九章丛书

高校经典教材同步辅导丛书

配套高教版·毛骏健、顾牡主编

教你用更多的自信面对未来！

大学物理学

Physics

（第二版·合订本）

同步辅导及习题全解

主　编　王克彦　孟祥曦

一书三用

同步辅导+考研复习+教师备课

习题超全解

名师一线经验**大汇集**，解题步骤**超详细**，方法技巧**最实用**

新版

扫码在线阅读电子书，让你的学习更简单！

中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

高校经典教材同步辅导丛书

大学物理学（第二版·合订本）同步辅导及习题全解

主　编　王克彦　孟祥曦

中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn
·北京·

内 容 提 要

本书是与高等教育出版社出版，毛骏健、顾牡主编的《大学物理学》（第二版）配套的同步辅导书。

本书共有18章，分别介绍质点运动学、动力学基本定律、刚体和流体、振动和波动、静电场、静电场中的导体和电介质、恒定磁场、变化的电磁场、热力学基础、气体动理论、几何光学、波动光学、狭义相对论、广义相对论、量子物理、原子核物理、粒子物理简介、固体物理简介。本书按教材内容安排全书结构，各章基本都包括基本要求、知识点归纳、习题解答与分析三部分内容。全书按教材内容，针对各章节习题给出详细解答，思路清晰、逻辑性强，循序渐进地帮助读者分析并解决问题，内容详尽、简明易懂。

本书可作为高等院校学生学习“大学物理学”课程的辅导教材，也可作为考研人员复习备考的辅导教材，同时可供教师备课命题作为参考资料。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏甚至错误之处，恳请广大读者和专家批评指正。如有疑问，请联系我们（微信：JZCS15652485156 或 QQ：753364288）。

图书在版编目（CIP）数据

大学物理学（第二版·合订本）同步辅导及习题全解/王克彦，孟祥曦主编. -- 北京：中国水利水电出版社，2018.7

（高校经典教材同步辅导丛书）

ISBN 978-7-5170-6690-3

Ⅰ. ①大… Ⅱ. ①王… ②孟… 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(2018)第173250号

策划编辑：杨庆川　责任编辑：周益丹　加工编辑：郑炳松　焦艳芳　封面设计：李　佳

	高校经典教材同步辅导丛书
书　名	大学物理学（第二版·合订本）同步辅导及习题全解 DAXUE WULIXUE（DI-ER BAN·HEDINGBEN）TONGBU FUDAO JI XITI QUANJIE
作　者	主　编　王克彦　孟祥曦
出版发行	中国水利水电出版社 （北京市海淀区玉渊潭南路1号D座　100038） 网址：www.waterpub.com.cn E-mail：mchannel@263.net（万水） sales@waterpub.com.cn 电话：（010）68367658（营销中心）、82562819（万水）
经　售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排　版	北京万水电子信息有限公司
印　刷	三河市祥宏印务有限公司
规　格	170mm×227mm　16开本　13.5印张　305千字
版　次	2018年7月第1版　2018年7月第1次印刷
印　数	0001—5000册
定　价	26.80元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

前 言

毛骏健、顾牡主编的《大学物理学》(第二版)以体系完整、结构严谨、层次清晰、深入浅出等特点成为这门课程的经典教材,被全国许多院校采用。为了帮助读者更好地学习这门课程、掌握更多的知识,我们根据多年的教学经验编写了这本辅导用书。本书旨在帮助广大读者理解基本概念,掌握基本知识,学会基本解题方法与解题技巧,进而提高应试能力。

本书作为一种辅助性的教材,具有较强的针对性、启发性、指导性和补充性。考虑到"大学物理学"这门课程的特点,我们在内容上作了以下安排:

1. 基本要求。 每章前面均对本章的知识要点进行了整理。综合众多参考资料,归纳了本章几乎所有的考点,便于读者学习与复习。

2. 知识点归纳。 对每章知识点进行简练概括,梳理了各知识点之间的脉络联系,突出各章节主要定理及重要公式,使读者在学习过程中目标明确、有的放矢。

3. 习题解答与分析。 教材中课后习题丰富、层次多样,许多基础性问题从多个角度帮助学生理解基本概念和基本理论,促使其掌握基本解题方法。我们对教材的课后习题进行了详细的解答。

