



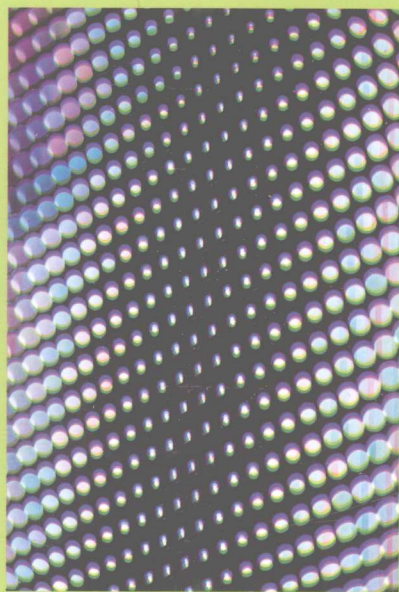
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

P H Y S I C S

# 大学基础 物理学

(第3版)

张三慧 编著  
阮东 安宇 修订



清华大学出版社





普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 大学基础 物理学

(第3版)

张三慧 编著

阮东 安宇 修订

# 上

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

《大学基础物理学》(第3版)分上下两册,上册内容包括力学和热学。力学篇讲述经典的质点力学、理想流体的运动规律、刚体转动的基本内容和狭义相对论基础知识等。热学篇着重在分子论的基础上用统计概念说明温度、气体的压强以及麦克斯韦分布率。下册内容包括电磁学、波动与光学、量子物理基础。电磁学篇按传统体系讲述了电场、电势、磁场、电磁感应和电磁波的基本概念和规律,还说明了电场和磁场的相对性。波动与光学篇介绍了振动与波的基本特征和光的干涉、衍射和偏振的基本规律。量子物理基础篇介绍了波粒二象性、概率波、不确定关系和能量量子化等基本概念以及原子和固体中电子的状态和分布的规律,最后还介绍了原子核的结合能、放射性衰变和核反应等基本知识。本书还编写了大量来自生活、实用技术以及自然现象等方面的例题和习题。

本书上下册内容涵盖了大学物理学教学的基本要求,可作为高等院校物理课程的教材,也可作为中学物理教师或其他读者的自学参考书。

与本书配套的《大学基础物理学学习辅导与习题解答(第3版)》、电子教案、教师用书(电子版)均由清华大学出版社出版。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

大学基础物理学. 上/张三慧编著. —3版. —北京:清华大学出版社,2017  
ISBN 978-7-302-45584-4

I. ①大… II. ①张… III. ①物理学—高等学校—教材 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 283888 号

责任编辑:朱红莲

封面设计:傅瑞学

责任校对:赵丽敏

责任印制:何 芊

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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 刷 者:三河市君旺印务有限公司

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:17 字 数:410千字

版 次:2003年8月第1版 2017年2月第3版 印 次:2017年2月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:35.00元

产品编号:062614-01

# 第3版前言

## FOREWORD

大学物理课程在高等学校理工科专业类人才培养中具有其他课程所不能替代的重要作用。大学物理教学不仅教给学生一些必要的物理基础知识,更重要的是引导学生在学习过程中,逐渐形成正确的科学观,掌握科学方法,树立科学精神。物理学还可以开拓学生视野,提高创新意识。

《大学基础物理学》(第3版)是在《大学基础物理学》(第2版)(清华大学出版社,2006年)的基础上,根据教育部高等学校物理基础课程教学指导委员会于2011年2月出版的《理工科类大学物理课程教学基本要求》的精神,结合不同类型高校、不同层次教学实践的需要,并听取近些年高等院校师生的反馈信息修订而成的。其中阮东负责第二、四、五篇;安宇负责第一、三篇。本次修订保持了第2版整体结构严谨、精炼,讲述简明、流畅,便于教学的特点。主要修改了第2版中的一些文字表述,更换了部分图表,订正了排版错误。考虑到当今网络使用的便捷和海量资源共享,我们只保留了部分与书中教学内容关联紧密的、有趣的课外阅读材料,以激发学习兴趣,丰富学生的知识面。

