

普通物理学

第一卷

力学与分子物理学

[苏]И. В. 萨韦利耶夫著 钟金城 何伯珩译 高等教育出版社

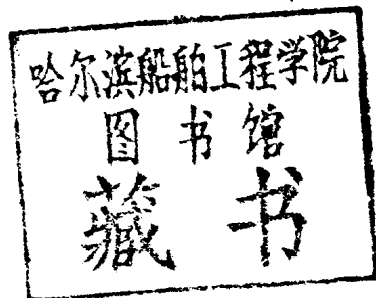
普通物理学

第一卷

力学与分子物理学

[苏] И.В. 萨韦利耶夫 著

钟金城 何伯珩 译



高等教育出版社

(京)112号

内 容 提 要

本书系据苏联科学出版社出版的 И. Б. 萨韦利耶夫著《普通物理学》第一卷 1982 年增订第二版译出。

这套《普通物理学》共三卷。内容包括：力学与分子物理学（第一卷）；电磁学、波与光学（第二卷）；量子光学、原子物理学、固体物理学、原子核和粒子物理学（第三卷）。

这套书的主要目的在于向大学生介绍物理学的基本概念和方法，特别注意物理定律涵义的解释及其应用。该书保持了苏联教材在叙述上严谨、简洁的特色，又在可能情况下将物理学的近代成就（包括相对论和量子论）引入普通物理学，且这种引入不只是作一般知识性介绍，而是尽可能与普物的传统内容融为一体，使经典理论成为它的相对论或量子论表述的经典极限，在内容、风格和处理方法上给人以“新”的感觉。

该书是莫斯科工程物理学院使用的教材，可供高等工科院校使用多学时普物教学大纲的专业作为教学参考书，但就其内容的深度和广度而言，它也可供我国理科的物理等专业师生参考。

普 通 物 理 学

第 一 卷

力学与分子物理学

[苏] И. Б. 萨韦利耶夫 著

钟金城 何伯珩 译

*

高等教育出版社出版

新华书店总店北京科技发行所发行

北京市顺义县印刷厂印装

*

开本 85×1168 1/32 印张 15 字数 360 000

1992 年 5 月第 1 版 1992 年 5 月第 1 次印刷

印数 0001—2 135

ISBN7-04-003610-X/O·1079

定价 9.35 元

哈尔滨船舶工程学院
图书馆
藏书

前 言

作者致力于这三卷普通物理学的编写工作凡二十年。这套书的第一个版本几乎在每次重印时都作了局部修改(计第一、二卷各重印了五次,第三卷重印了四次),新版本的第 一、二、三卷分别于 1977、1978 和 1979 年出版。新版本对许多问题的叙述在风格、深度和处理方法上都与旧版本如此明显的不同,以致于有充分理由认为这是一套重新编写的教材。

作者在编写这套教材时,力图不把物理学弄成一些需要掌握的资料的堆积和“死记硬背”的科学,而要使之成为一门凝聚了人类非凡智慧、合乎逻辑而又优美动人的科学。对此,究竟做到了什么程度,有待读者来判断。

作者深深知道:一套教科书包罗过多,这一事实本身就会使学生烦恼,因此,必须尽可能限制其篇幅。做到这一点的办法,就是精选出那些作者看来应该包括在这套书中的内容;此外,叙述力求简短,但又无损于阐述的清晰性。

虽然要尽量压缩篇幅,但作者认为在教材中包括几节数学,诸如矢量、线性微分方程、概率论的基本概念等,还是必要的。这样做是为了使有关数学概念和关系式具有“物理学”的色彩;此外,即使有关材料在数学课程中尚未讲到(常有这种情况),“掺入”这些数学内容可使物理学的学习得以进行下去。

这套教科书首先是供采用扩充的物理学教学大纲的高等工科院校使用的。但是,这套书的叙述是这样安排的:将某些章节省略后,对于采用通用物理学教学大纲的高等工科院校,也可用作教学

参考书。在正文之前的“教学法建议”中，除其它材料外，还列出了学时不足时，大体可以删节的目录（即可省略的内容）。

出第二版时，对第一卷作了重要修改。重写了下列章节：1) 有关势能的第 21、22 和 23 节；2) 第八章“相对论力学”；3) 第十六章“物理动理学”。总共重写二十节。此外，尚有六节作了部分修改。

