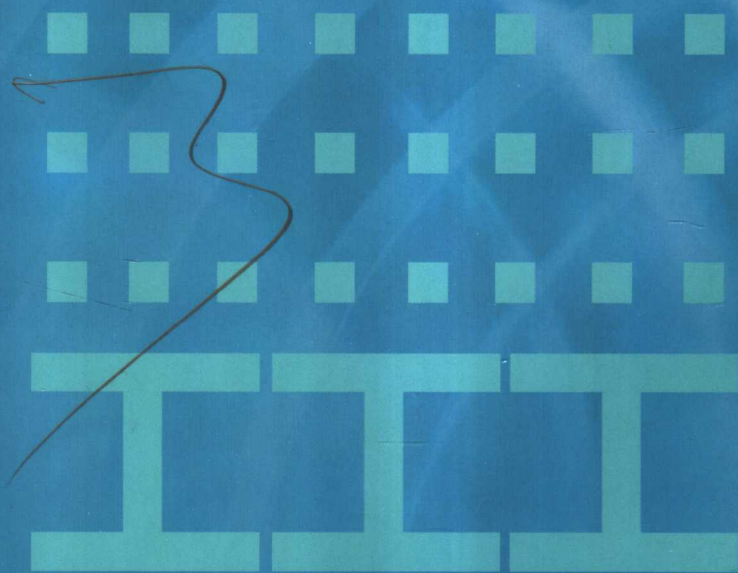


GONGKE WULI

工科物理

《工科物理》编写组 编著

上册



中国科学技术大学出版社

04
290
:1
2007

工 科 物 理

上 册

《工科物理》编写组

主 编 张清泽 陈 宇 储德林

副主编 梅洛勤 张 辉 江海燕

赵素贵 王 平

中国科学技术大学出版社

2007·合肥

图书在版编目(CIP)数据

工科物理(上册)/《工科物理》编写组编著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2007.1

ISBN 978-7-312-02039-1

I. 工… II. 工… III. 物理学—高等学校—教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 004507 号

中国科学技术大学出版社出版发行

(安徽省合肥市金寨路 96 号 邮政编码:230026)

合肥学苑印务有限公司印刷

全国新华书店经销

开本:700 mm×1000 mm 1/16 印张:15 字数:287 千

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷

印数:1~4 000 册

定价:21.00 元

前 言

为了适应 21 世纪人才培养的需要,编写出适用于工科院校的大学物理教材是当前迫切要解决的问题,我们经历多年的编撰、试用,根据教育部 2004 年颁发的《高等学校非物理类专业物理课程基本要求》,完成了这套工科物理教材.

在编写过程中,始终遵循着“思想性、科学性、针对性”的原则.在内容选择上,我们考虑到当代物理学和科学技术的发展,特别是工科大学物理教学的特点,加强了理论基础的系统性叙述,使学生具有必要的物理学基础,同时在培养学生科学思想和方法、开拓创新能力方面有所侧重;我们加强了应用方面的内容,直接把经典理论和近代物理成就与工程技术和军事高科技相结合,突出实践性和针对性,增强学生理论联系实际的素质,拓宽学生的视野.

本套教材共分为 6 篇 20 章,包括力学、机械振动和机械波、热学、电磁学、光学和近代物理等,分上下两册出版.在例题、习题和应用知识的选择上既有助于学生理解物理概念,同时又提高联系实际的能力.

本套教材的编写是物理教研室同志多年努力的结果,杨蕾、李成军同志参与了部分教材的修改工作,校对了全书.

由于我们的学识和教学经验所限,编写时间仓促,书中一定会存在着不少错误和缺点,衷心希望广大读者批评、指正.

编 者

2006 年 10 月

目 录

第一篇 力 学

前 言	(I)
第 1 章 质点运动学	(5)
1.1 质点运动的描述	(5)
1.1.1 参考系 质点	(5)
1.1.2 运动方程	(6)
1.1.3 速度	(8)
1.1.4 加速度	(9)
1.2 运动叠加原理	(10)
1.2.1 运动叠加原理	(10)
1.2.2 斜抛运动	(11)
1.3 运动学两类基本问题	(12)
1.4 圆周运动	(14)
1.4.1 圆周运动	(14)
1.4.2 圆周运动的角量描述	(17)
1.4.3 角量和线量的关系	(17)
1.5 相对运动	(19)
思考题	(20)
习题	(21)
第 2 章 牛顿运动定律	(23)
2.1 牛顿运动定律	(23)
2.2 单位制与量纲	(24)
2.3 几种常见的力 基本自然力	(25)
2.3.1 常见力	(25)
2.3.2* 基本自然力	(27)
2.4 动力学两类基本问题	(29)