编　者

2018 年 5 月

目录
contents

目 录

contents

目录
contents

第一章

质点运动学

基本要求

1. 理解质点的概念，学会建立合适的参考系和坐标系。
2. 掌握位移与路程、平均速度与平均速率的概念及其之间的区别。
3. 掌握借助直角坐标系计算质点作空间运动时的速度及加速度。
4. 掌握圆周运动下，角速度、角加速度、切向加速度和法向加速度的计算方法。
5. 理解相对运动的概念。

知识点归纳

1. 质点

一般情况下，在描述物体运动时，可以将物体当作一个具有一定质量的几何点，这样的点称为质点。

2. 参考系

在描述物体的运动时，一般要指明运动是相对哪个参考物体而言的，这个被选定的参考物体称为参考系。

3. 坐标系

为了能够定量地描述物体的位置及其时间的改变还必须在参考系上建立一个适当的坐标系。

4. 描述质点运动的物理量

(1) 位置矢量：从坐标原点到某时刻质点所在位置所引的矢量简称位矢。在直角坐标系中，位置矢量可以表示为 $\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k}$

位矢 $\boldsymbol{r}$ 随时间 t 变化，$\boldsymbol{r}$ 是时间 t 的函数，即 $\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t) = x(t)\boldsymbol{i} + y(t)\boldsymbol{j} + z(t)\boldsymbol{k}$，该式称为质点的运动方程。

(2) 位移与路程：位移是由起点指向终点的有向直线线段，描述质点在某段时间内位置的变化，$\Delta\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1$；路程是质点所经过的曲线的长度。

(3) 速度：描述物体运动快慢和运动方向的物理量。

① 平均速度 $\overline{\boldsymbol{v}}$ 是质点发生的位移 $\Delta\boldsymbol{r}$ 与所经历的时间 Δt 之比。它是一个矢量，其方向与位移 $\Delta\boldsymbol{r}$ 的方向相同，即 $\overline{\boldsymbol{v}} = \dfrac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}$

② 瞬时速度 $\boldsymbol{v}$ 是当时间间隔 Δt 趋近于零时，质点平均速度的极限，即 $\boldsymbol{v} = \lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t} = \dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$

③ 平均速率是质点所经过的路程 Δs 与所经历的时间 Δt 之比，用 $\overline{v}$ 表示，则 $\overline{v} = \dfrac{\Delta s}{\Delta t}$。当 $\Delta t \to 0$ 时，平均速率的极限值为质点在 t 时刻的瞬时速率 v，即 $v = \lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta s}{\Delta t} = \dfrac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$

④ 在直角坐标系中，速度矢量可以表示为 $\boldsymbol{v} = \dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t} = v_x\boldsymbol{i} + v_y\boldsymbol{j} + v_z\boldsymbol{k} = \dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i} + \dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j} + \dfrac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k}$，速度的大小为 $v = |\boldsymbol{v}| = \sqrt{\left(\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\right)^2 + \left(\dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\right)^2 + \left(\dfrac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\right)^2}$

⑤ 在自然坐标系下，速度矢量可以表示为 $\boldsymbol{v} = v\boldsymbol{e}_\mathrm{t} = \dfrac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{e}_\mathrm{t}$

(4) 加速度：

① 加速度是反映质点的速度矢量随时间变化的物理量。

② 在 Δt 时间内，质点的平均加速度定义为 $\overline{a} = \dfrac{\Delta\boldsymbol{v}}{\Delta t}$。取平均加速度的极限即为瞬时加速度，简称加速度，即 $\boldsymbol{a} = \lim\limits_{t\to 0}\dfrac{\Delta\boldsymbol{v}}{\Delta t} = \dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t} = \dfrac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2}$

③ 在直角坐标系中，加速度可表示为

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

加速度的大小表示为 $a = |\boldsymbol{a}| = \sqrt{\left(\dfrac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t}\right)^2 + \left(\dfrac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}\right)^2 + \left(\dfrac{\mathrm{d}^2z}{\mathrm{d}t^2}\right)^2}$

