

高等学校教学参考书

物理学

力学和热学部分

余守宪 陈广汉 余国贤 祁祥麟 编

人民教育出版社

物 理 学

力学和热学部分

余守宪 陈广汉 编
余国贤 祁祥麟

02

人民教育出版社

本书内容包括：质点的运动，运动定律，机械能、机械能守恒定律，动量、动量守恒定律，刚体的转动、动量矩、动量矩守恒定律，狭义相对论基础，分子运动论，热力学。全书注意了在保证经典物理学的基础上，适当增加近代物理及近代工程技术的物理基础知识。

本书可供高等工科院校物理教师及学生参考，也可供有高中以上文化基础知识的读者自学使用。

物 理 学

力学和热学部分

余守宪 陈广汉 编
余国贤 祁祥麟

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 14.25 字数 343,000

1982年6月第1版 1983年5月第1次印刷

印数 00,001—16,500

书号 13012·0767 定价 1.50 元

编 者 序

物理学是工科各专业的一门重要基础课。本书系以我们历年的教学经验为基础，并借鉴了部分国内外教材而编写成的。在编写过程中，我们力求在内容深广度、科学水平及数学方法上都有所提高，以适应四个现代化的需要。

我们根据基础课的主要任务，编写时力求做到：一、以辩证唯物主义思想为指导，阐明物理学的基本规律。着重讲授物质的基本运动形式及其相互联系、相互转化的基本规律；二、在保证经典物理学的基础上，适当增加近代物理及近代工程技术的物理基础的知识，在介绍宏观规律的同时，注意适当阐明物理现象的微观本质；三、注意精选内容和贯彻理论联系实际的原则，注意适当说明物理学规律在科学技术及日常生活中的应用。通过例题、习题等多种方式，加深学生对基本概念的理解，学习运用理论处理实际问题的方法；四、积极运用高等数学方法表达物理规律，培养学生运用高等数学工具解决物理问题的能力；五、注意启发学生思路、教给方法，并努力做到论述清晰易懂，便于自学。

全书采用国际单位制。力学部分犹对高等数学有一定要求，因此，适于一年级第二学期上物理课使用。

本书初稿承哈尔滨工业大学、福州大学、北方交通大学、北京工业学院、北京邮电学院、北京航空学院等校试用，并提出了许多宝贵意见，又承同济大学江之永教授、哈尔滨工业大学洪晶教授、天津大学李金镒教授、成都电讯工程学院冯志超教授以及南京工学院、清华大学、上海纺织工学院、上海交通大学、西北电讯工程学院、哈尔滨船舶工程学院、华南工学院、福州大学等兄弟院校代表

审稿并提出了修改意见；最后并经哈尔滨工业大学文广珣同志审阅；在编写和修改过程中，编者所在学校（北方交通大学、北京工业学院、北京邮电学院、北京航空学院）又从各方面给予大力支持和帮助，对此我们衷心感谢。

本书经编者共同研究、分工编写，相互修改后由余守宪统稿。由于编者水平有限，缺点、错误在所难免，衷心希望读者提出宝贵意见，以便逐步改进和提高。

编 者

1982年1月

目 录

前 言

第一篇 机 械 运 动

第一章 质点的运动	5
§ 1 参照系 质点	5
§ 2 质点的运动方程 位置矢量 位移	7
一、质点的运动方程 位置矢量	7
二、位移	8
§ 3 速度和加速度	10
一、速度	10
二、加速度	12
§ 4 直线运动	17
一、运动方程	17
二、位移	18
三、速度	19
四、加速度	19
五、运动图线 速度图线 加速度图线	20
六、直线运动的解法 几种特殊情形	21
§ 5 运动叠加原理 抛射体运动	28
一、平抛运动 运动叠加原理	28
二、斜抛运动	30
§ 6 匀速圆周运动	37
§ 7 切向加速度和法向加速度	38
问题	43
习题	45
第二章 运动定律	49

§ 1	牛顿运动定律	49
§ 2	单位制和量纲	52
	一、单位制	52
	二、量纲	54
§ 3	力 场力和接触力	55
	一、力	55
	二、场力和接触力	56
§ 4	牛顿运动定律的应用	63
	一、物体受力分析 隔离体法	63
	二、牛顿运动定律在直线运动中的应用	65
	三、牛顿运动定律在曲线运动中的应用	78
§ 5	惯性系	89
§ 6	非惯性系 惯性力	91
	一、直线加速运动参照系中的惯性力	91
	二、匀速转动参照系中的惯性力 惯性离心力	97
问题		101
习题		102
第三章	机械能 机械能守恒定律	108
§ 1	功 功率	109
	一、功 功的计算	109
	二、保守力和非保守力	114
	三、功率	115
§ 2	动能 动能定理	117
§ 3	位能	122
§ 4	功和机械能的关系	127
§ 5	机械能转化与守恒定律 位能曲线	131
	一、机械能转化与守恒定律	131
	二、位能曲线	135
§ 6	能量转化与守恒定律	143
问题		146
习题		147
第四章	动量 动量守恒定律	151