2.5` 非惯性参考系	(31)
2.6 应用	(33)
2.6.1 潮汐现象分析	(33)
2.6.2 惯性制导与加速度计	(34)
思考题	(35)
习题	(36)
第3章 运动的守恒定律	(39)
3.1 动量守恒定律	(39)
3.1.1 冲量与动量定理	(39)
3.1.2 质点系的动量定理	(41)
3.1.3 动量守恒定律	(42)
3.1.4 质心运动定理	(45)
3.2 能量守恒定律	(46)
3.2.1 功	(46)
3.2.2 动能定理	(48)
3.2.3 势能 保守力	(50)
3.2.4 机械能 功能原理	(54)
3.2.5 能量守恒定律	(54)
3.2.6 碰撞	(56)
3.3 质点角动量守恒定律	(57)
3.3.1 力矩 角动量	(57)
3.3.2 质点角动量定理	(59)
3.4 应用	(63)
3.4.1 火箭飞行原理	(63)
3.4.2 卫星运行轨道及发射轨道	(64)
思考题	(67)
习题	(68)
第4章 刚体的定轴转动	(71)
4.1 刚体的运动	(71)
4.1.1 平动和转动	(71)
4.1.2 定轴转动的描述	(72)
4.2 刚体的转动动能 转动惯量	(73)
4.2.1 转动动能	(73)
4.2.2 转动惯量 平行轴定理	(73)
4.3 刚体的定轴转动定律	(76)

4.3.1 对定轴的力矩	(76)
4.3.2 刚体定轴转动的转动定律	(76)
4.3.3 转动动能定理	(78)
4.4 刚体对定轴的角动量守恒定律	(80)
4.4.1 刚体对定轴的角动量	(80)
4.4.2 刚体对定轴的角动量定理	(80)
4.4.3 刚体对定轴角动量守恒定律	(81)
4.5 应用	(85)
4.5.1 炮弹飞行中的翻转	(85)
4.5.2 直升机中的旋转效应	(86)
思考题	(87)
习题	(88)
第 5 章 狭义相对论	(92)
5.1 伽利略变换式 牛顿的绝对时空观	(92)
5.1.1 经典力学相对性原理	(92)
5.1.2 伽利略变换	(92)
5.1.3 经典力学时空观	(94)
5.2 狭义相对论基本原理洛伦兹变换	(95)
5.2.1 狭义相对论的基本原理	(95)
5.2.2 洛伦兹变换	(96)
5.2.3' 相对论的速度变换	(97)
5.3 狭义相对论的时空观	(99)
5.3.1 同时的相对性	(99)
5.3.2 长度收缩	(100)
5.3.3 时间延缓	(102)
5.4 狭义相对论动力学	(104)
5.4.1 相对论动量和质量	(104)
5.4.2 相对论动力学的基本方程	(105)
5.4.3 相对论能量	(105)
5.5 核能及其利用	(110)
思考题	(112)
习题	(113)

第二篇 机械振动和机械波

第6章 机械振动	(118)
6.1 简谐运动的描述	(118)
6.1.1 简谐运动	(118)
6.1.2 简谐运动的振幅、频率和相位	(119)
6.1.3 简谐运动的旋转矢量表示	(120)
6.2 简谐运动的动力学特征	(122)
6.2.1 简谐运动的动力学方程	(122)
6.2.2 单摆	(123)
6.2.3 复摆	(124)
6.2.4 简谐运动的能量	(124)
6.3 阻尼振动 受迫振动	(126)
6.3.1 阻尼振动	(126)
6.3.2 受迫振动	(127)
6.3.3 共振现象	(128)
6.4 简谐运动的合成	(129)
6.4.1 同方向同频率简谐运动的合成	(129)
6.4.2 同方向不同频率的简谐运动合成	(130)
6.4.3 相互垂直简谐运动的合成	(131)
思考题	(133)
习题	(134)
第7章 机械波	(136)
7.1 机械波的产生和传播	(136)
7.1.1 机械波的形成	(136)
7.1.2 横波与纵波	(136)
7.1.3 波长 频率和周期 波速	(137)
7.1.4 波线、波面和波前	(138)
7.2 平面简谐波的波函数	(138)
7.2.1 平面简谐波的波函数	(138)
7.2.2 波函数的物理意义	(140)
7.3 波的能量	(142)

