



张三慧 编著

大学物理学简程

上



清华大学出版社

张三慧 编著

大学物理学简程

(上)

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

《大学物理学简程》内容共分5篇。力学篇讲述经典的质点力学、理想流体的运动、刚体的转动和狭义相对论基础知识。电磁学篇按传统体系讲述了电场、磁场、电磁感应和电磁波的基本概念和规律。热学篇讲述气体动理论和热力学定理,用统计概念说明温度、气体的压强以及麦克斯韦分布率。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、偏振和几何光学的基本规律。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,其后介绍核物理的基本知识。最后浅显地介绍了基本粒子和宇宙爆炸的基本知识。

本书内容涵盖了大学非物理专业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。

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

未经清华大学出版社授权,请不要专门为本书编写学习辅导材料,如思考题和习题解答等。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学简程.上/张三慧编著. --北京:清华大学出版社,2010.1

ISBN 978-7-302-21557-8

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(2009)第222379号

责任编辑:邹开颜

责任校对:赵丽敏

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

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

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

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:15.25

字 数:365千字

版 次:2010年1月第1版

印 次:2010年1月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:24.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:028517-01

前言

FOREWORD

这部《大学物理学简程》分为上、下两册，上册含力学篇、电磁学篇，下册含热学篇、光学篇和量子物理篇。内容涵盖了2006年我国教育部发布的“非物理类理工学科大学物理课程基本要求”中的核心内容和少部分扩展内容。

本书是根据当前我国大学教育的情势和物理课程的需要，基于拙作《大学基础物理学》(第2版)而进行编写的，删减了一些讲解繁难的章节(如铁磁体、实际气体等温线)、公式推导(如单缝衍射、质速关系)和例题，简化了一些概念原理的讲解(如电势、介电质和爱因斯坦两个基本假设)，增加了一些基础性的习题。在延续了《大学基础物理学》(第2版)的基本体系、讲述风格和特色的同时，本书篇幅更加精练，对难度进行了适当调整，使之更适合中等学时大学物理学的教学。

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，并注意物理概念和理论的衍生和发展。

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。

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。

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，最后，根据光电波动性在特定条件下的近似特征——直接传播，讲述了几何光学的基本定律及反射镜和透镜的成像原理。

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、固体物理等只作了简要的陈述。基本粒子和宇宙学的基本知识属于教学要求中的扩展内容,也简单加以介绍。

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,激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。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。

本书内容涵盖了大学物理学教学的基本要求。为了帮助学生掌握各篇内容,每篇开始都综述了该篇内容,每章末都总结了各章提要。在习题的选编上分了3个层次:自测简题、思考题和习题。其中自测简题主要考查学生对基本原理和概念的理解,答案可经过简单直接计算获得,或需要对原理论叙述的正确性分析后得出。

本书还简述了若干位科学家的生平、品德与贡献,用以提高学生素养,鼓励成才。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。

本书的编写是作者在耄耋之年脑病康复期间着笔的,错误缺点必然不少,请各位老师、同学批评指正。

张三慧

2009年10月于清华园

目录

CONTENTS

第 1 篇 力 学

第 1 章 质点运动学	3
1.1 参考系	3
1.2 质点的位矢、位移和速度	4
1.3 加速度	6
1.4 匀加速运动	8
1.5 抛体运动	9
1.6 圆周运动	10
1.7 相对运动	13
提要	15
自测简题	15
思考题	16
习题	17
第 2 章 牛顿运动定律	18
2.1 牛顿三定律	18
2.2 常见的几种力	20
2.3 应用牛顿定律解题	23
2.4 流体的稳定流动	27
2.5 伯努利方程	28
提要	31
自测简题	32
思考题	32
习题	33