阮 东 安 宇

2016年12月于清华园

# 第2版前言

## FOREWORD

大学物理课程是大学阶段一门重要的基础课,它将在高中物理的基础上进一步提高学生的现代科学素质。为此,物理课程应提供内容更广泛更深入的系统的现代物理学知识,并在介绍这些知识的同时进一步培养学生的科学思想、方法和态度并引发学生的创新意识和能力。

根据上述对大学物理课程任务的理解,本书在高中物理的基础上系统而又严谨地讲述了基本的物理原理。内容的安排总体上是按传统的力、热、电、光、量子物理的顺序。所以“固守”此传统,是因为到目前为止,物理学的发展并没有达到可能和必要在基础物理教学上改变这一总体系的程度。书中具体内容主要是经典物理基本知识,但同时也包含了许多现代物理,乃至一些物理学前沿的理论和实验以及它们在现代技术中应用的知识。本书还开辟了“今日物理趣闻”专栏,简要地介绍了如奇妙的对称性、宇宙发展、全息等课题,以开阔学生视野,激发其学习兴趣,并启迪其创造性。

本书选编了大量联系实际的例题和习题,从光盘到打印机,从跳水到蹦极,从火箭到对撞机,从人造卫星到行星、星云等等都有涉及。其中还特别注意选用了我国古老文明与现代科技的资料,如王充论力,苏东坡的回文诗,神舟飞船的升空,热核反应的实验等。对这些例题和习题的分析与求解能使学生更实在又深刻地理解物理概念和规律,了解物理基础知识的重要的实际意义,同时也有助于培养学生联系实际的学风,增强民族自信心。为了便于理解,本书取材力求少而精,论述力求简而明。

本书是在第1版(清华大学出版社2003)的基础上,参考老师和学生的意见和建议,并融入了笔者对教学内容的新体会重新修改而成。

本书分上下两册,共包括五篇:力学、热学、电磁学、波动与光学、量子物理简介。

力学篇完全按传统体系讲述。以牛顿定律为基础和出发点,引入动量、角动量和能量概念,导出动量、角动量和机械能等的守恒定律,最后将它们都推广到普遍的形式。守恒定律在物理思想和方法上讲固然是重要的,但在解决实际问题时经典的动力学概念与规律也常是不可或缺的。本书对后者也作了较详细的讲解。力学篇还强调了参考系的概念,说明了守恒定律的意义,并注意到了物理概念和理论的衍生和发展。

热学篇除了对系统——特别是气体——的宏观性质及其变化规律作了清晰的介绍外,大大加强了在分子理论基础上的统计概念和规律的讲解。除了在第7章温度和气体动理论中着重介绍了统计规律外,在其他各章对功、热的实质、热力学第一定律、热力学第二定律以及熵的微观意义和宏观表示式等都结合统计概念作了许多独特而清晰的讲解。

电磁学篇以库仑定律、毕奥-萨伐尔定律和法拉第定律为基础展开,直至麦克斯韦方程组。在讲解了电流的磁场之后,还根据相对论指出了电场和磁场的相对性,使学生对电磁场的性质有更深入的理解。在分析方法上,本篇强调了对称性的分析,如在求电场和磁场的分布时,都应用了空间对称性的概念。

波动与光学篇主要着眼于清晰地讲解波、光的干涉和衍射的基本现象和规律。

量子物理基础篇的重点放在最基本的量子力学概念方面,如波粒二象性、不确定关系等,至于薛定谔方程及其应用、原子中电子运动的规律、固体物理等只作了很简要的陈述。

本书内容概括了大学物理学教学的最基本要求。为了帮助学生掌握各篇内容的体系结构与脉络,每篇开始都编制了该篇内容及基本知识系统图。书末附有物理学常用数据的最新公认取值的“数值表”,便于学生查阅和应用。

