

大学物理自学丛书

郭士堃主编

力 学

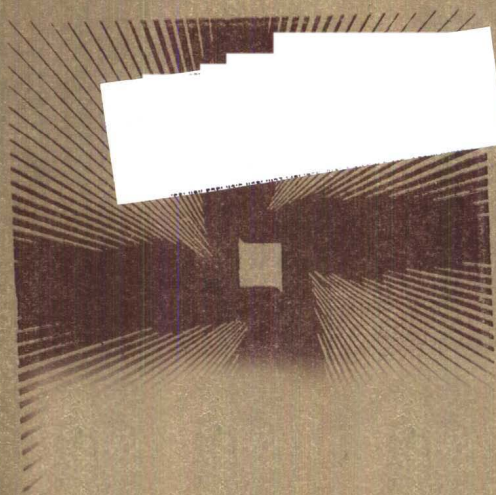
苟兴华 廖钟英 青春炳 编著



四川教育出版社

大学物理自学丛书

力学



一九八七年·成都

责任编辑：陈卫平

版面设计：王 凌

封面设计：何一兵

力 学 荀兴华 缪钟英 青春炳 编著

四川教育出版社出版

(成都盐道街三号)

四川省新华书店发行

四川新华印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/32 印张18.75 插页4 字数405千

1987年10月第一版

1987年10月第一次印刷

印数： 1—880 册

ISBN7—5408—0282—0/G·219

书号：7344·991

定价：3.70 元

序 言

《大学物理自学丛书》是根据全国自学考试普通物理教学大纲编写的，准备作为参加高等教育普通物理自学考试的广大青年的教学参考用书。它有无师自通的特点，有的分册曾作为川大的夜大学讲义使用过。

本丛书共八册，依次为：《力学》、《热学与分子物理（包括题解）》、《电磁学》、《光学（包括题解）》。

《原子物理（包括题解）》、《微积分基础（包括题及答案）》、《力学题解》、《电磁学题解》。凡具备高中文化程度的青年，只要认真阅读本丛书，并完成一定数量的作业，就能达到理科物理专业对普通物理的基本要求，获得通过普通物理单科考试的能力。

担任编写工作的同志们，都是在四川大学主讲有关课程多年、富有教学经验的教师。

本丛书有以下几个特点：

第一、内容简练。本丛书突出基本概念、基本理论、基本技能，以学以致用为原则。其行文简明准确，深入浅出，从中学物理起步，将大学普通物理的主要部分讲得详细透彻；并注意介绍最新成就。凡属可讲可不讲的内容，一般不选入。

第二、自带工具。物理分册的思考题、习题都有解答；需要的全部数学知识，都在《微积分基础》中讲到，读者无需它求。这本书例题多、实用性强，可收事半功倍的效果。因其是按数学系统编写的，先后次序不可能与物理的需要一致，故读者应根据各人的具体情况进行阅读。

第三、例题精解。为了培养读者的解题能力，选的例题较多。对求解某些典型问题的方法和步骤，作了原则性的概括，以便使读者有法可循。

第四、便于自学。本丛书全部采用国际单位制（SI制）。每分册中附有常用单位的国际符号与中文符号对照表，以便检索。在结构上，每章均按：前言、正文、小结、思考题安排。前言中扼要指出学习该章的目的和要求，便于自学后进行总结和检查。

编写小组的同志们虽然在主观上作了很大努力，但限于业务水平和时间关系，缺点和错误在所难免，恳切欢迎读者批评指正，以便得到改进。

郭士堃

一九八五年于四川大学物理系

致读者

力学主要研究机械运动，它是整个物理学的基础，正确理解力学中的物理概念，掌握处理问题的方法，是学习力学课程的关键。

本分册共分九章。第一、二章讨论质点运动学和动力学。第三、四章讨论能量和动量概念，并用以研究质点组力学。第五、六章讨论角动量概念及万有引力和刚体力学。第七章讲连续介质力学，第八、九章讲振动和波动问题。由于篇幅关系，本分册的习题题目和思考题、习题的解答将另册出版。

我们以综合大学和师范院校物理系的力学教学大纲作参考，并对照了大学物理自学考试大纲而确定编写内容的广度和深度。在编写中力求简洁而明确地建立基本概念，并仔细说明如何用这些概念和理论处理具体问题。为了使读者在自学中逐步适应由中学到大学的课程在内容和讲述形式上的过渡，我们参考了现行高中物理甲、乙种本教材，并在前几章有目的地以较低的起点进行阐述，讲解亦较为细致。为了便于自学，我们在各章前面提出了基本要求，章末有小结和思考题，节末有例题。有的读者可能还不熟悉某些数学工具，例如矢量代数、矢量微商和微积分运算等等。建议读者结合