§ 1	冲量 动量 动量定理	151
§ 2	动量守恒定律	158
§ 3	碰撞	164
	一、两球的正碰	165
	二、两球的二维碰撞	171
§ 4	火箭推进原理	174
§ 5	质心 质心运动定理	179
	一、质心(质量中心)	179
	二、质心运动定理	182
	问题	185
	习题	186
第五章	刚体的转动 动量矩 动量矩守恒定律	190
§ 1	角速度和角加速度	190
	一、平动和转动	190
	二、角速度和角加速度	192
§ 2	转动定律	197
	一、力矩	198
	二、转动定律	199
	三、转动惯量	201
§ 3	转动动能定理	206
	一、转动动能	206
	二、力矩的功	206
	三、转动动能定理	207
§ 4	滚动	209
§ 5	动量矩定理	216
	一、动量矩	216
	二、动量矩定理	217
§ 6	动量矩守恒定律	221
	一、质点的动量矩守恒定律	221
	二、质点系的动量矩守恒定律	223
§ 7	进动	227
	问题	231

习题	233
第六章 狭义相对论基础	238
§ 1 力学的相对性原理 经典力学的时空观	238
一、力学的相对性原理	238
二、伽利略变换 经典力学的时空观	239
§ 2 狭义相对论的基本原理 洛仑兹变换	242
一、狭义相对论的基本原理	242
二、洛仑兹变换	243
§ 3 狭义相对论的时空观	246
一、“同时”的相对性	246
二、长度的相对性(“长度缩短”)	247
三、时间的相对性(“时间延缓”或“时间变慢”)	250
四、速度合成定理	252
§ 4 狭义相对论动力学的几个关系式	254
一、质量和速度的关系式	254
二、质量和能量的关系式	255
三、动量和能量的关系式	258
问题	262
习题	263

第二篇 分子热运动

第一章 分子运动论	267
§ 1 分子运动论的基础	267
一、通常的物质是由分子组成	267
二、分子的热运动	269
三、分子力	271
§ 2 气体的状态参量	273
一、气体的体积	274
二、气体的压强	274
三、气体的温度	275
§ 3 理想气体状态方程	275

一、理想气体状态方程	275
二、理想气体状态方程的两个推论	278
§ 4 理想气体的压强公式	284
一、理想气体的分子模型	284
二、理想气体的压强公式	285
§ 5 理想气体的温度公式	290
§ 6 能量按自由度均分定理 理想气体的内能	293
一、自由度	293
二、能量按自由度均分定理	295
三、理想气体的内能	296
§ 7 麦克斯韦速率分布定律	298
一、气体分子速率分布规律	298
二、三种统计速率	301
三、统计规律与涨落现象	307
§ 8 麦克斯韦速率分布定律的实验证明	308
§ 9 玻耳兹曼能量分布定律	311
一、分子在力场中的分布	311
二、分子按动能的分布	315
三、玻耳兹曼分布	316
§ 10 分子平均每秒碰撞次数 平均自由程	317
§ 11 气体内的迁移现象	320
一、内摩擦现象(粘滞现象)	320
二、热传导现象	325
三、扩散现象	327
§ 12 真空	329
一、真空及其用途	329
二、真空的获得	330
§ 13 真实气体的分子模型 范德瓦耳斯方程	334
一、真实气体的等温线	334
二、真实气体的分子模型 范德瓦耳斯方程	336
三、范德瓦耳斯方程的等温线和真实气体的等温线	341
§ 14 晶体和液体中粒子的热运动	343