诚挚地欢迎各位读者对本书的各种意见和建议。

张三慧

2006年11月于清华园

# 目 录

## CONTENTS

### 第 1 篇 力 学

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第 1 章 质点运动学 .....     | 3  |
| 1.1 匀变速直线运动 .....     | 3  |
| 1.2 参考系 .....         | 5  |
| 1.3 质点的位矢、位移和速度 ..... | 8  |
| 1.4 加速度 .....         | 11 |
| 1.5 匀加速运动 .....       | 14 |
| 1.6 抛体运动 .....        | 15 |
| 1.7 圆周运动 .....        | 18 |
| 1.8 相对运动 .....        | 21 |
| 提要 .....              | 23 |
| 思考题 .....             | 24 |
| 习题 .....              | 25 |
| 第 2 章 牛顿运动定律 .....    | 27 |
| 2.1 牛顿运动定律 .....      | 27 |
| 2.2 常见的几种力 .....      | 29 |
| *2.3 基本的自然力 .....     | 33 |
| 2.4 应用牛顿定律解题 .....    | 35 |
| 2.5 非惯性系与惯性力 .....    | 39 |
| *2.6 混沌 .....         | 43 |
| 提要 .....              | 45 |
| 思考题 .....             | 45 |
| 习题 .....              | 47 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| <b>第3章 动量与角动量</b> .....  | 51  |
| 3.1 冲量与动量定理 .....        | 51  |
| 3.2 动量守恒定律 .....         | 54  |
| 3.3 火箭飞行原理 .....         | 57  |
| 3.4 质心 .....             | 58  |
| 3.5 质心运动定理 .....         | 60  |
| 3.6 质点的角动量和角动量定理 .....   | 63  |
| 3.7 角动量守恒定律 .....        | 65  |
| 提要 .....                 | 68  |
| 思考题 .....                | 68  |
| 习题 .....                 | 69  |
| <br>                     |     |
| <b>第4章 功和能</b> .....     | 71  |
| 4.1 功 .....              | 71  |
| 4.2 动能定理 .....           | 74  |
| 4.3 势能 .....             | 77  |
| 4.4 引力势能 .....           | 79  |
| *4.5 由势能求保守力 .....       | 81  |
| 4.6 机械能守恒定律 .....        | 82  |
| 4.7 守恒定律的意义 .....        | 86  |
| 4.8 碰撞 .....             | 87  |
| 4.9 流体的稳定流动 .....        | 92  |
| 4.10 伯努利方程 .....         | 94  |
| 提要 .....                 | 97  |
| 思考题 .....                | 99  |
| 习题 .....                 | 100 |
| <br>                     |     |
| <b>今日物理趣闻 A 奇妙的对称性</b>   |     |
| A.1 对称美 .....            | 104 |
| A.2 对称性种种 .....          | 106 |
| A.3 物理定律的对称性 .....       | 107 |
| A.4 宇称守恒与不守恒 .....       | 108 |
| A.5 自然界的不对称现象 .....      | 109 |
| A.6 关于时间的对称性 .....       | 110 |
| <br>                     |     |
| <b>第5章 刚体的定轴转动</b> ..... | 112 |
| 5.1 刚体转动的描述 .....        | 112 |
| 5.2 转动定律 .....           | 114 |



|              |                       |            |
|--------------|-----------------------|------------|
| 5.3          | 转动惯量的计算 .....         | 116        |
| 5.4          | 刚体的角动量和角动量守恒 .....    | 118        |
| 5.5          | 转动中的功和能 .....         | 121        |
|              | 提要 .....              | 125        |
|              | 思考题 .....             | 126        |
|              | 习题 .....              | 127        |
| <b>第 6 章</b> | <b>相对论</b> .....      | <b>130</b> |
| 6.1          | 牛顿相对性原理和伽利略坐标变换 ..... | 130        |
| 6.2          | 爱因斯坦相对性原理和光速不变 .....  | 133        |
| 6.3          | 同时性的相对性和时间延缓 .....    | 134        |
| 6.4          | 长度收缩 .....            | 138        |
| 6.5          | 洛伦兹坐标变换 .....         | 140        |
| 6.6          | 相对论速度变换 .....         | 144        |
| 6.7          | 相对论质量 .....           | 146        |
| 6.8          | 相对论动能 .....           | 149        |
| 6.9          | 相对论能量 .....           | 150        |
| 6.10         | 动量和能量的关系 .....        | 153        |
| *6.11        | 广义相对论简介 .....         | 154        |
|              | 提要 .....              | 156        |
|              | 思考题 .....             | 157        |
|              | 习题 .....              | 158        |