④ 在自然坐标系下，加速度可表示为 $\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}_\mathrm{t} + \boldsymbol{a}_\mathrm{n} = \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{e}_\mathrm{t} + \dfrac{v^2}{\rho}\boldsymbol{e}_\mathrm{n}$

5. 圆周运动及其角量描述

(1) 角位移 $\Delta\theta$ 对时间的变化率定义为角速度，用 ω 表示，即 $\omega=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\theta}{\Delta t}=\dfrac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}$

(2) 角速度 ω 对时间的变化率定义为角加速度，用 α 表示，即 $\alpha=\dfrac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}=\dfrac{\mathrm{d}^2\theta}{\mathrm{d}t^2}$

(3) 线量与角量的关系：$\Delta s=R\Delta\theta, v=R\omega, a_t=R\alpha, a_n=\dfrac{v^2}{R}=R\omega^2$

6. 相对运动

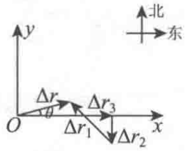
质点相对于 s 系的运动速度用 $\boldsymbol{v}$ 表示，质点相对于 s' 系的速度用 $\boldsymbol{v}'$ 表示，s' 系相对 s 系的运动速度用 $\boldsymbol{u}$ 表示，则有 $\boldsymbol{v}=\boldsymbol{u}+\boldsymbol{v}'$。其中 $\boldsymbol{v}'$ 称为相对速度，$\boldsymbol{u}$ 称为牵引速度。

习题解答与分析

1-1 解题过程 根据题意建立如习题 1-1 解图所示的直角坐标系，图中 Δr_1、Δr_2、Δr_3 分别表示向东、向南、向正西北的位移，则 Δr 表示合位移。

(1) 由习题 1-1 解图得人在 x 方向的位移为

$x=30+0-18\cos45^\circ=(30-9\sqrt{2})\mathrm{m}$



习题 1-1 解图

人在 y 方向的位移为 $y=0-10+18\sin45^\circ=(9\sqrt{2}-10)\mathrm{m}$

故合位移 $\Delta r=\sqrt{x^2+y^2}=17.5\mathrm{m}$

$\theta=\arctan\dfrac{y}{x}=\arctan0.158=9^\circ$

所以位移为 17.5m，方向为东偏北 9°。

$|\bar{\boldsymbol{v}}|=\dfrac{|\Delta\boldsymbol{r}|}{\Delta t}=\dfrac{17.5}{50}=0.35\mathrm{m/s}$

故平均速度大小为 0.35m/s，方向与位移方向一致，同为东偏北 9°。

(2) 路程指人实际经过的路径曲线的长度，故 $s=30+10+18=58\mathrm{m}$

平均速率为 $\bar{v}=\dfrac{s}{t}=\dfrac{58}{50}=1.16\mathrm{m/s}$

1-2 解题过程 (1) 由运动方程表达式得速度和加速度的表达式，分别为 $v=12-12t, a=-12$

故在 $t=4\mathrm{s}$ 时，质点的位置为 $x=48-16\times6=-48\mathrm{m}$

$v=12-12\times4=-36\mathrm{m/s}$

$a=-12\mathrm{m/s^2}$

(2) 将 $x=0$ 代入质点运动方程,有 $12t-6t^2=0$,即 $t(12-6t)=0$

可得 $t=0$ 或 $t=2$

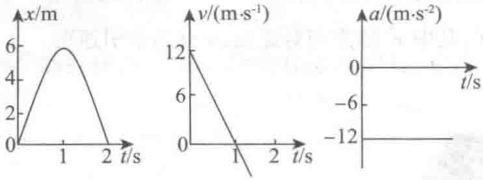
将 $t=2$ 代入速度表达式,得 $v=12-2\times12=-12\text{m/s}$

