{r}_{PO} = \boldsymbol{r}_{PO'} + \boldsymbol{r}_{O'O}$

$$\boldsymbol{v}_{PO} = \boldsymbol{v}_{PO'} + \boldsymbol{v}_{O'O}$$

$$\boldsymbol{a}_{PO} = \boldsymbol{a}_{PO'} + \boldsymbol{a}_{O'O}$$

8. 经典力学相对性原理和时空观

伽利略时空变换式：$\begin{cases} x' = x - ut \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{cases}$ 或 $\begin{cases} x = x' + ut \\ y = y' \\ z = z' \\ t = t' \end{cases}$

伽利略速度变换式：$\begin{cases} v'_x = v_x - u \\ v'_y = v_y \\ v'_z = v_z \end{cases}$

经典力学相对性原理：

对于所有的惯性系，牛顿力学的规律都应具有相同的形式. 经典力学的相对性原理表明，在研究力学规律时，所有的惯性系都是等价的，没有一个惯性系比别的惯性系具有绝对的或优越的地位.

经典力学的时空观：

时间和空间是彼此独立、互不相关且独立于物质运动之外的. 这种绝对的时空观可以形象地把空间比作存有宇宙万物的一个无形的永不运动的框架，而时间是独立的不断流逝的流水. 用牛顿的话来说，“绝对的真实的数学时间，就其本质而言，是永远均匀地流逝着的，与任何外界事物无关”. “绝对空间就其本质而言是与任何外界事物无关的，它从不运动，而且永远不变”.

9. 狭义相对论基本原理　洛伦兹变换

狭义相对论的两条基本原理：

（1）相对性原理：物理定律在一切惯性参考系中都具有相同的数学表达形式，也就是说，所有惯性系对于描述物理规律都是等价的.

（2）光速不变原理：在所有惯性参考系中，光在真空中沿各个方向的传播

速率等于恒定值 c，与光源和观察者的运动无关.

洛伦兹坐标变换：$\begin{cases} x' = \dfrac{x-ut}{\sqrt{1-\dfrac{u^2}{c^2}}} \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \dfrac{t-\dfrac{ux}{c^2}}{\sqrt{1-\dfrac{u^2}{c^2}}} \end{cases}$

洛伦兹坐标逆变换：$\begin{cases} x = \dfrac{x'+ut'}{\sqrt{1-\dfrac{u^2}{c^2}}} \\ y = y' \\ z = z' \\ t = \dfrac{t'+\dfrac{ux'}{c^2}}{\sqrt{1-\dfrac{u^2}{c^2}}} \end{cases}$

洛伦兹速度变换：$\begin{cases} v'_x = \dfrac{v_x-u}{1-\dfrac{v_x u}{c^2}} \\ v'_y = \dfrac{v_y\sqrt{1-\left(\dfrac{u}{c}\right)^2}}{1-\dfrac{v_x u}{c^2}} \\ v'_z = \dfrac{v_z\sqrt{1-\left(\dfrac{u}{c}\right)^2}}{1-\dfrac{v_x u}{c^2}} \end{cases}$

洛伦兹速度逆变换：$\begin{cases} v_x = \dfrac{v'_x+u}{1+\dfrac{v'_x u}{c^2}} \\ v_y = \dfrac{v'_y\sqrt{1-\left(\dfrac{u}{c}\right)^2}}{1+\dfrac{v'_x u}{c^2}} \\ v_z = \dfrac{v'_z\sqrt{1-\left(\dfrac{u}{c}\right)^2}}{1+\dfrac{v'_x u}{c^2}} \end{cases}$

10. 狭义相对论时空观

同时的相对性：

在某一惯性系中同时发生的两个事件，在相对于此惯性系运动的另一个惯性系中观察，并不一定是同时发生的．这就是同时性的相对性．

时间的延缓：

对于不同的参考系，沿相对速度方向发生的同样的两个事件之间的时间间隔是不同的．换句话说，就是时间的量度是相对的．

$$\Delta t=\frac{\Delta t'}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}=\frac{\Delta t'}{\sqrt{1-\beta^2}}=\gamma\Delta t',\ \beta=\frac{u}{c},\ \gamma=\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