## 第 2 篇 热 学

|              |                       |            |
|--------------|-----------------------|------------|
| <b>第 7 章</b> | <b>温度和气体动理论</b> ..... | <b>164</b> |
| 7.1          | 平衡态 .....             | 164        |
| 7.2          | 温度的概念 .....           | 165        |
| 7.3          | 理想气体温标 .....          | 165        |
| 7.4          | 理想气体状态方程 .....        | 168        |
| 7.5          | 气体分子的无规则运动 .....      | 169        |
| 7.6          | 理想气体的压强 .....         | 171        |
| 7.7          | 温度的微观意义 .....         | 174        |
| 7.8          | 能量均分定理 .....          | 176        |
| 7.9          | 麦克斯韦速率分布律 .....       | 178        |
| 7.10         | 麦克斯韦速率分布律的实验验证 .....  | 181        |
| 7.11         | 实际气体等温线 .....         | 183        |

|           |     |
|-----------|-----|
| 提要 .....  | 186 |
| 思考题 ..... | 187 |
| 习题 .....  | 188 |

## 今日物理趣闻 B 大爆炸和宇宙膨胀

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| B.1 现时的宇宙 .....         | 191 |
| B.2 宇宙膨胀和大爆炸 .....      | 192 |
| B.3 从大爆炸到今天 .....       | 194 |
| B.4 宇宙的未来 .....         | 197 |
| B.5 至大和至小的理论结合起来了 ..... | 199 |

## 第8章 热力学第一定律 .....

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 8.1 功 热量 热力学第一定律 ..... | 200 |
| 8.2 准静态过程 .....        | 202 |
| 8.3 热容 .....           | 205 |
| 8.4 绝热过程 .....         | 208 |
| 8.5 循环过程 .....         | 211 |
| 8.6 卡诺循环 .....         | 213 |
| 8.7 致冷循环 .....         | 215 |
| 提要 .....               | 217 |
| 思考题 .....              | 218 |
| 习题 .....               | 219 |

## 第9章 热力学第二定律 .....

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 9.1 自然过程的方向 .....       | 222 |
| 9.2 不可逆性的相互依存 .....     | 223 |
| 9.3 热力学第二定律及其微观意义 ..... | 225 |
| 9.4 热力学概率与自然过程的方向 ..... | 227 |
| 9.5 玻耳兹曼熵公式与熵增加原理 ..... | 229 |
| 9.6 可逆过程 .....          | 231 |
| 9.7 克劳修斯熵公式 .....       | 233 |
| *9.8 熵和能量退降 .....       | 236 |
| 提要 .....                | 237 |
| 思考题 .....               | 238 |
| 习题 .....                | 238 |

|            |     |
|------------|-----|
| 数值表 .....  | 240 |
| 习题答案 ..... | 242 |
| 索引 .....   | 248 |
| 参考文献 ..... | 258 |

# 第

# 1

# 篇

# 力 学

**力**学是一门古老的学问,其渊源在西方可追溯到公元前 4 世纪古希腊学者柏拉图认为圆运动是天体的最完美的运动和亚里士多德关于力产生运动的说教,在中国可以追溯到公元前 5 世纪《墨经》中关于杠杆原理的论述。但力学(以及整个物理学)成为一门科学理论应该说是从 17 世纪伽利略论述惯性运动开始,继而牛顿提出了后来以他的名字命名的三个运动定律。现在以牛顿定律为基础的力学理论叫牛顿力学或经典力学。它曾经被尊为完美普遍的理论而兴盛了约 300 年。在 20 世纪初虽然发现了它的局限性,在高速领域为相对论所取代,在微观领域为量子力学所取代,但在一般的技术领域,包括机械制造、土木建筑,甚至航空航天技术中,经典力学仍保持着充沛的活力而处于基础理论的地位。它的这种实用性是我们学习经典力学的一个重要原因。