第 3 章 动量与角动量	36
3.1 冲量与动量定理	36
3.2 动量守恒定律	38
3.3 火箭飞行原理	40
3.4 质心	41
3.5 质心运动定理	43
3.6 质点的角动量和角动量定理	45
3.7 角动量守恒定律	46
提要	47
自测简题	48
思考题	48
习题	49
第 4 章 功和能	50
4.1 功	50
4.2 动能定理	53
4.3 势能	55
4.4 引力势能	56
* 4.5 由势能求保守力	57
4.6 机械能守恒定律	58
4.7 碰撞	61
提要	65
自测简题	66
思考题	66
习题	67
第 5 章 刚体的定轴转动	70
5.1 刚体转动的描述	70
5.2 转动定律	71
5.3 转动惯量的计算	73
5.4 刚体的角动量和角动量守恒	76
5.5 转动中的功和能	78
提要	80
自测简题	82
思考题	82
习题	83

第 6 章 相对论	85
6.1 牛顿相对性原理和伽利略坐标变换	85
6.2 爱因斯坦相对性原理和光速不变	87
6.3 同时性的相对性和时间延缓	88
6.4 长度收缩	91
6.5 洛伦兹坐标变换	93
6.6 相对论速度变换	95
6.7 相对论质量	97
6.8 相对论动能	99
6.9 相对论能量	100
提要	102
自测简答题	103
思考题	103
习题	104
科学家简介 爱因斯坦	105

第 2 篇 电 磁 学

第 7 章 静电场	109
7.1 电荷	109
7.2 电场和电场强度	110
7.3 库仑定律与静电场的计算	111
7.4 电场线和电通量	114
7.5 高斯定律	116
7.6 利用高斯定律求静电场的分布	118
7.7 导体的静电平衡	121
7.8 电场对电荷的作用力	124
提要	125
自测简答题	126
思考题	126
习题	127
第 8 章 电势	129
8.1 静电场的保守性	129
8.2 电势和电势差	130
8.3 电势叠加原理	132
8.4 等势面	134

8.5	电势梯度	135
8.6	点电荷在外电场中的静电势能	137
8.7	静电场的能量	138
	提要	139
	自测简题	140
	思考题	140
	习题	140
第 9 章	电容器和介电质	142
9.1	电容器及其电容	142
9.2	电容器的联接	144
9.3	介电质对电场的影响	146
9.4	介电质的极化	147
9.5	D 矢量及其高斯定律	148
9.6	电容器的能量	149
9.7	介电质中电场的能量	150
	提要	151
	自测简题	152
	思考题	152
	习题	152
第 10 章	电流和磁场	154
10.1	电流和电流密度	154
10.2	电流的一种经典微观图像 欧姆定律	156
10.3	磁力与电荷的运动	158
10.4	磁场与磁感应强度	158
10.5	毕奥-萨伐尔定律	160
10.6	安培环路定理	165
10.7	利用安培环路定理求磁场的分布	167
10.8	与变化电场相联系的磁场	168
10.9	电场和磁场的相对性	171
	提要	171
	自测简题	172
	思考题	173
	习题	174
	科学家简介 麦克斯韦	176
第 11 章	磁力	177
11.1	带电粒子在磁场中的运动	177

11.2	霍尔效应	179
11.3	载流导线在磁场中受的磁力	180
11.4	载流线圈在均匀磁场中受的磁力矩	181
11.5	平行载流导线间的相互作用力	183
	提要	184
	自测简题	185
	思考题	185
	习题	186
第 12 章	物质的磁性	189
12.1	物质对磁场的影响	189
12.2	物质的磁化	190
12.3	H 矢量及其环路定理	191
	提要	192
	自测简题	192
	思考题	193
	习题	193
第 13 章	电磁感应和电磁波	194
13.1	法拉第电磁感应定律	194
13.2	动生电动势	196
13.3	感生电动势和感生电场	199
13.4	互感	201
13.5	自感	202
13.6	磁场的能量	203
13.7	麦克斯韦方程组	204
13.8	电磁波	205
13.9	超导电性	208
	提要	210
	自测简题	211
	思考题	212
	习题	212
	科学家简介 法拉第	215
数值表	216
自测简题答案	218
习题答案	220
索引	226