长度的收缩：

同一物体的长度，在不同的参考系中进行测量，会得到不同的结果．

$$L=L'\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}=\frac{L'}{\gamma}$$

习 题 解 答

1.1　一质点在 xOy 平面上运动，运动方程为 $x=3t+5$，$y=\frac{1}{2}t^2+3t-4$．式中 t 以 s 计，x、y 以 m 计．

（1）以时间 t 为变量，写出质点位置矢量的表达式；

（2）求出 $t=1\text{s}$ 时刻和 $t=2\text{s}$ 时刻的位置矢量，计算这 1 秒内质点的位移；

（3）计算 $t=0\text{s}$ 时刻到 $t=4\text{s}$ 时刻内的平均速度；

（4）求出质点速度矢量表达式，计算 $t=4\text{s}$ 时质点的速度；

（5）计算 $t=0\text{s}$ 到 $t=4\text{s}$ 内质点的平均加速度；

（6）求出质点加速度矢量表达式，计算 $t=4\text{s}$ 时质点的加速度(用直角坐标系表示)．

解　（1）

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

$$\boldsymbol{r}=\left[(3t+5)\boldsymbol{i}+\left(\frac{1}{2}t^2+3t-4\right)\boldsymbol{j}\right]\text{m}$$

（2）将 $t=1\text{s}$ 和 $t=2\text{s}$ 代入上式得

$$\boldsymbol{r}_1=(8\boldsymbol{i}-0.5\boldsymbol{j})\text{m}$$

$$\boldsymbol{r}_2=(11\boldsymbol{i}+4\boldsymbol{j})\text{m}$$

$$\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_1=(3\boldsymbol{i}+4.5\boldsymbol{j})\text{m}$$

（3）

$$\boldsymbol{r}_0=(5\boldsymbol{i}-4\boldsymbol{j})\text{m},\ \boldsymbol{r}_4=(17\boldsymbol{i}+16\boldsymbol{j})\text{m}$$

$$\bar{\boldsymbol{v}}=\frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}=\frac{\boldsymbol{r}_4-\boldsymbol{r}_0}{(4-0)\mathrm{s}}=\frac{12\boldsymbol{i}+20\boldsymbol{j}}{4}\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}=(3\boldsymbol{i}+5\boldsymbol{j})\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$$

(4) $$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}=[3\boldsymbol{i}+(t+3)\boldsymbol{j}]\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$$

$$\boldsymbol{v}_4=(3\boldsymbol{i}+7\boldsymbol{j})\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$$

(5) $$\boldsymbol{v}_0=(3\boldsymbol{i}+3\boldsymbol{j})\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1},\ \boldsymbol{v}_4=(3\boldsymbol{i}+7\boldsymbol{j})\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$$

$$\bar{\boldsymbol{a}}=\frac{\Delta\bar{\boldsymbol{v}}}{\Delta t}=\frac{\boldsymbol{v}_4-\boldsymbol{v}_0}{4\mathrm{s}}=\frac{4}{4}\boldsymbol{j}\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}=1\boldsymbol{j}\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}$$

(6) $$\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=1\boldsymbol{j}\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}$$

这说明该点只有 y 方向的加速度，且为恒量，因此 $t=4\mathrm{s}$ 时质点的加速度为 $1\boldsymbol{j}\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}$.

1.3 质点沿 x 轴运动，其加速度和位置的关系为 $a=2+6x^2$，a 的单位为 $\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}$，$x$ 的单位为 m. 质点在 $x=0$ 处，速度为 $10\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$，试求质点在任何坐标处的速度值.

解 $$a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}x}\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=v\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}x}$$

分离变量 $$v\mathrm{d}v=a\mathrm{d}x=(2+6x^2)\mathrm{d}x$$

两边积分 $$\frac{1}{2}v^2\Big|_{10}^{v}=2x+2x^3\Big|_0^x$$

得 $$v=2\sqrt{x^3+x+25}\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$$

1.4 已知一质点作直线运动，其加速度为 $a=(4+3t)\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}$，开始运动时，$x=5\mathrm{m}$，$v=0$，求该质点在 $t=10\mathrm{s}$ 时的速度和位置.