本书所述物理问题去学习本丛书《微积分基础》的有关内容。

自学者要逐步摸索适合自己的学习方法。建议读者在学习完各章、节后自己进行小结。学习物理课程必须独立解答一定数量的习题。不应仅满足于找到与答案相符的解，更重要的是找到解题的思路以及找到这种思路与有关的概念、理论的联系。一旦找到这种联系，读者会发现诸多题目的各种解法均来源于少数基本概念和基本理论，解题总有规律可循。因此，不要急于看题解，看题解也是为了掌握基本内容。

诚挚地欢迎读者对本分册的内容和处理方式提出批评和建议。

苟兴华 缪钟英 青春炳

一九八五年春

目 录

第一章 质点运动学	1
§ 1.1 参照系 坐标系.....	2
1. 运动的相对性 2. 参照系 3. 坐标系 4. 时刻和时间间隔	
§ 1.2 匀变速直线运动.....	5
1. 运动方程 2. 运动的图象表示 3. 自由落体和竖直上抛体运动	
§ 1.3 一般变速直线运动.....	16
1. 速度 2. 加速度 3. 用积分法求速度和坐标 4. 小结与举例	
§ 1.4 运动的合成和分解.....	25
1. 速度的合成 2. 速度的分解 3. 速度矢量的平面直角坐标表示	
§ 1.5 质点的平面运动.....	31
1. 位置矢量 运动方程 2. 位移矢量 3. 速度矢量 4. 加速度矢量 5. 抛体运动	
§ 1.6 切向加速度和法向加速度.....	48
1. 圆周运动的切向加速度和法向加速度 2. 一般曲线运动的切向加速度和法向加速度	
§ 1.7 圆运动的角量描述.....	57

1. 角速度和角加速度 2. 角量和线量的关系 3. 匀角加速 圆运动	
§ 1·8 相对运动	66
1. “绝对”运动、相对运动和牵连运动 2. 相对运动的速度合成 定理 3. 加速度合成定理	
小结	72
思考题	75
第二章 牛顿运动定律	78
§ 2·1 牛顿运动定律	79
1. 牛顿第一定律 2. 牛顿第二定律 3. 牛顿第三定律 4. 力学相对性原理 5. 经典力学的适用范围	
§ 2·2 几种常见的力	87
1. 重力 2. 弹性力 3. 压力和张力 4. 摩擦力	
§ 2·3 牛顿定律的应用	96
1. 单个质点的动力学问题 2. 连接体问题 3. 解题步骤 4. 分析物体受力时应注意的事项 5. 例题	
§ 2·4 非惯性参照系 惯性力	112
1. 加速平动的参照系 惯性力 2. 质点在匀角速转动参照系 中的平衡问题 惯性离心力	
§ 2·5 单位制 量纲	121
1. 基本单位和导出单位 2. 国际单位制 3. 量纲公式 量 纲	
小结	125
思考题	128
第三章 功和能	133
§ 3·1 功	133
1. 功的定义 2. 功率 3. 功的计算 例题	

§ 3·2 质点的动能定理	145
1. 质点的动能 2. 质点的动能定理 3. 应用和举例	
§ 3·3 质点组的动能定理	152
1. 外力和内力 2. 质点组的动能定理 3. 讨论	
§ 3·4 势能	160
1. 重力势能 2. 弹性势能 3. 保守力 势能 4. 体系的势能	
§ 3·5 功能原理 机械能守恒定律	171
1. 功能原理 2. 机械能守恒定律 3. 应用和举例	
小结	183
思考题	185
第四章 动量 动量守恒定律	188
§ 4·1 质点的动量定理	189
1. 动量 2. 力的冲量 3. 质点的动量定理 4. 应用和举例	
§ 4·2 质点组的动量定理 动量守恒定律	201
1. 质点组的动量定理 2. 动量守恒定律 3. 应用和举例	
§ 4·3 质心 质心运动定理	212
1. 质点组的质心 2. 质心的运动	
§ 4·4 碰撞	224
1. 对心碰撞 2. 非对心的弹性碰撞	
§ 4·5 火箭的运动	238
小结	246
思考题	250
第五章 万有引力	253
§ 5·1 万有引力定律和万有引力场	253
1. 物体间的万有引力 2. 万有引力常数 3. 惯性质量和引力	