将 $t=0$ 代入速度表达式,得 $v=12\text{m/s}$

(3) 当 $v=0$ 时,即 $12-12t=0$,故 $t=1\text{s}$

将 $t=1\text{s}$ 代入运动方程,得 $x=12-6\times1^2=6\text{ m}$

(4) 根据质点的位移、速度和加速度表达式作图(习题 1-2 解图)。



习题 1-2 解图

1-3 解题过程 由质点速度表达式求其运动方程:$x=\int(t^3+3t^2+2)\mathrm{d}t=\frac{1}{4}t^4+t^3+2t+x_0$

将 $t=2,x=4$ 代入运动方程,得 $x_0=-12\text{m}$

故运动方程为 $x=\frac{1}{4}t^4+t^3+2t-12$

对质点速度表达式求导,得其加速度表达式为 $a=(t^3+3t^2+2)'=3t^2+6t$

将 $t=3s$ 代入位置、速度和加速度表达式,分别为

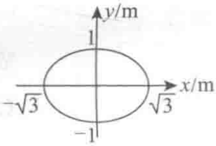
$x=\left(\frac{1}{4}\times3^4+3^3+2\times3-12\right)\text{m}=41.25\text{m}$

$v=(3^3+3\times3^2+2)\text{m/s}=56\text{m/s}$

$a=(3\times3^2+6\times3)\text{m/s}^2=45\text{m/s}^2$

1-4 解题过程 (1) 由 $x^2=3\cos^2\frac{\pi}{4}t,y^2=\sin^2\frac{\pi}{4}t$ 得轨迹方程 $\frac{x^2}{3}+y^2=1$

所以质点的运动轨道为一椭圆,轨迹如习题 1-4 解图所示。



习题 1-4 解图

(2) 对质点的运动方程求导,得 $v_x=-\sqrt{3}\cdot\frac{\pi}{4}\sin\frac{\pi}{4}t,v_y=\frac{\pi}{4}\cos\frac{\pi}{4}t$

所以质点的速度为 $\boldsymbol{v}=\left[\left(-\frac{\sqrt{3}}{4}\pi\sin\frac{\pi}{4}t\right)\boldsymbol{i}+\left(\frac{\pi}{4}\cos\frac{\pi}{4}t\right)\boldsymbol{j}\right]\text{m/s}$

所以质点的加速度为 $\boldsymbol{a} = \left[\left(-\dfrac{\sqrt{3}}{16}\pi^2\cos\dfrac{\pi}{4}t\right)\boldsymbol{i} + \left(-\dfrac{\pi^2}{16}\sin\dfrac{\pi}{4}t\right)\boldsymbol{j}\right]\mathrm{m/s^2}$

(3) 将 $t = 1$ 分别代入表达式，得 $\boldsymbol{r} = \left(\dfrac{\sqrt{6}}{2}\boldsymbol{i} + \dfrac{\sqrt{2}}{2}\boldsymbol{j}\right)\mathrm{m}$

$$\boldsymbol{v} = \left(-\frac{\sqrt{6}}{8}\pi\boldsymbol{i} + \frac{\sqrt{2}}{8}\pi\boldsymbol{j}\right)\mathrm{m/s}$$

$$\boldsymbol{a} = \left(-\frac{\sqrt{6}}{32}\pi^2\boldsymbol{i} - \frac{\sqrt{2}}{32}\pi^2\boldsymbol{j}\right)\mathrm{m/s^2}$$

1-5 思路点拨 可将飞越过程视为抛体运动，根据运动叠加原理，可以将运动分解成水平方向的匀速直线运动和竖直方向的上抛运动来处理。落地时的速度可由落地时速度的水平分量和竖直分量合成而得。

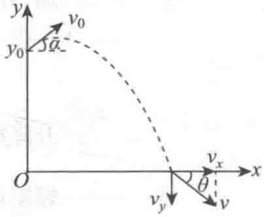
解题过程 (1) 建立如习题 1-5 解图所示的坐标系，将人与摩托看作一个整体。