解 因为 $$a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=4+3t$$

分离变量得 $$\mathrm{d}v=(4+3t)\mathrm{d}t$$

积分得 $$v=4t+\frac{3}{2}t^2+c_1$$

由题知，$t=0$，$v_0=0$，得 $c_1=0$，故

$$v=4t+\frac{3}{2}t^2$$

又因为 $$v=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=4t+\frac{3}{2}t^2$$

分离变量得 $$\mathrm{d}x=\left(4t+\frac{3}{2}t^2\right)\mathrm{d}t$$

积分得 $$x=2t^2+\frac{1}{2}t^3+c_2$$

由题知 $t=0$，$x_0=5$，得 $c_2=5$，故

$$x=2t^2+\frac{1}{2}t^3+5$$

所以当 $t=10\text{s}$ 时，速度和位置分别为

$$v_{10}=\left(4\times10+\frac{3}{2}\times10^2\right)\text{m}\cdot\text{s}^{-1}=190\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$x_{10}=\left(2\times10^2+\frac{1}{2}\times10^3+5\right)\text{m}=705\text{m}$$

1.7　一质点沿半径为 1m 的圆周运动，运动方程为 $\theta=2+3t^3$，式中 θ 以弧度计，t 以秒计，求：

（1）$t=2\text{s}$ 时，质点的切向和法向加速度；

（2）当加速度的方向和半径成 45°角时，其角位移是多少？

解

$$\omega=\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}=9t^2,\ \beta=\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}=18t$$

（1）当 $t=2\text{s}$ 时，质点的切向和法向加速度大小分别为

$$a_\tau=R\beta=(1\times18\times2)\text{m}\cdot\text{s}^{-2}=36\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

$$a_\text{n}=R\omega^2=[1\times(9\times2^2)^2]\text{m}\cdot\text{s}^{-2}=1296\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

（2）当加速度方向与半径成 45°角时，有

$$\tan45^\circ=\frac{a_\tau}{a_\text{n}}=1$$

得

$$R\omega^2=R\beta$$

$$(9t^2)^2=18t$$

解得

$$t^3=\frac{2}{9}$$

角位移为

$$\theta=2+3t^3=\left(2+3\times\frac{2}{9}\right)\text{rad}=2.67\text{rad}$$

1.9　质点沿半径为 R 的圆周按 $s=v_0t-\frac{1}{2}bt^2$ 的规律运动，式中 s 为质点离圆周上某点的弧长，v_0、b 都是常量，求：

（1）t 时刻质点的加速度；

（2）t 为何值时，加速度在数值上等于 b.

解　（1）

$$v=\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}=v_0-bt$$

$$a_\tau=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=-b$$

$$a_\text{n}=\frac{v^2}{R}=\frac{(v_0-bt)^2}{R}$$

则
$$a=\sqrt{a_\tau^2+a_n^2}=\sqrt{b^2+\frac{(v_0-bt)^4}{R^2}}$$

加速度与半径的夹角为
$$\varphi=\arctan\frac{a_\tau}{a_n}=\frac{-Rb}{(v_0-bt)^2}$$

（2）由题意应有
$$a=b=\sqrt{b^2+\frac{(v_0-bt)^4}{R^2}}$$

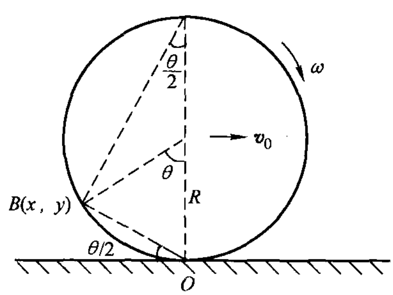
即
$$b^2=b^2+\frac{(v_0-bt)^4}{R^2}$$
$$(v_0-bt)^4=0$$
$$t=\frac{v_0}{b}$$

所以当 $t=\frac{v_0}{b}$时，加速度在数值上等于 b.