（以下从略）

И. В. 萨韦利耶夫

1981 年 5 月于莫斯科

教学法建议

在这个建议中将指出一些通常不太重视的问题。此外,还将列出因学时不足以讲授全书时可以不讨论的章节或个别段落的目录。这个目录反映作者个人的观点,故只带有建议的性质。

1. 很多物理量是矢量,所以,掌握 § 2 中的矢量知识是学好本书必不可少的前提。

应当注意表达式 $|\Delta a|$ (或 $|da|$) 与 $\Delta a = \Delta|a|$ (或 $da = d|a|$) 是不同的。有时,会遇到将这两个表达式混为一谈的情况。

2. 平均这一概念在物理学中起着重要作用,所以,必须努力掌握有关公式(3.20)–(3.22)。应当记住,平均是多种多样的:例如对时间的平均,对线段(例如轨迹的一段)的平均,对表面积的平均,对体积的平均,对粒子数的平均,等等。

记住正弦或余弦的平方在一个周期内的平均值等于 $1/2$ 是有益的,这在很多情况中可以避免相应的积分计算。

3. 应使用准确的专门名词“增量”和“减量”以代替多涵义的名词“改变量”(见 73 页的脚注)。通常未准确使用这些专门名词是由于下列原因:把专门名词“增量”与量的增大或增加联想起来,而把专门名词“减量”与量的变小或减少联想起来。这种联想是不合理的,必须丢掉,因为由定义可得:

$$\text{增量} = a_{\text{终}} - a_{\text{始}} = \Delta a (\text{或 } da),$$

$$\text{减量} = a_{\text{始}} - a_{\text{终}} = -\Delta a (\text{或 } -da),$$

可知无论是增量还是减量都是代数量,即它们可能是正的,也可能是负的。在增量为负的情况下,该量没有增大,而是减少了;在减

量为负的情况下,该量没有减少,而是增大了。

为了表明“改变量”这个名词的不确切性,让我们来比较下面两个公式:

$$A_{12} = T_2 - T_1 = \Delta T \quad [\text{见}(19.11)],$$

$$A_{12} = U_1 - U_2 = -\Delta U [\text{见}(22.1)].$$

第一个公式包含动能的增量,第二个公式包含势能的减量。如果在两种情况下都利用“改变量”这个名词,那末,变化的特征将仍然是不确定的。

4. 在 § 14 “弹性力”中可以只讨论到弹簧的胡克定律为止,这一节的其余部分,从引进公式(14.3)的那一段开始,可以不讲。相应地,在 § 20 “功”中可以讨论公式(20.3),在 § 25 “弹性势能”中可以讨论公式(25.2) — (25.5)。

5. § 30 的“有心力场中的运动”和 § 31 的“二体问题”可省略。

6. § 34 “科里奥利力”可以只限于导出物体作圆周运动时的公式(34.3),而且无需证明这个公式在任何其它情况下都成立的结论。这节中从含有公式(34.4)到给出公式(34.16)为止的各段都可删去。

7. § 35 “非惯性参考系中的守恒定律”可省略。

8. § 40 “惯量张量的概念”以及 § 41 中由惯量张量导出动能表达式的那一部分可删去。不过,读者应注意,公式(41.1)仅在某些特殊情况下成立(见 § 41 的最后段落)。

9. § 44 “回转器”可删去。

10. 在 § 46 “引力场”中,公式(46.7)以后的各段可省略。

11. 在 § 47 中,厄缶(R. Eötvös)实验的描述可省略。

12. 在 § 60 “受迫振动”中,两种求特解的方法只讨论其中之一就够了,亦即或只讨论复函数求解法,或只讨论矢量图求解法。

13. § 63 中的“洛伦兹变换”，可以不作推导，而只给出结论。记住此变换的公式(63.17)是必要的。

14. § 68 中公式(68.4)的推导可省略。

15. 在教学大纲的最低方案里可以不包含第九章“流体力学”。

16. § 95 “分子的碰壁数”可以只按简化的讨论导出公式(95.7)。然后指出：较严格的推导仅得到数值系数的较精确值，即以 $1/4$ 代替 $1/6$ 。包含有公式(95.1)—(95.6)的内容也可删去。