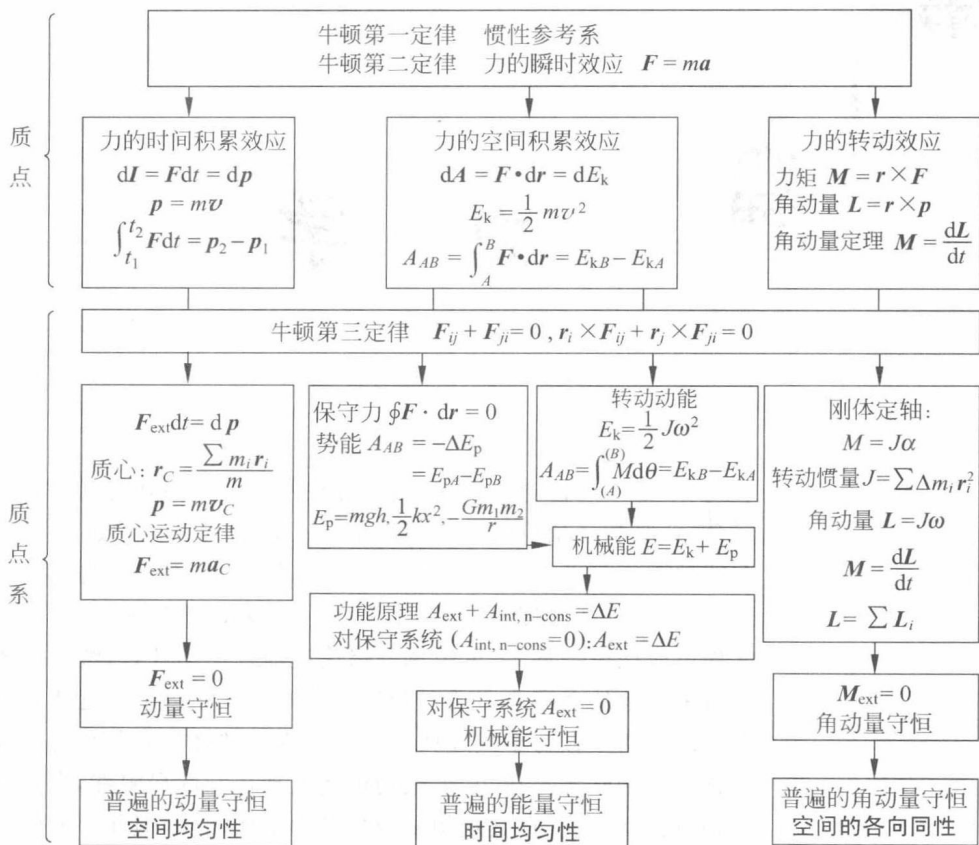
由于经典力学是最早形成的物理理论,后来的许多理论,包括相对论和量子力学的形成都受到它的影响。后者的许多概念和思想都是经典力学概念和思想的发展或改造。经典力学在一定意义上是整个物理学的基础,这是我们要学习经典力学的另一个重要原因。

本篇要讲述的内容包括质点力学和刚体力学基础。着重阐明动量、角动量和能量诸概念及相应的守恒定律。狭义相对论的时空观已是当今物理学的基础概念,它和牛顿力学联系紧密。本篇第 6 章介绍狭义相对论的基本概念和原理。

量子力学是一门全新的理论,在本篇适当的地方,插入了一些量子力学概念以便和经典概念加以比较。

经典力学一向被认为是决定论的,但是是不可预测的。为了使同学们了解经典力学的这一新发展,本篇 2.6 节“混沌”中简单介绍了这方面的基本知识。

## 本篇所采用的牛顿力学基本知识系统图



# 质点运动学

**经**典力学是研究物体的机械运动的规律的。为了研究,首先描述。力学中描述物体运动的内容叫做运动学。实际的物体结构复杂,大小各异,为了从最简单的研究开始,引进质点模型,即以具有一定质量的点来代表物体。本章讲解质点运动学。相当一部分概念和公式在中学物理课程中已学习过了,本章在简要复习的基础上,对它们进行了更严格、更全面也更系统化的讲解。例如强调了参考系的概念,速度、加速度的定义都用了导数这一数学运算,还普遍加强了矢量概念。又例如圆周运动介绍了切向加速度和法向加速度两个分加速度。最后还介绍了同一物体运动的描述在不同参考系中的变换关系——伽利略变换。

## 1.1 匀变速直线运动

在高中课程中同学们已学习了如何描述质点的匀变速(或称匀加速)直线运动。以质点运动所沿的直线为  $x$  轴,质点在各时刻  $t$  的位置以坐标值  $x$  表示,则质点的运动就表示为  $x$  随  $t$  的变化,如图 1.1 所示。在时刻  $t$  前后  $\Delta t$  时间内质点运动的快慢用平均速度  $\bar{v}$  表示,