1.11 半径为 R 的轮子，以匀速 v_0 沿水平线向前滚动.

（1）证明轮缘上任意点 B 的运动方程为 $x=R(\omega t-\sin\omega t)$，$y=R(1-\cos\omega t)$，式中 $\omega=v_0/R$ 是轮子滚动的角速度，从 B 与水平线接触的瞬间开始计时．此时 B 所在的位置为原点，轮子前进方向为 x 轴正方向；

（2）求 B 点速度和加速度的分量表示式.



题 1.11 图

解 依题意做出题 1.11 图，由图可知

（1）
$$\begin{aligned}x&=v_0t-2R\sin\frac{\theta}{2}\cos\frac{\theta}{2}\\&=v_0t-R\sin\theta\\&=R(\omega t-\sin\omega t)\\y&=2R\sin\frac{\theta}{2}\sin\frac{\theta}{2}\\&=R(1-\cos\theta)=R(1-\cos\omega t)\end{aligned}$$

（2）B 点速度和加速度的分量式分别为
$$\begin{cases}v_x=\dfrac{dx}{dt}=R\omega(1-\cos\omega t)\\[2ex] v_y=\dfrac{dy}{dt}=R\omega\sin\omega t\end{cases}$$

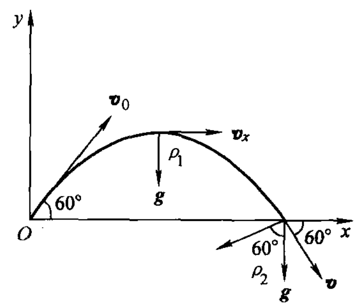
$$\begin{cases} a_x = \dfrac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t} = R\omega^2\sin\omega t \\ a_y = \dfrac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t} = R\omega^2\cos\omega t \end{cases}$$

1.12 以初速度大小 $v_0 = 20\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ 抛出一小球，抛出方向与水平面成60°的夹角，求：

（1）小球轨道最高点的曲率半径 R_1；

（2）小球落地处的曲率半径 R_2.（提示：利用曲率半径与法向加速度之间的关系）

解 设小球所作抛物线轨道如题 1.12 图所示.



题 1.12 图

（1）在最高点时

$$v_1 = v_x = v_0\cos60°$$

$$a_{n1} = g = 10\mathrm{m \cdot s^{-2}}$$

因为

$$a_{n_1} = \frac{v_1^2}{\rho_1}$$

所以

$$\rho_1 = \frac{v_1^2}{a_{n_1}} = \frac{(20 \times \cos60°)^2}{10}\mathrm{m} = 10\mathrm{m}$$

（2）在落地点处

$$v_2 = v_0 = 20\mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

$$a_{n_2} = g\cos60°$$

所以得

$$\rho_2 = \frac{v_2^2}{a_{n_2}} = \frac{(20)^2}{10 \times \cos60°}\mathrm{m} = 80\mathrm{m}$$

1.14 飞轮半径为 0.4m，自静止启动，其角加速度为 $\beta = 0.2\mathrm{rad \cdot s^{-2}}$，求 $t = 2\mathrm{s}$ 时边缘上各点的速度、法向加速度、切向加速度和合加速度.

解 因为

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

得 $t = 2\mathrm{s}$ 时角速度大小为

$$\omega = \beta t = (0.2 \times 2)\mathrm{rad \cdot s^{-1}} = 0.4\mathrm{rad \cdot s^{-1}}$$

得 $t = 2\mathrm{s}$ 时边缘上各点的速度、法向加速度、切向加速度和合加速度大小分别为

$$v = R\omega = (0.4 \times 0.4)\mathrm{m \cdot s^{-1}} = 0.16\mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

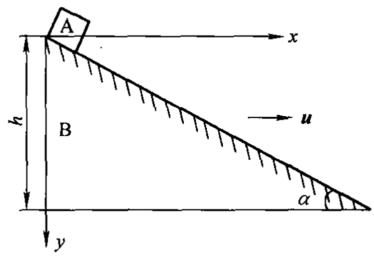
$$a_n = R\omega^2 = [0.4 \times (0.4)^2]\mathrm{m \cdot s^{-2}} = 0.064\mathrm{m \cdot s^{-2}}$$

$$a_\tau = R\beta = (0.4 \times 0.2)\mathrm{m \cdot s^{-2}} = 0.08\mathrm{m \cdot s^{-2}}$$