一、晶体中粒子的热运动	343
二、液体中粒子的热运动	346
问题	349
习题	351
第二章 热力学	356
§ 1 内能 功 热量	356
§ 2 热力学第一定律	357
§ 3 理想气体的等容过程和等压过程 气体的摩尔热容量	363
一、理想气体的等容过程	363
二、理想气体的等压过程	365
三、理想气体的摩尔热容量	367
§ 4 理想气体的等温过程和绝热过程	370
一、理想气体的等温过程	370
二、理想气体的绝热过程	372
§ 5 节流过程 焦耳-汤姆孙效应	379
§ 6 循环过程 卡诺循环	382
一、循环过程	382
二、卡诺循环	384
三、奥托循环	387
四、狄赛尔循环	390
§ 7 热力学第二定律	391
一、热力学第二定律	391
二、可逆过程与不可逆过程	393
三、卡诺定理	395
四、热力学第二定律的统计意义	398
问题	400
习题	402
附录 I 矢量	407
附录 II 国际单位制	426
附录 III 麦克斯韦速率分布定律	435
附录 IV 重要物理恒量	436
习题答案	438

前 言

自然科学,包括物理学在内,是研究自然界物质运动客观规律的科学.我们学习自然科学,就是为了要了解自然,克服自然和改造自然,从自然里得到自由.

自然界是由不依赖于我们意识而客观存在的各种形态的物质所组成.自然界中一切物质都在永不停息地运动着.恩格斯指出:“运动是物质的存在形式.无论何时何地,都没有也不可能有没有运动的物质.……没有运动的物质和没有物质的运动是同样不可想象的.”(《反杜林论》,人民出版社,1970年12月第1版,第56-57页).

自然界中物质的运动形式是多种多样的,主要有:机械运动,分子热运动,电磁运动,原子、原子核、基本粒子的运动,化学运动和生物运动等.各种不同的物质运动形式,既遵守普遍的规律,又有自己的特殊规律.自然科学的各个分科(物理学、化学、生物学等)就是按照所研究的不同的物质运动形式而划分的.

物理学是研究物质运动最基本、最普遍规律的自然科学,它研究机械运动,分子热运动,电磁运动,原子、原子核、基本粒子的运动的规律.如果对物理学所研究的基本规律有了一定认识,就有助于进一步理解比较高级、比较复杂的运动规律(如化学运动的规律,生物运动的规律等).因此,物理学是其它自然科学的基础.

生产发展的客观需要是物理学发展的强大动力.同时物理学的研究,又有力地推动生产的发展,甚至促使社会生产力发生根本性的变革.因此,物理学是工程技术的重要支柱,它在人类认识自然、改造自然的斗争中一直处于领先的地位,许多新学科的建立,

许多工程技术中的重大发明创造都发源于物理学，例如：造成社会生产方式划时代变革的蒸汽机的发明，电能的广泛利用，原子核能的应用和半导体的应用等等都是这样。因此，我们应该努力学好物理学，以适应进一步的学习提高和从事社会主义建设的需要，为在我国实现现代化更好地作出贡献。

第一篇 机械运动

物质的各种运动形式中，最简单而又最基本的运动形式就是物体位置的变动，叫做机械运动。物理学中研究机械运动规律的学科，叫做力学。

研究力学和研究其它学科一样，应该采取由表及里、由现象到本质的步骤。通常是先研究机械运动的描述，即研究物体位置如何随时间而变化，这叫做运动学，然后进一步研究机械运动的规律，即在怎样的条件下发生怎样的运动，这叫做动力学，若研究在怎样的条件下物体处于平衡状态，这叫做静力学，静力学可以看做是动力学的特殊情况。

在比较高级、比较复杂的各种物质运动形式(例如：分子热运动、电磁运动、化学运动、生物运动等)中都包含机械运动这种最基本的运动形式，它们既和机械运动有区别，又能在一定条件下和机械运动相互转化。恩格斯说：“研究运动的性质，当然应当从这种运动的最低级、最简单的形式开始，先理解了这些最低级、最简单的形式，然后才能对更高级、更复杂的形式有所阐明”^①。所以，力学是物理学的基础，也是其它学科和工程技术的基础。

在本篇中，我们主要论述以牛顿运动定律为基础的力学，力学中的这一部分叫做经典力学(古典力学)或牛顿力学。实践证明，一般宏观物体的运动都遵守经典力学的规律。不过，自从十九世纪后半期以来，人们对物质世界的认识开始深入到分子、原子、电子、光子等微观粒子的运动，发现经典力学是有局限性的：(1)当所

^① 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971年版，第53页。

涉及到的运动速度远小于真空中的光速 ($3 \times 10^8 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) 时经典力学才成立, 否则, 机械运动就遵从相对论力学的规律; (2) 当所涉及的运动物体不是微观粒子时经典力学才成立, 微观粒子的运动则遵从量子力学的规律, 只有在一定限度内、一定条件下微观粒子的运动才可以近似地用经典力学的方法来研究 (通常把这种方法叫做经典近似法)。