根据坐标图得各方向的运动方程为

$$x = (v_0\cos\alpha)\ t \tag{a}$$

$$y = y_0 + v_0\sin\alpha t - \frac{1}{2}gt^2 \tag{b}$$

在落坑处 $y = 0$，将 $y_0 = 70\mathrm{m}$，$v_0 = 65\mathrm{m/s}$，$\alpha = 22.5°$，$g = 9.8\mathrm{m/s^2}$ 代入(b) 式，得 $t = 7.1\mathrm{s}$，即飞越的时间为 7.1s。



习题 1-5 解图

将 $t = 7.1\mathrm{s}$ 代入(a) 式，得 $x = v_0\cos\alpha t = 65 \times \cos 22.5° \times 7.1 = 426\mathrm{m}$

(2) 对各方向的运动方程求导，得各方向的速度表达式：

$$v_x = v_0\cos\alpha \tag{a$'$}$$

$$v_y = v_0\sin\alpha - gt \tag{b$'$}$$

将 $t = 7.1\mathrm{s}$ 分别代入(a$'$) 式与(b$'$) 式，得

$$v_x = 65 \times \cos 22.5° = 60.1\mathrm{m/s}$$

$$v_y = 65 \times \sin 22.5° - 9.8 \times 7.1 = -44.7\mathrm{m/s}$$

所以落地时的速度 $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 74.9\mathrm{m/s}$

速度方向与水平面的夹角为 $\theta = \arctan\dfrac{v_y}{v_x} = -36.6°$

1-6 解题过程 对加速度表达式进行积分，得速度表达式

$$v = \int 4 - t^2\,\mathrm{d}t = 4t - \frac{1}{3}t^3 + v_0 \tag{a}$$

将 $t = 3\mathrm{s}$，$v = 2\mathrm{m/s}$ 代入(a) 式，得 $v_0 = -1\mathrm{m/s}$

故速度表达式为 $v = 4t - \frac{1}{3}t^3 - 1$

对速度表达式进行积分，得质点的运动表达式

$$x = \int (4t - \frac{1}{3}t^3 - 1)\mathrm{d}t = 2t^2 - \frac{1}{12}t^4 - t + x_0 \tag{b}$$

将 $t = 3\mathrm{s}, x = 9\mathrm{m}$ 代入(b) 式，得 $x_0 = 0.75\mathrm{m}$

故质点运动表达式为 $x = 2t^2 - \frac{1}{12}t^4 - t + 0.75$

1-7 思路点拨 在不同的参考系中观察，螺帽的运动状况不同。相对地球参考系，螺帽作竖直上抛运动，初速度为 2.44m/s；相对升降机参考系，螺帽作初速度为零的落体运动（不是自由落体运动）。

解题过程 (1) 以地球为参考系，螺帽在高度为 2.74m 处作初速度为 2.44m/s 的竖直上抛运动。升降机以加速度 a 作匀加速直线运动，故螺帽的运动方程为

$$x_1 = 2.74 + 2.44t - \frac{1}{2}gt^2 \tag{a}$$

升降机底面运动方程为 $x_2 = 2.44t + \frac{1}{2} \times 1.22t^2$ (b)

螺帽从天花板落到升降机底面时满足 $x_1 = x_2$，故将(a)(b) 两式作差，得 $(9.8 + 1.22)t^2 = 2 \times 2.74$

解得 $t = 0.71\mathrm{s}$

若以升降机为参考系，则螺帽以相对升降机为 a'（其中 $a' = a + g$）的加速度作初速度为零的落体运动，其路程（即天花板与升降机底面的距离）为 2.74m。

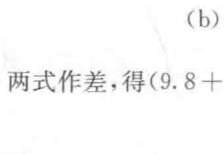
$h = \frac{1}{2}a't^2 = \frac{1}{2}(a+g)t^2$，代入数据得 $t = 0.71\mathrm{s}$

(2) 由(a) 式得，螺帽相对地面下降的距离为 $\Delta h = h - x = -2.44t + \frac{1}{2}gt^2$

将 $t = 0.71\mathrm{s}$ 代入上式，得 $\Delta h = 0.74\mathrm{m}$

1-8 解题过程 设某一时刻船的位置如习题 1-8 解图所示，可列式：

$$l^2 = h^2 + s^2$$



习题 1-8 解图

将上式两边分别对时间求导，得

$$2l\frac{\mathrm{d}l}{\mathrm{d}t} = 2s\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$$