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} = \sqrt{(0.064)^2 + (0.08)^2}\mathrm{m \cdot s^{-2}} = 0.102\mathrm{m \cdot s^{-2}}$$

1.15 如题 1.15 图所示，物体 A 以相对 B 的速度 $v = \sqrt{2gy}$ 沿斜面滑动，y 为纵

坐标，开始时 A 在斜面顶端高为 h 处，B 物体以 u 匀速向右运动，求 A 物滑到地面时的速度.

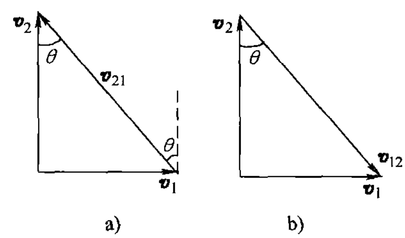


题 1.15 图

解 当滑至斜面底时，$y=h$，则 $v_A=\sqrt{2gh}$，A 物运动过程中又受到 B 的牵连运动影响，因此，A 对地的速度为

$$\boldsymbol{v}_{A地}=\boldsymbol{u}+\boldsymbol{v}_A$$
$$=(u+\sqrt{2gh}\cos\alpha)\boldsymbol{i}+(\sqrt{2gh}\sin\alpha)\boldsymbol{j}$$

1.16 一船以速率 $v_1=30\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$沿直线向东行驶，另一小艇在其前方以速率 $v_2=40\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$沿直线向北行驶，问在船上看小艇的速度为何？在艇上看船的速度又为何？



题 1.16 图

解 （1）船上看小艇，小艇相对船速度为$\boldsymbol{v}_{21}$，则有

$$\boldsymbol{v}_{21}=\boldsymbol{v}_2-\boldsymbol{v}_1$$

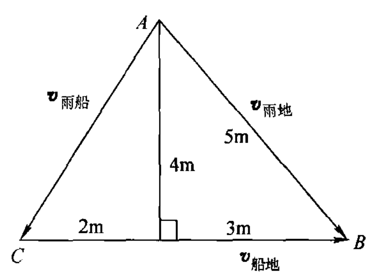
依题意作速度矢量图如题 1.16 图 a 所示，由图可知$\boldsymbol{v}_{21}=\sqrt{v_1^2+v_2^2}=50\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$，方向为北偏西：$\theta=\arctan\dfrac{v_1}{v_2}=\arctan\dfrac{3}{4}=36.87°$

（2）小艇看大船，依题意作出速度矢量图如题 1.16 图 b 所示，船相对小艇速度为$\boldsymbol{v}_{12}$，有

$$\boldsymbol{v}_{12}=\boldsymbol{v}_1-\boldsymbol{v}_2$$

得 $v_{12}=50\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$，方向为南偏东 36.87°.

1.18 当一轮船在雨中航行时，它的雨篷遮着篷的垂直投影后 2m 的甲板上，篷高 4m. 但当轮船停航时，甲板上干湿两部分的分界线却在篷前 3m，如雨滴的速度大小为 $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$，求轮船的速率.



题 1.18 图

解 依题意作出矢量图如题 1.18 图所示. 各速度之间有以下关系：

$$\boldsymbol{v}_{雨地}=\boldsymbol{v}_{雨船}+\boldsymbol{v}_{船地}$$

由图中比例关系可得

$$\frac{|\boldsymbol{v}_{雨地}|}{|\boldsymbol{v}_{船地}|}=\frac{\overline{AB}}{\overline{BC}}$$

$$\frac{8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}}{v_{船地}}=\frac{5}{5}$$

得

$$v_{船地}=v_{雨地}=8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

第2章 力 动量 能量

学习要求

1. 理解惯性系的概念. 掌握动量定理，能用动量定理来分析、解决质点在平面内运动时的简单力学问题.