应该指出, 经典力学虽然有局限性, 但它的基本定律 (动量守恒定律、动量矩守恒定律、机械能守恒定律等) 仍然是广泛地解决理论和实际问题的基础。从天体运动、人造卫星、宇宙火箭到电子射线管、显象管内电子的运动等等许多问题都可以用经典力学的方法来分析解决, 而相对论力学和量子力学也正是在经典力学和物理学其它部分的基础上发展起来的。

第一章 质点的运动

这一章讨论如何描述物体的运动，着重阐明速度和加速度这两个基本概念，加深对运动的相对性、瞬时性、矢量性等基本性质的认识。有关质点动力学的问题，将在下面几章进行研究。

§ 1 参照系 质点

要分析一个物体的运动情况，应选择另一物体为参考，来说明运动物体相对于这个被选作参考用的物体是如何运动的。例如，要研究物体在地面上的运动，常选地球作为参考。被选作参考的一个或几个相互间没有相对运动的物体，叫做参照系。用不同的参照系观察同一物体的运动，结果往往是不同的。例如，在地面上站着的人看下落的雨点是铅直的，但行驶着的汽车里的乘客看下落的雨点，则是向后倾斜的，而且落得较快。又如，在设计飞机时，通常把所设计的飞机做成模型放在风洞中做实验，以测定飞机的性能(如图 1-1-1)。这时，飞机模型相对于地面及风洞是静止的，但如果选气流作为参照系，则飞机模型在高速飞行。从上述例子中可以得到这样的结论：当我们描述某一物体的运动时，必须明确

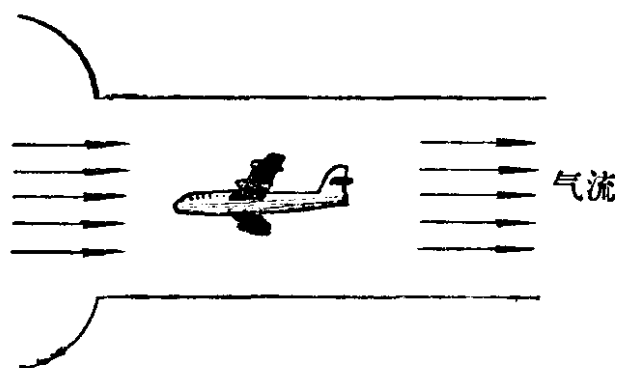


图 1-1-1 风洞中的飞机模型

指出这种运动是相对于哪一个参照系来说的，否则就无法确定物体的运动情况。当然，选参照系要便于研究，要具体分析。

选定了参照系以后，为了定量地描述物体位置的变化，就需要在参照系上选定一个坐标系。最常用的坐标系是直角坐标系。习惯上，人们就把选定在参照系上的坐标系叫做参照系。

任何物体都有大小和形状，要精确地描述它的运动是不容易的。为了抓住主要特点，忽略次要因素，在某些情况下，可以近似地用一个点来代表物体，这样一个没有形状和大小，仅有质量的点叫做质点。

在什么情况下可以把物体看成质点呢？这要具体分析。比如，研究手榴弹的轨道运动时，可以不考虑手榴弹的大小和形状；研究地球绕太阳的公转运动时，也可以不考虑地球的大小和形状，这时可以把手榴弹或地球看成是质点。但是，在研究手榴弹的转动或地球的自转时，就不能把它看成质点。又如，一个刚体（即大小、形状都不改变的物体）在运动时，如果其内部任意两点连成的直线始终保持与原来的位置平行（这种运动叫做平行移动，简称平动，参看图1-1-2），则刚体内所有各点的运动情况都相同，我们就可以在刚体内任选一点来代表它，把它当作一个质点来处理。

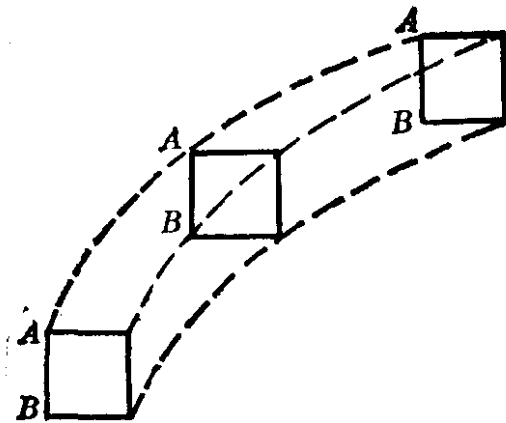


图 1-1-2

如果我们不能把物体看成一个质点来研究，又怎么办呢？这