质量	4.	万有引力场	
§ 5.2	行星运动和万有引力定律的发现	262	
1.	太阳系和行星运动规律		
2.	从开普勒定律到牛顿万有引力定律		
3.	地球、太阳和银河系的质量		
§ 5.3	物体的重力	269	
1.	重力和重力加速度		
2.	表观重力 超重和失重		
§ 5.4	万有引力势能	275	
1.	万有引力做功及力的保守性质		
2.	万有引力势能		
§ 5.5	质点在平方反比力作用下的运动	282	
1.	力对点的矩和力对轴的矩		
2.	质点的角动量		
3.	角动量定理和角动量守恒定律		
4.	动力学方程和有关的守恒定律		
5.	应用及例题		
小结		300	
思考题		302	
第六章	刚体力学	304	
§ 6.1	刚体运动学	305	
1.	刚体和刚体的平动		
2.	刚体绕定轴转动		
3.	平面平行运动		
4.	例题		
§ 6.2	质点组的角动量定理和角动量守恒定律	316	
1.	质点组对固定点的角动量定理及守恒定律		
2.	质点组对固定轴的角动量定理及其守恒定律		
3.	对 M_z 和 J_z 的进一步讨论		
4.	动力学基本定理综述		
5.	例题		
§ 6.3	刚体的平衡	330	
1.	刚体受一般力系作用的平衡条件		
2.	刚体受平面力系作用的平衡条件		
3.	平行力系的合成		
4.	应用和举例		
§ 6.4	定轴转动刚体的转动定理和转动惯量	339	
1.	动力学方程		
2.	转动惯量		
3.	冲击问题和打击中心		

4. 应用和举例	
§ 6·5 刚体绕定轴转动的功能关系	352
1. 定轴转动刚体的动能 2. 力矩的功 3. 刚体绕定轴转动的动能定理和机械能守恒定律 4. 例题	
§ 6·6 其它刚体动力学问题	361
1. 平面平行运动 圆板的滚动 2. 回转仪	
小结	378
思考题	382
第七章 固体的弹性和流体力学	385
§ 7·1 应力和应变	386
1. 物质的连续介质模型 2. 体力和面力 外力和内力 3. 应力 4. 应变	
§ 7·2 胡克定律和形变势能	393
1. 均匀直杆的拉伸和压缩 2. 切变和体变 3. 应用和举例	
§ 7·3 流体静力学	403
1. 流体的密度和压强 2. 静止重流体中的压强分布 3. 讨论和例题	
§ 7·4 流体运动的分类和一维流动的连续性方程	
1. 描述流体运动的两种方法 2. 流体运动的分类 3. 流线和流管 4. 连续性方程	
§ 7·5 伯努利方程	418
1. 伯努利方程 2. 应用举例	
§ 7·6 粘性流体的运动	425
1. 流体的粘性和粘滞系数 2. 泊肃叶公式 3. 其它问题	
小结	434
思考题	436
第八章 机械振动	439

§ 8·1 谐振动的运动规律·····	440
1. 振动和谐振动 2. 速度和加速度 3. 位相和位相差 4. 周期和频率 5. 初始条件 6. 谐振动的参考圆表示	
§ 8·2 谐振动的动力学特征·····	455
1. 弹簧振子 2. 单摆 3. 扭摆 4. 复摆	
§ 8·3 谐振动的能量·····	471
1. 动能、势能和机械能 2. 动能和势能的相互转换	
§ 8·4 阻尼振动·····	479
1. 阻尼力 粘滞阻尼振动微分方程 2. 粘滞阻尼振动的运动规律 3. 对数减量和品质因数	
§ 8·5 受迫振动 共振·····	488
1. 受迫振动的动力学方程 2. 受迫振动的运动规律 3. 共振	
§ 8·6 振动的合成·····	498
1. 叠加原理 2. 谐振动的矢量图示法 3. 两个谐振动的合成	
§ 8·7 振动的分解·····	507
小结·····	509
思考题·····	513
第九章 机械波·····	517
§ 9·1 机械波的产生和传播·····	518
1. 机械波产生的条件 2. 横波和纵波 3. 波长、波频和波速的关系 4. 波的几何描述 波面和波线	
§ 9·2 平面谐波·····	528
1. 平面谐波方程 2. 平面谐波方程的物理意义 3. 沿 x 轴负方向传播的平面谐波方程 4. 例题	
§ 9·3 波动微分方程 波速·····	537

1. 波动微分方程 2. 波速	
§ 9.4 波的能量	544
1. 波的能量 能量密度 2. 能量流动 能流密度 3. 声强 声强级	
§ 9.5 惠更斯原理	553
1. 惠更斯原理 2. 波的衍射 3. 波的反射和折射	
§ 9.6 波的干涉 驻波	558
1. 波的叠加原理 2. 波的干涉 3. 驻波 4. 例题	
§ 9.7 多普勒效应	569
1. 波源静止而观察者相对于介质运动情形 2. 观察者静止而 波源相对于介质运动的情形 3. 波源和观察者都相对于介质 运动的情形	
小结	578
思考题	583