2. 掌握动量守恒定律及其适用条件，能用动量守恒定律来分析、解决简单系统在平面内运动时的力学问题.

3. 理解力的概念及力学中几种常见力的特性.

4. 掌握牛顿三定律及其适用条件，并能熟练地应用牛顿运动定律来分析、计算质点在平面内运动的简单力学问题.

5. 了解非惯性系与惯性力.

6. 掌握功的概念，能熟练地计算直线运动情况下变力的功.

7. 掌握质点和质点系的动能定理，并能用于分析、计算质点在平面内运动时的简单力学问题.

8. 掌握保守力做功的特点及势能的概念，会计算势能.

9. 掌握机械能守恒定律及其适用条件，掌握用机械能守恒定律分析问题的思想及方法，并能用来处理简单系统在平面内运动的力学问题.

10. 了解弹性碰撞和完全非弹性碰撞的特征.

11. 理解角动量(动量矩)的概念，能用角动量定理计算相关问题.

12. 理解角动量守恒定律及其适用条件，能用角动量守恒定律来分析处理有关问题.

13. 理解狭义相对论中质量和速度的关系、质量和能量的关系，并能用来分析和计算一些简单问题.

知识要点

1. 牛顿运动定律

牛顿第一定律：

任何物体都将保持其静止或匀速直线运动状态，直到外力迫使它改变运动状态为止. 数学形式表示为 $\boldsymbol{F}=0$，$\boldsymbol{v}=$ 恒矢量.

牛顿第二定律：

动量的变化率与外力成正比．数学表达式为 $\boldsymbol{F}=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(m\boldsymbol{v})$．

牛顿第三定律：

两物体之间的作用力 $\boldsymbol{F}$ 和反作用力 $\boldsymbol{F}'$ 总是大小相等，方向相反，沿同一直线，分别作用在两个物体上．数学表达式为 $\boldsymbol{F}=-\boldsymbol{F}'$．

2. 力学中几种常见的力

力的基本类型：从基本性质方面来讲，力可分为引力相互作用、电磁相互作用和核力相互作用三种类型．

万有引力定律：

在两个相距为 r，质量分别为 m_1、m_2 的质点间的万有引力，其大小与它们的质量之积成正比，与它们的距离 r 的二次方成反比，其方向沿它们的连线．万有引力定律数学式可表示为 $\boldsymbol{F}_{12}=-G\frac{m_1m_2}{r^2}\boldsymbol{e}_r$．

重力：重力是地球对物体万有引力的一个分力，另一分力为物体随地球绕地轴转动提供的向心力．重力的大小和万有引力近似相等，方向为竖直向下，并非指向地心．

弹性力：当两物体相互接触并挤压时，物体将发生形变，这时物体间就会产生因形变而欲使其恢复原来形状的力，这种力称为弹性力．

摩擦力：当两个互相接触的物体有相对运动或有相对运动的趋势时，就会产生一种阻碍相对运动或相对运动趋势的力，我们把它称为摩擦力．若两物体有相对运动，则称为滑动摩擦力，通常简称动摩擦力；若两物体间仅有相对运动的趋势，则称为静摩擦力．摩擦力的起因非常复杂，除了两个接触面的凹凸不平而互相嵌合外，还与分子间的引力及静电作用等有关．

库仑摩擦定律：库仑发现两块干燥固体之间的摩擦力服从以下规律：

1）动摩擦力 F_k 与正压力 F_N 成正比，与两物体的表观接触面积无关；

2）当相对速度不很大时，动摩擦力与速度无关；

3）静摩擦力可在零与一个最大值（称为最大静摩擦力）之间变化，视相对滑动趋势的程度而定．最大静摩擦力 F_s 也与正压力 F_N 成正比，它一般情况下大于动摩擦力．

黏滞阻力：流体（液体或气体）不同层之间由于相对运动而造成的阻力，称为黏滞阻力或湿摩擦力．当相对速度不很大时，黏滞阻力与速度的横向变化率、接触面积及黏度成正比．

3. 应用牛顿运动定律解题的步骤

（1）隔离物体，分析受力．