7.3.1 波的能量	(142)
7.3.2 波的强度	(144)
7.3.3 声强	(145)
7.4 惠更斯原理 波的叠加原理	(145)
7.4.1 惠更斯原理 波的衍射	(145)
7.4.2 波的叠加原理 波的干涉	(146)
7.4.3 驻波	(148)
7.5 多普勒效应	(151)
7.5.1 波源静止,观察者运动	(151)
7.5.2 波源运动,观察者静止	(152)
7.5.3 波源与观察者同时相对介质运动	(153)
7.6 应用	(153)
7.6.1 声纳	(154)
7.6.2 冲击波	(154)
思考题	(155)
习题	(156)

第三篇 热 学

第8章 气体动理论	(162)
8.1 气体动理论的基本概念	(162)
8.1.1 物体是由大量分子(或原子)所组成	(162)
8.1.2 分子在不停地无规则地运动着	(162)
8.1.3 分子之间存在相互作用力——分子力	(163)
8.2 平衡态 理想气体状态方程	(164)
8.2.1 平衡态	(164)
8.2.2 状态参量	(164)
8.2.3 理想气体状态方程	(165)
8.3 理想气体的压强	(166)
8.3.1 理想气体压强公式的推导	(167)
8.3.2 物理意义	(168)
8.4 温度的微观解释	(169)
8.5 能量均分定理 理想气体的内能	(170)

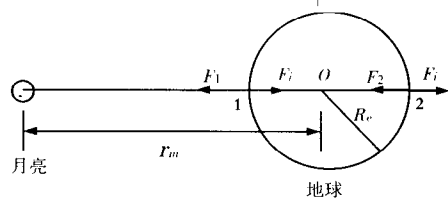
8.5.1	自由度	(170)
8.5.2	能量均分定理	(171)
8.5.3	理想气体的内能	(172)
8.6	麦克斯韦分子速率分布律	(174)
8.6.1	速率分布函数	(174)
8.6.2	麦克斯韦分子速率分布律	(175)
8.6.3	三种统计速率	(176)
8.6.4	分子速率分布的实验测定	(177)
8.7	玻尔兹曼分布	(178)
8.8	分子的平均自由程和碰撞频率	(180)
8.8.1	平均碰撞频率	(180)
8.8.2	平均自由程	(181)
8.9*	气体内的输运现象	(182)
8.9.1	粘滞现象	(182)
8.9.2	热传导现象	(183)
8.9.3	扩散现象	(184)
思考题		(185)
习题		(186)
第9章	热力学基础	(189)
9.1	热力学第一定律	(189)
9.1.1	准静态过程	(189)
9.1.2	热力学第一定律	(190)
9.1.3	功的计算	(191)
9.2	热力学第一定律的应用	(192)
9.2.1	等体过程	(192)
9.2.2	等压过程	(192)
9.2.3	等温过程	(193)
9.2.4	绝热过程	(194)
9.3	理想气体的摩尔热容	(196)
9.3.1	定体摩尔热容	(197)
9.3.2	定压摩尔热容	(198)
9.3.3	比热容比	(198)
9.4	循环过程	(200)
9.4.1	循环过程	(200)
9.4.2	热机的效率	(200)

9.4.3 制冷机的制冷系数	(201)
9.4.4 卡诺循环	(201)
9.5 热力学第二定律	(205)
9.5.1 热力学第二定律的两种表述	(205)
9.6 热力学第二定律的统计意义 熵	(208)
9.6.1 热力学第二定律的统计意义	(208)
9.6.2 热力学概率与玻尔兹曼熵	(209)
9.6.3 克劳修斯熵	(212)
9.7 应用	(214)
9.7.1 弹膛内的热力学	(214)
9.7.2 冰箱的制冷原理	(216)
思考题	(217)
习题	(218)
习题答案	(222)

DIYIPIAN

LIXUE

第一篇 力学



力学是物理学中发展最早的一个分支,它和人类的生活与生产联系最为密切.早在遥远的古代,人们就在生产劳动中应用了杠杆、螺旋、滑轮、斜面等简单机械,从而促进了静力学的发展.古希腊时代,就已形成比重和重心的概念,发现了杠杆原理;阿基米德(Archimedes,约公元前287~前212年)的浮力原理提出于公元前二百多年.虽然这些知识尚属力学科学的萌芽,但在力学发展史中具有一定的地位.