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (1.1)$$

如果  $\Delta t$  非常小, $\bar{v}$  即是时刻  $t$  质点的瞬时速度或速度,以  $v$  表示,其大小称为速率。速率的单位常用  $\text{m/s}$ 。

质点在运动中其速度可能随时间改变,此改变的快慢称为加速度。 $\Delta t$  时间内的平均加速度用  $\bar{a}$  表示,为

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (1.2)$$

如果  $\Delta t$  非常小, $\bar{a}$  即是时刻  $t$  质点的瞬时加速度或加速度,以  $a$  表示。加速度的单位常用  $\text{m/s}^2$ 。

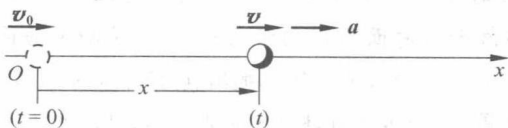


图 1.1 直线运动图示

如果在运动中,质点的速度均匀变化,即加速度  $a$  不随时间改变而为一常量,这种运动称为匀变速运动。关于匀变速直线运动,有下列基本关系式:

速度和时间(初速度为  $v_0$ ):

$$v = v_0 + at \quad (1.3)$$

位置和时间(初位置在原点):

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (1.4)$$

上两式中消去  $t$ , 还可得

速度和位置的关系:

$$v^2 = v_0^2 + 2ax \quad (1.5)$$

实际上常见的匀变速直线运动有沿竖直方向的自由落体运动,它的加速度竖直向下,称自由落体加速度或重力加速度。值得强调的是,实验证明在地球上同一地点,不同的物体的重力加速度都相同。通常以  $g$  表示重力加速度的大小。地面上各处不太高的范围内,  $g$  一般就在  $9.8 \text{ m/s}^2$  左右。一般计算就取

$$g = 9.80 \text{ m/s}^2$$

对于由静止自由下落( $v_0=0$ )的物体,以  $t$  表示下落的时间,  $h$  表示下落的高度,并以向下为坐标正方向,则式(1.3)到式(1.5)转化为

$$v = gt \quad (1.6)$$

$$h = \frac{1}{2} gt^2 \quad (1.7)$$

$$v^2 = 2gh \quad (1.8)$$

**例 1.1 电子加速。**在电视机的电子枪内一电子被电场均匀加速沿直线前进,如图 1.2 所示,经过  $2.00 \text{ cm}$  距离后其速率由  $2.80 \times 10^4 \text{ m/s}$  增大为  $5.20 \times 10^6 \text{ m/s}$ ,求此电子在此加速过程中的加速度和所用的时间。

**解** 以电子运动的径迹为  $x$  轴,原点选在  $2.00 \text{ cm}$  的起点(图 1.2),则电子的初速度为  $v_0 = 2.80 \times 10^4 \text{ m/s}$ ,而在到达  $x = 2.00 \text{ cm}$  处时其速率变为  $v = 5.20 \times 10^6 \text{ m/s}$ 。于是利用式(1.5)可求得电子的加速度为

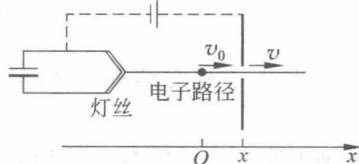


图 1.2 电子枪示意图

$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2x} = \frac{(5.20 \times 10^6)^2 - (2.80 \times 10^4)^2}{2 \times 2.00 \times 10^{-2}}$

$$= 6.76 \times 10^{14} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

再利用式(1.3),可求得电子经过  $2.00 \text{ cm}$  时所用的时间是

$$t = \frac{v - v_0}{a} = \frac{5.20 \times 10^6 - 2.80 \times 10^4}{6.76 \times 10^{14}} = 7.65 \times 10^{-9} \text{ (s)}$$

**例 1.2 悬崖抛石。**在高出海面  $30 \text{ m}$  的悬崖边上以  $15 \text{ m/s}$  的初速竖直向上抛出一石子,如图 1.3 所示,设石子回落时不再碰到悬崖并忽略空气的阻力。求(1)石子能达到的最大高度;(2)石子从被抛出到回落触及海面所用的时间;(3)石子触及海面时的速度。