则收绳速率 $v_0 = \left|\frac{\mathrm{d}l}{\mathrm{d}t}\right|$，船速率 $v = \left|\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}\right|$

$$v = -\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} = -\frac{l}{s} \cdot \frac{\mathrm{d}l}{\mathrm{d}t} = \frac{l}{s}v_0 = \frac{\sqrt{h^2+s^2}}{s}v_0$$

将上式对时间 t 求导，求得船的加速度大小为

$$a = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = \frac{s\frac{\mathrm{d}l}{\mathrm{d}t} - l\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}}{s^2}v_0 = \frac{-sv_0 + lv}{s^2}v_0$$

$$= \frac{-s+\frac{l^2}{s}}{s^2}v_0^2 = \frac{h^2}{s^3}v_0^2$$

1-9 思路点拨 这是质点运动学的第二类问题，即已知运动加速度，求运动方程。因此，解决问题的关键是首先根据题设条件确定加速度随时间变化的函数表达式，然后积分求解。

解题过程 由于加速度匀速增加，故加速度与时间 t 的关系为

$$a = \frac{a_0}{\tau}t + a_0$$

对其进行积分有 $v = \int a\mathrm{d}t = \int\left(\frac{a_0}{\tau}t + a_0\right)\mathrm{d}t = a_0 t + \frac{a_0}{2\tau}t^2$

对速度进行积分有 $x = \int v\mathrm{d}t = \int\left(a_0 t + \frac{a_0}{2\tau}t^2\right)\mathrm{d}t = \frac{1}{2}a_0 t^2 + \frac{a_0}{6\tau}t^3$

1-10 解题过程 对运动方程两边进行求导，有 $2\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t} = 2x\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$，即 $v_y = xv_x$

又因为 $v_x = 4$，故有 $v_y = 4x$

所以质点的速度 $\boldsymbol{v} = v_x\boldsymbol{i} + v_y\boldsymbol{j} = 4\boldsymbol{i} + 4x\boldsymbol{j}$

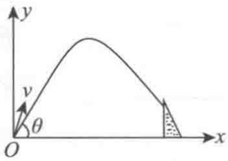
质点的加速度为 $\boldsymbol{a} = a_x\boldsymbol{i} + a_y\boldsymbol{j} = \frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i} + \frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j} = \left(4\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\right)\boldsymbol{j} = 16\boldsymbol{j}$

质点位于 $x = 2\mathrm{m}$ 处的速度为 $\boldsymbol{v} = 4\boldsymbol{i} + 8\boldsymbol{j}$

1-11 解题过程 足球作抛体运动，以罚球位置为原点，建立如习题 1-11 解图所示的 Oxy 坐标系。则在 x 轴、y 轴的运动轨迹分别为

$$x = v \cdot \cos\theta \cdot t \qquad \text{(a)}$$

$$y = v \cdot \sin\theta \cdot t - \frac{1}{2}gt^2 \qquad \text{(b)}$$



习题 1-11 解图

由(a) 式得 $t = \frac{x}{v\cos\theta}$

将其代入(b) 式得 $y = x\tan\theta - \frac{gx^2}{2v^2\cos^2\theta}$

进一步整理得 $y = x\tan\theta - \frac{gx^2}{2v^2}(\tan^2\theta + 1) \qquad \text{(c)}$

若将球在竖直面内踢进,则有 $x = 25\text{m}, 0 \leqslant y \leqslant 3.44\text{m}$

将 $x = 25, y \geqslant 0, v = 20$ 代入(c)式,得 $\tan^2\theta - 3.27\tan\theta + 1 \leqslant 0$

解得 $18.89° \leqslant \theta \leqslant 71.11°$

将 $x = 25, y \leqslant 3.44, v = 20$ 代入(c)式,得 $\tan^2\theta - 3.27\tan\theta + 1.32 \geqslant 0$