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,可以归入经典力学的范畴。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,不可能归入经典力学,也就不包括在本篇内。尽管如此,在本篇适当的地方,还是插入了一些量子力学概念以便和经典概念加以比较。

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,内容包括参考系、速度、加速度等概念,以及圆周运动和相对运动的基本知识。

1.1 参考系

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。

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。它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条直线作为坐标轴,通常分别叫做 x, y, z 轴(图1.1)。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。

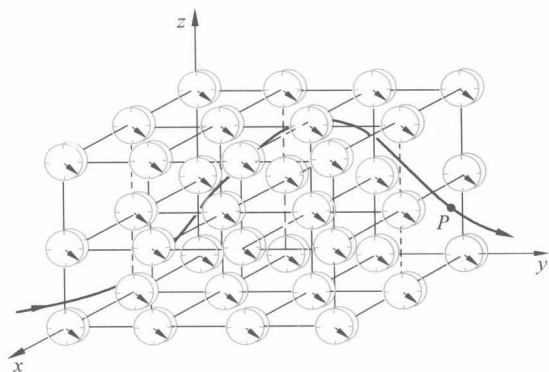


图 1.1 一个坐标系和一套同步的钟构成一个参考系

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 1.1,在任意时刻这些钟的指示都一样)就近给出的。

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 1.2 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 1.2 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 1.2 中 $Oxyz$)。常用的固定在实验室的参考系叫实验室参考系。

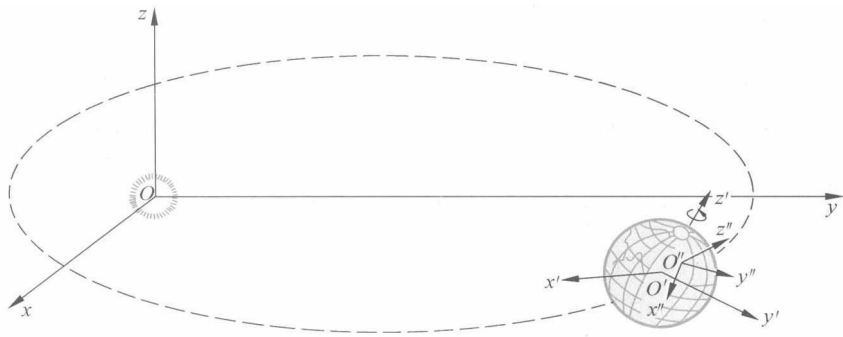


图 1.2 参考系示意图

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: 1 m 是光在真空中在 $(1/299\,792\,458)\text{ s}$ 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。以前曾规定平均太阳日的 $1/86\,400$ 是 1 s 。现在 SI 规定: 1 s 是铯的一种同位素 ^{133}Cs 原子发出的一个特征频率的光波周期的 $9\,192\,631\,770$ 倍。