第一章 质点运动学

运动学是力学的一部分，它的任务是描述物体的空间位置随时间而变化的规律。

质点是无形状大小，但具有质量并在空间占有一定位置的点。它是实际物体的一个理想模型。实物具有一定的形状和尺寸，在运动中除整体移动外，还可能发生转动和形状大小的改变。如果我们只研究物体的整体移动而不考察它的转动和形状的变化，或者物体虽有转动和形状变化，但在所研究的问题中可以略而不计时，我们就可以把该物体当作质点。例如，地球的形状近似于半径为6370公里的球体，它不停地自转着，在潮汐和地震时，还可以看到形状的变化。但是，如果我们只考察地球绕太阳公转的运动，就可以不计地球的体积大小，忽略地球的自转及形状的变化，把地球当作一个质点。本章讨论质点运动学的基本概念和规律。通过本章学习，要求读者达到以下要求：

1) 掌握匀变速直线运动的规律，了解解决一般变速直线运动问题的方法。

2) 掌握位矢、位移、速度和加速度矢量等概念。掌握用平面直角坐标系描述质点的平面运动的方法，即运动方程、速度分量、加速度分量，以及它们之间的关系。掌握抛

体运动的规律。

3) 了解切向加速度和法向加速度的意义,掌握它们的计算公式。

4) 掌握圆运动的角速度、角加速度等概念,掌握圆运动的速率、切向加速度、法向加速度等线量与角速度、角加速度之间的关系。

5) 掌握相对运动的速度合成定理和无转动情况下的加速度合成定理。

§ 1.1 参照系 坐标系

1. 运动的相对性 随着对自然现象的深入研究,人们认识到:宇宙万物无一不处在不停地运动和变化之中,不存在绝对静止的物体。历史上长期被认为不动的地球,实际上在不停地自转和绕太阳公转。太阳也不是绝对静止的,它以很大的速度绕银河系的中心旋转着。

同时,人们也发现:所谓运动和静止都是相对的。也就是说,人们总是预先把一些物体当作静止的,并以此为标准来判断其它物体的动和静,或描述其它物体怎样的运动。例如,如果把地面当作静止的,而我们自己又是站在地面上的观察者,我们就会看到路旁的电杆静立不动,而向东奔驰着的列车在运动。如果我们正好是该列车的乘客,并且我们又把列车车箱当作静止的,那么透过车窗,我们看到路旁的电杆连同地面在向西奔驰。又如,如果把地球当作静止的,那么,太阳绕地作东升西落的周期运动;但如果把太阳当作静止的,那么地球在不停地自转并以30千米/秒的速度绕太阳运动。进而,

如果把银河系的中心当作静止的，那么太阳也就不是静止的了，它以大约250千米/秒的速度绕银河系中心旋转；如果把较近的恒星当作静止的，那么太阳以19.5千米/秒的速度向着武仙座靠近织女星的方向奔去。由此可见，我们所说的运动，都是相对的运动，而所谓静止，亦应是相对的静止。

2. 参照系 由于运动是相对的，故需预先取定一个物体，或一组相对位置不改变的几个物体作为判断动、静的标准，这样的物体或几个物体称为**参照系**。在前面的例子中，地面充当了描述列车运动的参照系，太阳充当了描述地球运动的参照系。只有取定了参照系，才能确切地了解物体的运动。力学中所要研究的运动，就是物体相对于参照系的运动。

参照系是由具体的物体来充当的。我们可以选取不同的物体，组成不同的参照系。同一物体相对于不同的参照系，将作不同的运动。的确，在如前所述的例子中，如果选取地面充当参照系，则电杆静止，列车在高速向东奔驰；但如果选取列车充当参照系，那么，地面连同电杆都高速向西运动。于是，人们自然会提出选取什么样的物体充当参照系为好？对于这个问题，我们现在只能说：在运动学中，任何物体都可以被选作参照系来描述运动，通常只是希望在所选取的参照系中，能够较为简便地描述所考察物体的运动。在考察地面附近的物体运动时，人们通常把地面或固定在地面上的物体当作参照系。我们约定，以后凡未特别指明参照系，就表示是以地面作为参照系。

3. 坐标系 要定量地表示物体的位置，还需在参照系上建立坐标系。如在参照系上任选定一点O作为原点，从原