解得 $\theta \geqslant 69.92°$ 或 $\theta \leqslant 27.92°$

综上所述,射门的角度范围为 $18.89° \leqslant \theta \leqslant 27.92°$ 或 $69.92° \leqslant \theta \leqslant 71.11°$

1-12 思路点拨 足球作抛体运动,若要在垂直于球门的竖直平面内将足球直接踢进球门,足球必须满足当水平位移为 25.0m 时,竖直方向的位移介于球门的高度范围内。

解题过程 由习题 1-12 图得,水柱在 x 轴、y 轴的运动方程分别为

$$x = v_0 \cos\theta t \tag{a}$$

$$y = v_0 \sin\theta t - \frac{1}{2}gt^2 \tag{b}$$

联立(a)(b)两式,消去 θ 得 $x^2 + (y + \frac{1}{2}gt^2)^2 = v_0^2t^2$

将 $y = -1\text{m}, v_0 = \sqrt{2g}$ 代入上式得 $x^2 = 3gt^2 - 1 - \frac{1}{4}g^2t^4$ (c)

则有 $\frac{\mathrm{d}x^2}{\mathrm{d}t} = 6gt - g^2t^3 = gt(6 - gt^2)$,令 $\frac{\mathrm{d}x^2}{\mathrm{d}t^2} = 0$ 则 $gt^2 = 6$,代入(c)式得 $x^2 = 3 \times 6 - 1 - \frac{1}{4} \times 6^2 = 8$,所以 $x = 2\sqrt{2}\text{m}$,即水池半径至少为 $2\sqrt{2}\text{m}$。

1-13 思路点拨 因为角加速度是常量,可直接用匀角加速运动的公式求得角速度,并由角量和线量关系式分别解出法向加速度和切向加速度,合成后可得总加速度。

解题过程 (1) 由质点的角速度与角加速度之间的关系 $\omega = \omega_0 + \alpha t$,得

第 1s 末的角速度 $\omega = 0 + \pi \times 1 = \pi\text{rad/s}$

质点作圆周运动时,法向加速度的大小 $a_n = r\omega^2$

代入数据得 $a_n = 10 \times \pi^2 = 98.7\text{m/s}^2$

质点作圆周运动时的切向加速度的大小 $a_t = r\alpha = 10\pi = 31.4\text{m/s}^2$

(2) 合成加速度 $a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2} = 103.6\text{m/s}^2$

加速度 a 与切向方向的夹角为 $\theta = \frac{a_n}{a_t} = 72°$

1-14 思路点拨 初始阶段,A 点沿轮的切线方向作匀加速直线运动,到达 B 点后才作匀角加速转动,所以最初 A 点的加速度即是轮边缘的切向加速度,而 A 点运动到 C 点处时的

加速度为该处切向加速度和法向加速度的矢量和。

解题过程 整个运动可以分为两个阶段:A 到 B 的初速度为零的匀加速直线运动,B 到 C 的匀角加速转动。

A 到 B 作匀加速直线运动,有 $s=\frac{1}{2}a_t t^2$

将 $s=0.45$,$t=3\text{s}$ 代入上式,得 $a_t=0.1\text{m/s}^2$

故到达 B 点的速度 $v_B=a_t t=0.3\text{m/s}$

由 A 点到 C 点经过的路程 $l=s+\frac{1}{2}(2\pi R)=s+\pi R$

故到达 C 点的速度为

$v=\sqrt{2a_t l}=\sqrt{2a_t(s+\pi R)}=\sqrt{2\times0.1\times(0.45+3.14\times0.5)}=0.636\text{m/s}$

方向沿 C 点切线向左。

由法向加速度公式 $a_n=\frac{v^2}{R}$ 得 C 点处的法向加速度为

$$a_n=\frac{v^2}{R}=\frac{0.636^2}{0.5}=0.809\text{m/s}^2$$

所以 C 点的加速度 $a=\sqrt{a_n^2+a_t^2}=\sqrt{0.809^2+0.1^2}=0.815\text{m/s}^2$

加速度与速度的方向夹角为 $\theta=\arctan\frac{a_n}{a}=82°57'$

1-15 解题过程 设火箭飞行高度为 h,根据三角函数关系得 $h=l\cdot\tan\alpha$

则火箭飞行速度 $v=\frac{\mathrm{d}h}{\mathrm{d}t}=l\cdot\sec^2\alpha\cdot\frac{\mathrm{d}\alpha}{\mathrm{d}t}=l\cdot\omega\cdot\sec^2\alpha$