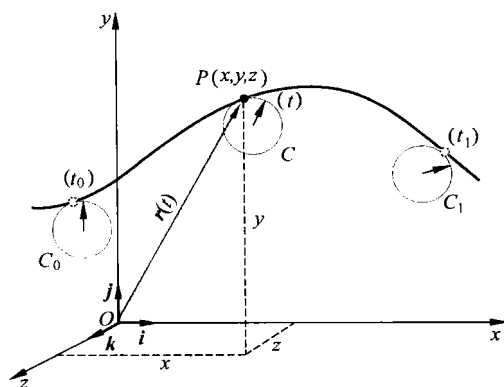
1.2 质点的位矢、位移和速度

选定了参考系,一个质点的运动,即它的位置随时间的变化,就可以用数学函数的形式表示出来了。作为时间 t 的函数的 3 个坐标值一般可以表示为

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t) \quad (1.1)$$

这样的一组函数叫做质点的运动函数(有的书上叫做运动方程),每一个函数表示沿相应坐标轴的分运动。

质点的位置可以用矢量的概念更简洁清楚地表示出来。为了表示质点在时刻 t 的位置 P ,我们从原点向此点引一有向线段 OP ,并记作矢量 \boldsymbol{r} (图 1.3)。 \boldsymbol{r} 的方向说明了 P 点相对于坐标轴的方位, \boldsymbol{r} 的大小(即它的“模”)表明了原点到 P 点的距离。这一矢量 \boldsymbol{r} 叫做质点的位置矢量,简称位矢,也叫径矢。

图 1.3 用位矢 $r(t)$ 表示质点在时刻 t 的位置

以 i, j, k 分别表示沿 x, y, z 轴正方向的单位矢量(即其大小是一个单位的矢量), 则式(1.1)表示的运动函数就可合并写成

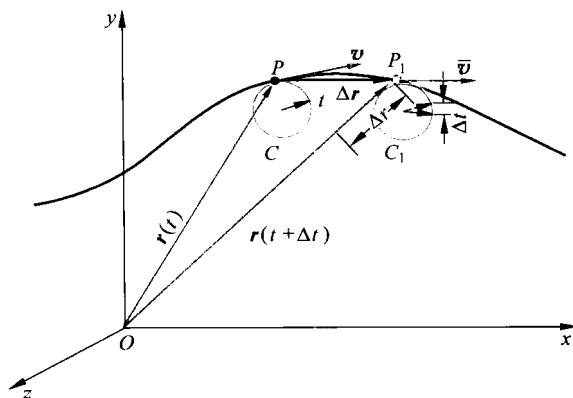
$$r(t) = x(t)i + y(t)j + z(t)k \quad (1.2)$$

式(1.2)表明, 质点的实际运动是各分运动的合运动。

质点运动时所经过的路线叫做轨道, 在一段时间内它沿轨道经过的距离叫做路程, 在一段时间内它的位置的改变叫做它在这段时间内的位移。设质点在 t 和 $t + \Delta t$ 时刻分别通过 P 和 P_1 点(图 1.4), 其位矢分别是 $r(t)$ 和 $r(t + \Delta t)$, 则由 P 引到 P_1 的矢量表示位矢的增量, 即

$$\Delta r = r(t + \Delta t) - r(t) \quad (1.3)$$

这一位矢的增量就是质点在 t 到 $t + \Delta t$ 这一段时间内的位移。

图 1.4 位移矢量 Δr 和速度矢量 v

位移 Δr 和发生这段位移所经历的时间的比叫做质点在这一段时间内的平均速度。以 \bar{v} 表示平均速度, 就有

$$\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t} \quad (1.4)$$

平均速度也是矢量, 它的方向就是位移的方向(如图 1.4 所示)。

当 Δt 趋于零时, 式(1.4)的极限, 即质点位矢对时间的变化率, 叫做质点在时刻 t 的**瞬时速度**, 简称**速度**。用 \boldsymbol{v} 表示速度, 就有

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} \quad (1.5)$$

速度的方向, 就是 Δt 趋于零时, $\Delta \boldsymbol{r}$ 的方向。如图 1.4 所示, 这一方向为运动轨道的切线方向并指向运动的前方。

速度的大小叫**速率**, 以 v 表示, 则有

$$v = |\boldsymbol{v}| = \left| \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} \right| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \boldsymbol{r}|}{\Delta t} \quad (1.6)$$

用 Δs 表示在 Δt 时间内质点沿轨道所经过的路程。当 Δt 趋于零时, $|\Delta \boldsymbol{r}|$ 和 Δs 趋于相同, 因此可以得到

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \boldsymbol{r}|}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1.7)$$