16世纪以后,由于航海、战争和工业生产的需要,力学的研究得到了真正的发展.钟表工业促进了匀速运动的理论;水磨机械促进了摩擦和齿轮传动的研究;火炮的运用推动了抛射体的研究.天体运行的规律提供了机械运动最简单、最直接、最精确的数据资料,使得人们有可能排除摩擦和空气阻力的干扰,得到运动规律的认识.天文学的发展为力学找到了一个最理想的“实验室”——天体.

天文学的发展又和航海事业分不开.直到16、17世纪,资本主义生产方式开始兴起,海外贸易和对外扩张刺激了航海的发展,这才提出对天文作系统观测的迫切要求.第谷(Tycho Brahe,1546~1601)顺应了这一要求,以毕生精力收集了大量观测数据,为开普勒(Johannes Kepler,1571~1630)的研究作了准备.开普勒于1609年和1619年先后提出了行星运动的三条规律,即开普勒三大行星运动定律.

与此同时,以伽利略(Galileo Galilei,1564~1642)为代表的物理学家对力学开展了广泛研究,得到了自由落体定律.伽利略的两部著作:《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》(1632年)和《关于力学和运动两种新科学的谈话》(简称《两门新科学》)(1638年),为力学的发展奠定了思想基础.

随后,牛顿(Isaac Newton,1642~1727)把天体的运动规律和地面上的实验研究成果加以综合,进一步得到了力学的基本规律,建立了牛顿三大运动定律和万有引力定律.牛顿建立的力学体系经过伯努利(Daniel Bernoulli,1700~1782)、拉格朗日(J. L. Lagrange, 1736~1813)、达朗贝尔(Jeanie Rond d'Alembert,1717~1783)等人的推广和完善,形成了系统的理论,取得了广泛的应用并发展出了流体力学、弹性力学和分析力学等分支.

到了18世纪,古典力学已经相当成熟,成为自然科学中的主导和领先学科.机械运动是最直观、最简单、也最便于观察和最早得到研究的一种运动形式.但是,任何自然界的现象都是错综复杂的,不可避免地会有干扰因素,不可能以完全纯粹的形态自然地展现在人们面前,力学现象也不例外.因此,人们要从生产和生活中遇到的各种力学现象抽离出客观规律,必定要有相当复杂的提炼、简化、复现、抽象等实验和理论研究的过程.和物理学的其他学科相比,力学的研究经历了更为漫长的过程.从希腊时代算起,整个过程长达两千年之久.之所以

会如此漫长,一方面是由于人类缺乏经验,走弯路在所难免,只有在研究中自觉或不自觉地摸索到了正确的研究方法,才有可能得出正确的科学结论;另一方面就是生产水平低下,没有适当的仪器设备,无从进行系统的实验研究,难以认识和排除各种干扰.如摩擦力和空气阻力对力学实验来说恐怕是无处不在的干扰因素.如果不加以分析,只凭直觉进行观察,往往得到的是错误结论.

伽利略和牛顿对物理学的功绩,就是把科学思维和实验研究正确地结合在一起,从而为力学的发展开辟了一条正确的道路.

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.因此,经典力学在一定意义上是整个物理学的基础.

本篇主要讲述质点力学和部分刚体力学,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5章介绍狭义相对论的基本概念和原理.

第 1 章 质点运动学

经典力学是研究物质基本运动规律的学科. 一个物体相对于另一个物体的位置随时间发生变化, 或者一个物体内部各部分之间的相对位置随时间发生变化, 都属于机械运动. 机械运动是自然界中最简单、最常见的运动形式. 机器的运转、空气的流动、星系的退行等都是机械运动.

描述机械运动, 需要用位置矢量、位移、速度、加速度等物理量. 研究这些物理量随时间的变化规律以及相互间的关系, 而不涉及变化的原因的学科, 称为质点运动学. 研究引起物体运动变化的原因的学科, 则属于质点动力学. 本章研究质点运动学.