**解** 取通过抛出点的竖直线为  $x$  轴,向上为正,抛出点为原点(图 1.3)。石子抛出后做匀变速运动,就可以用式(1.3)~式(1.5)求解。由于重力加速度和  $x$  轴方向相反,所以式(1.3)~式(1.5)中的  $a$  值应取  $-g$ ,而  $v_0 = 15 \text{ m/s}$ 。

此题可分两阶段求解:石子上升阶段和回落阶段。

(1) 以  $x_1$  表示石子达到的最高位置, 由于此时石子的速度应为  $v_1=0$ , 所以由式(1.5) ( $v^2=v_0^2+2(-g)x$ ) 可得

$$x_1 = \frac{v_0^2 - v_1^2}{2g} = \frac{15^2 - 0^2}{2 \times 9.80} = 11.5 \text{ (m)}$$

即石子最高可达到抛出点以上 11.5 m 处。

(2) 石子上升到最高点, 根据式(1.3) ( $v=v_0+(-g)t$ ) 可得所用时间  $t_1$  为

$$t_1 = \frac{v_0 - v_1}{g} = \frac{15 - 0}{9.80} = 1.53 \text{ (s)}$$

石子到达最高点时就要回落(为清晰起见, 在图 1.3 中将石子回落路径和上升路径分开画了), 做初速度为零的自由落体运动, 这时可利用公式(1.6)~式(1.8), 由于下落高度为  $h=11.5+30=41.5$  m, 所以由式(1.7) ( $h=\frac{1}{2}gt^2$ ) 可得下落的时间为

$$t_2 = \sqrt{2h/g} = \sqrt{2 \times 41.5/9.80} = 2.91 \text{ (s)}$$

于是, 石子从抛出到触及海面所用的总时间就是

$$t = t_1 + t_2 = 1.53 + 2.91 = 4.44 \text{ (s)}$$

(3) 石子触及海面时的速度可由式(1.8)求出, 为

$$v_2 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9.80 \times 41.5} = 28.5 \text{ (m/s)}$$

此题(2)、(3)两问也可以根据把上升下落作为一整体考虑, 这时石子在抛出后经过时间  $t$  后触及海面的位置应为  $x=-30$  m, 由式(1.5) ( $v^2=v_0^2+2(-g)x$ ) 可得石子触及海面时的速率为

$$v = -\sqrt{v_0^2 - 2gx} = -\sqrt{15^2 - 2 \times 9.80 \times (-30)} = -28.5 \text{ (m/s)}$$

此处开根号的结果取负值, 是因为此时刻速度方向向下, 与  $x$  轴正向相反。

根据式(1.4) ( $x=v_0t + \frac{1}{2}(-g)t^2$ ), 代入  $x, v_0$  和  $g$  的值可得

$$-30 = 15t - 4.9t^2$$

解此二次方程可得石子从抛出到触及海面所用总时间为  $t=4.44$  s(此方程另一解为  $-1.38$  s 对本题无意义, 故舍去)。

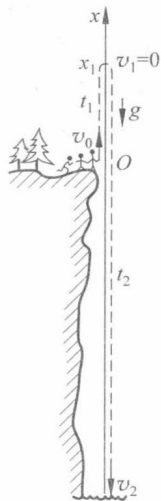


图 1.3 悬崖抛石

## 1.2 参考系

现在让我们对质点运动学加以更严格、更全面一些的讨论, 更一般地描述质点在三维空间的运动。

物体的机械运动是指它的位置随时间的改变。位置总是相对的, 这就是说, 任何物体的位置总是相对于其他物体或物体系来确定的。这个其他物体或物体系就叫做确定物体位置时用的参考物。例如, 确定交通车辆的位置时, 我们用固定在地面上的一些物体, 如房子或路牌作参考物。

经验告诉我们, 相对于不同的参考物, 同一物体的同一运动, 会表现为不同的形式。例如, 一个自由下落的石块的运动, 站在地面上观察, 即以地面为参考物, 它是直线运动。如果在近旁驶过的车厢内观察, 即以行进的车厢为参考物, 则石块将作曲线运动。物体运动的形式随参考物的不同而不同, 这个事实叫运动的相对性。由于运动的相对性, 当我们描述一个物体的运动时, 就必须指明是相对于什么参考物来说的。