1-16 解题过程 根据相对运动的速度关系得 $v_{机地}=v_{机空}+v_{空地}$,即 $v_{机地}=v+u$

(1) 当空气静止即 $u=0$ 时,$v_{机地}=v_{机空}=v$,则 $t_{来}=t_{往}=\frac{L}{v}$

故来回飞行的时间 $t_0=\frac{2L}{v}$

(2) 空气由南往北且 $v_{空地}=u$

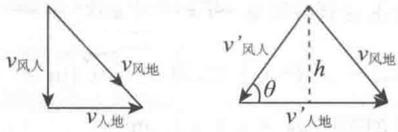
此时,由 A 到 B 的过程中 $v_{机地}=v+u$,由 B 到 A 的过程中 $v_{机地}=v-u$

则 $t_1=\frac{L}{v+u}+\frac{L}{v-u}=\frac{2Lv}{v^2-u^2}=\frac{\frac{2L}{v}}{\frac{v^2-u^2}{v^2}}=\frac{t_0}{\left(1-\frac{u^2}{v^2}\right)}$

(3) 当空气速度由东向西时,由矢量关系图得 $v_{往}=\sqrt{v^2-u^2}$,$v_{返}=\sqrt{v^2-u^2}$

$$t_2=\frac{2L}{\sqrt{v^2-u^2}}=\frac{2L}{v\sqrt{1-\frac{u^2}{v^2}}}=\frac{t_0}{\sqrt{1-\frac{u^2}{v^2}}}$$

1-17 **解题过程** 两种奔跑情况的矢量关系如习题 1-17 题图所示。



习题 1-17 解图

根据相对运动速度公式得 $\quad v_{风地}=v_{风人}+v_{人地}$

由已知条件得 $\quad v'_{人地}=2v_{人地}=2u=6\text{m/s}$

由题意得 $\theta=45°$

所以 $h=v_{人地}=u=3\text{m/s}$

故 $v_{风地}=\sqrt{3^2+3^2}=4.24\text{m/s}$

$\theta=\arctan\frac{3\sqrt{2}}{3}=45°$，即风从西偏北 45° 吹来。

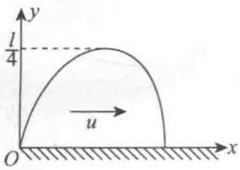
1-18 **思路点拨** 这是一个相对运动的问题。由相对运动的坐标变换式，写出质点相对观察者 O' 的运动方程分量式，从而求得质点相对观察者 O' 的运动轨迹和加速度。

解题过程 由相对运动的坐标转换公式结合观察者 O' 的观察情况，得观察者 O' 测得的质点

坐标为$\begin{cases}x'=-ut+x=-ut+ut=0\\ y'=y=\frac{1}{2}gt^2\end{cases}$

故质点相对观察者 O' 的运动是 y 方向的匀变速直线运动。

1-19 **解题过程** 首先建立坐标系，如习题 1-19 解图所示。因为船相对水流的速度始终垂直于水流方向，所以设沿岸方向的轴为 x 轴，与岸相垂直的方向的轴为 y 轴，小船出发点为原点。由题设条件可写出水流对岸的速度分布函数式：



习题 1-19 解图

$$\boldsymbol{u}=\frac{2v_0}{l}y\boldsymbol{i}\left(y\leqslant\frac{l}{2}\right)$$

船相对岸的运动可分解为沿岸的方向和垂直于岸的方向的两个分运动。

往程：小船相对水流的速度 $\quad \boldsymbol{v}_y=v\boldsymbol{j}$

$$\boldsymbol{v}_x=\boldsymbol{u}=\frac{2v_0}{l}y\boldsymbol{i}$$