这就是说速率又等于质点所走过的路程对时间的变化率。

质点沿 3 个坐标轴方向的**分速度**的大小分别为

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt} \quad (1.8)$$

由于各分速度相互垂直, 所以速率

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (1.9)$$

1.3 加速度

加速度表示速度对时间的变化率。质点在时刻 t 的**加速度**定义为

$$\boldsymbol{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} \quad (1.10)$$

不管是速度的大小发生变化, 还是速度的方向发生变化, 都有加速度。利用式(1.5), 还

可得

$$\boldsymbol{a} = \frac{d^2 \boldsymbol{r}}{dt^2} \quad (1.11)$$

加速度沿 3 个坐标轴的分量分别是

$$\left. \begin{aligned} a_x &= \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2} \\ a_y &= \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2 y}{dt^2} \\ a_z &= \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2 z}{dt^2} \end{aligned} \right\} \quad (1.12)$$

这些分量和加速度的大小的关系是

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (1.13)$$

加速度的 SI 单位是 m/s^2 。

加速度的一个重要实例是重力加速度, 即自由落体加速度, 它的方向竖直向下, 大小为

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

例 1.1

火箭升空。竖直向上发射的火箭(图 1.5)点燃后,其上升高度 z (原点在地面上, z 轴竖直向上)和时间 t 的关系,在不太高的范围内为

$$z = ut \ln M_0 + \frac{u}{\alpha} \{ (M_0 - \alpha t) [\ln(M_0 - \alpha t) - 1] - M_0 (\ln M_0 - 1) \} - \frac{1}{2} g t^2$$

其中 M_0 为火箭发射前的质量, α 为燃料的燃烧速率, u 为燃料燃烧后喷出气体相对火箭的速率, g 为重力加速度。

(1) 求火箭点燃后,它的速度和加速度随时间变化的关系;

(2) 已知 $M_0 = 2.80 \times 10^6 \text{ kg}$, $\alpha = 1.20 \times 10^4 \text{ kg/s}$, $u = 2.90 \times 10^3 \text{ m/s}$, g 取 9.80 m/s^2 。求火箭点燃后 $t = 120 \text{ s}$ 时,火箭的高度、速度和加速度。

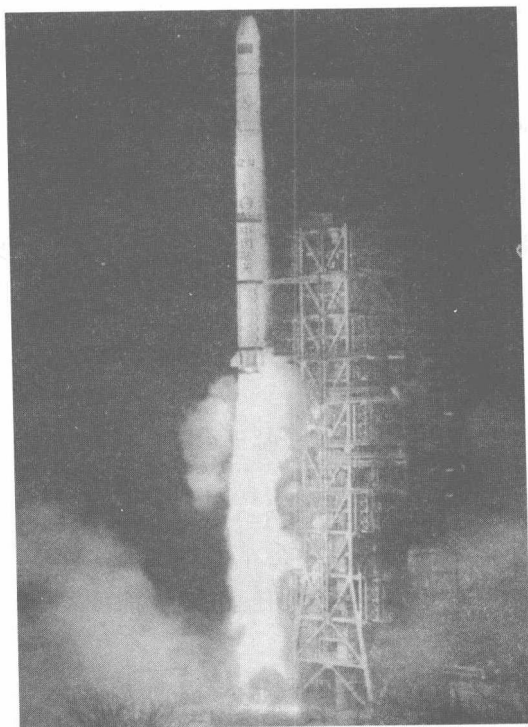


图 1.5 “长征二号 E”运载火箭携带卫星发射升空

解 (1) 火箭的速度为

$$v = \frac{dz}{dt} = u[\ln M_0 - \ln(M_0 - \alpha t)] - gt$$

加速度为

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{\alpha u}{M_0 - \alpha t} - g$$

(2) 将已知数据代入相应公式,得到在 $t = 120 \text{ s}$ 时,

$$M_0 - \alpha t = 2.80 \times 10^6 - 1.20 \times 10^4 \times 120 = 1.36 \times 10^6 \text{ (kg)}$$