确定了参考物之后, 为了定量地说明一个质点相对于此参考物的空间位置, 就在此参考



物上建立固定的坐标系。最常用的坐标系是笛卡儿直角坐标系。这个坐标系以参考物上某一固定点为原点  $O$ ，从此原点沿 3 个相互垂直的方向引 3 条固定在参考物上的直线作为坐标轴，通常分别叫做  $x, y, z$  轴(图 1.4)。在这样的坐标系中，一个质点在任意时刻的空间位置，如  $P$  点，就可以用 3 个坐标值  $(x, y, z)$  来表示。

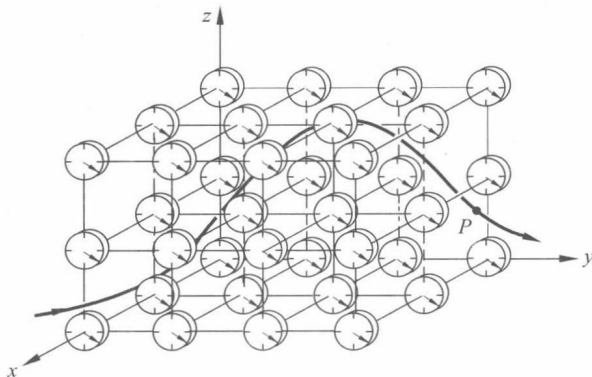


图 1.4 一个坐标系和一套同步的钟构成一个参考系

质点的运动就是它的位置随时间的变化。为了描述质点的运动，需要指出质点到达各个位置  $(x, y, z)$  的时刻  $t$ 。这时刻  $t$  是由在坐标系中各处配置的许多同步的钟(如图 1.4，在任意时刻这些钟的指示都一样)给出的<sup>①</sup>。质点在运动中到达各处时，都有近旁的钟给出它到达该处的时刻  $t$ 。这样，质点的运动，亦即它的位置随时间的变化，就可以完全确定地描述出来了。

一个固定在参考物上的坐标系和相应的一套同步的钟组成一个参考系。参考系通常以所用的参考物命名。例如，坐标轴固定在地面上(通常一个轴竖直向上)的参考系叫地面参考系(图 1.5 中  $O''x''y''z''$ )；坐标原点固定在地心而坐标轴指向空间固定方向(以恒星为基准)的参考系叫地心参考系(图 1.5 中  $O'x'y'z'$ )；原点固定在太阳中心而坐标轴指向空间固定方向(以恒星为基准)的参考系叫太阳参考系(图 1.5 中  $Oxyz$ )。常用的固定在实验室的参考系叫实验室参考系。

质点位置的空间坐标值是沿着坐标轴方向从原点开始量起的长度。在国际单位制 SI(其单位也是我国的法定计量单位)中，长度的基本单位是米(符号是 m)。现在国际上采用的米是 1983 年规定的<sup>②</sup>：**1 m 是光在真空中在  $(1/299\ 792\ 458)$  s 内所经过的距离。**这一规定的基础是激光技术的完善和相对论理论的确立。

指示质点到达空间某一位置的时刻在 SI 中是以秒(符号是 s)为基本单位计量的。以前

① 此处说的“在坐标系中各处配置的许多同步的钟”是一种理论的设计，实际上当然办不到。实际上是用一个钟随同物体一起运动，由它指出物体到达各处的时刻。这只运动的钟事前已和静止在参考系中的一只钟对好，二者同步。这样前者给出的时刻就是本参考系给出的时刻。实际的例子是宇航员的手表就指示他到达空间各处的时刻，这和地面上控制室的钟给出的时刻是一样的。不过，这种实际操作在物体运动速度接近光速时将失效，在这种情况下运动的钟和静止的钟不可能同步，其原因参见 6.3 节同时性的相对性与时间延缓。

② 关于基本单位的规定，请参见：张钟华. 基本物理常量与国际单位制基本单位的重新定义. 物理通报, 2006, 2: 7~10.