1.1 质点运动的描述

1.1.1 参考系 质点

参考系 物体的运动是普遍的、绝对的, 自然界中没有绝对不运动的物体. 但在观察物体的运动时, 总要选取其他物体作为参考, 参考物不同, 对运动状态的描述也不同, 这就是运动描述的相对性. 经验表明, 一个自由下落的石块, 站在地面上观察, 即以地面为参考, 物体作自由落体运动; 站在作匀速运动的车厢中观察, 即以车厢为参考, 则石块作曲线运动.

为描述物体的运动而选择的参考物叫做参考系. 由于在不同参考系中对同一物体运动的描述不同, 因此, 在描述物体运动时, 必须指明具体参考系.

质点 实际物体都是有一定的大小和形状的, 而运动方式又都各不相同, 因此要精确描述物体的运动比较困难. 为了简化问题, 当物体的大小和形状对所研究的问题影响不大或可以忽略不计时, 我们就可以把物体当作是一个具有一定质量的几何点, 通常叫做质点.

一个物体能否看成为质点, 并不取决于它的大小和形状, 而是根据所研究问题的性质. 例如研究地球绕太阳公转时, 由于地球的直径较之公转轨道的直

径要小得多,因此地球上各点相对于太阳的运动可看作是相同的,也就是说可以忽略地球的大小和形状,把地球当作质点.但是,在研究地球上物体的运动情况时,如果仍把地球当作质点,就无法研究物体的运动了.

质点是从实际物体中经过科学抽象而形成的理想模型.在以后的学习中还会经常遇到这种处理方法,如理想气体、点电荷、绝对黑体等.把物体视为质点这种抽象的研究方法,在实践和理论上都是具有重要意义的.

1.1.2 运动方程

位置矢量 描述物体的运动必须选定参考系.在参考系选定以后,为了定量描述质点的位置和位置随时间的变化,须在参考系上选择一个坐标系.坐标系有直角坐标系、极坐标系和自然坐标系等.一般我们选择直角坐标系.

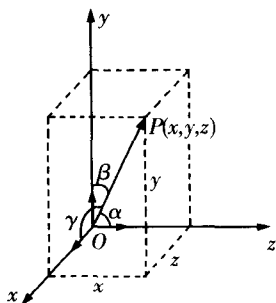


图 1-1 位矢

如图 1-1 为在参考系中建立的直角坐标系 $Oxyz$, t 时刻质点 P 在空间的位置,由 P 点的坐标 (x, y, z) 来确定,或者可以用 O 到 P 的有向线段 $\mathbf{r}$ 表示.矢量 $\mathbf{r}$ 叫做位置矢量,简称位矢.在直角坐标系中,如取 $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 和 $\mathbf{k}$ 分别为 x 轴、 y 轴和 z 轴的单位矢量,则

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} \quad (1-1)$$

位矢的大小和方向由矢量运算法则可得

$$r = |\mathbf{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1-2a)$$

$$\cos\alpha = \frac{x}{r}, \cos\beta = \frac{y}{r}, \cos\gamma = \frac{z}{r} \quad (1-2b)$$

式中 α, β, γ 分别为 $\mathbf{r}$ 与 x, y 和 z 轴正向之间的夹角,它们满足以下的关系

$$\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1$$

运动方程 当质点运动时,位矢 $\mathbf{r}$ 随时间变化,因此 $\mathbf{r}$ 是时间的函数,即

$$\mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1-3)$$

该方程叫做质点的运动方程,而 $x = x(t)$, $y = y(t)$, $z = z(t)$ 则是运动方程的分量式.从上面参数方程中消去参数 t 得到的 $f(x, y, z) = 0$ 便是质点的轨迹方程.当质点在空间运动时,位矢末端在空间所描绘的一条连续曲线就是轨迹方程描述的运动轨迹,如图 1-2 所示.例如,火车运行时,铁轨就是它的运动轨迹.质点运动学的重要任务就是找出各种具体运动所遵循的运动方程.

位移 在图 1-3 中,一质点作曲线运动,设时刻 t_1 ,质点在 P 处, t_2 时刻运动到 P' 处.显然,在 $\Delta t = t_2 - t_1$ 时间间隔内,质点位矢的大小和方向都发生了变化.我们把由始点 P 指向终点 P' 的有向线段 $\overrightarrow{PP'}$ 称为点 P 到点 P' 的位移矢量,简称位移,用 $\Delta\mathbf{r}$ 表示.位移反映了质点位矢的变化.由图 1-3 可知,位移只与质