17. § 96 “气体施于器壁的压强”也可以只限于导出公式(96.4)，而公式(96.1)和(96.2)的推导可以省略。必须强调：虽然简化了推导，但得到的压强公式一直准确到数值系数。

18. 在 § 98 “麦克斯韦分布”中，函数(98.13)、(98.14)以及归一化因子 A 的计算和求分子平均速率的表达式(98.26)等的推导都可以略去。

19. 在 § 103 “熵”中，公式(103.4)之后到公式(103.20)之前的那些内容可省略，只要知道这样的论断，即“可以证明，伴随着从外界传给系统热量 $d'Q$ 的可逆过程中，系统熵的增量由公式(103.20)确定(自外界获得热量的系统不是孤立系，所以它的熵在过程中不再恒定)”。

20. § 106 和 § 108 可省略。

21. 在 § 109 “热力学势”中，可以只讨论公式(109.2)之前并包含公式(109.2)在内的有关自由能的内容。

22. 在 § 111 “晶体的分类”中，不要求记住晶系的名称和定义。

23. § 113 “晶体缺陷”可删去。

我们再一次着重指出：以上所列举的删节目录是个大体上的目录，教师可根据不同情况酌情处理。

M. 57/04

目 录

前言	8
教学法建议	10
绪论	1

第一部分 力学的物理基础

第一章 运动学	6
§ 1. 机械运动	6
§ 2. 矢量知识	9
§ 3. 速度	27
§ 4. 加速度	34
§ 5. 转动运动学	38
第二章 质点动力学	42
§ 6. 经典力学及其适用范围	42
§ 7. 牛顿第一定律·惯性参考系	43
§ 8. 物体的质量和动量	44
§ 9. 牛顿第二定律	46
§ 10. 物理量的单位和量纲	48
§ 11. 牛顿第三定律	52
§ 12. 伽利略相对性原理	54
§ 13. 力	57
§ 14. 弹性力	58
§ 15. 摩擦力	61
§ 16. 重力和重量	65
§ 17. 牛顿定律的实际应用	67
第三章 守恒定律	70

§ 18. 守恒量	70
§ 19. 动能	71
§ 20. 功	73
§ 21. 保守力	77
§ 22. 外力场中的势能	82
§ 23. 相互作用势能	88
§ 24. 能量守恒定律	94
§ 25. 弹性形变势能	96
§ 26. 力学系统的平衡条件	97
§ 27. 动量守恒定律	99
§ 28. 二体碰撞	102
§ 29. 角动量守恒定律	105
§ 30. 有心力场中的运动	112
§ 31. 二体问题	116
第四章 非惯性参考系	119
§ 32. 惯性力	119
§ 33. 惯性离心力	121
§ 34. 科里奥利力	124
§ 35. 非惯性参考系中的守恒定律	131
第五章 刚体力学	133
§ 36. 刚体运动	133
§ 37. 刚体的质心运动	135
§ 38. 物体的定轴转动	136
§ 39. 转动惯量	143
§ 40. 关于惯量张量的概念	147
§ 41. 刚体转动动能	155
§ 42. 物体平面平行运动的动能	159
§ 43. 刚体动力学定律的应用	160
§ 44. 回转器	167
第六章 万有引力	175
§ 45. 万有引力定律	175
§ 46. 引力场	177

§ 47. 等效原理·····	182
§ 48. 宇宙速度·····	186
第七章 振动·····	189
§ 49. 振动的一般知识·····	189
§ 50. 小振动·····	190
§ 51. 复数·····	194
§ 52. 线性微分方程·····	196
§ 53. 简谐振动·····	199
§ 54. 摆·····	205
§ 55. 矢量图·····	208
§ 56. 拍·····	210
§ 57. 互相垂直振动的合成·····	212
§ 58. 阻尼振动·····	216
§ 59. 自振·····	221
§ 60. 受迫振动·····	222
§ 61. 参变共振·····	229
第八章 相对论力学·····	230
§ 62. 狭义相对论·····	230
§ 63. 洛伦兹变换·····	234
§ 64. 由洛伦兹变换引出的一些结果·····	239
§ 65. 间隔·····	243
§ 66. 速度的变换与相加·····	246
§ 67. 动量的相对论表达式·····	247
§ 68. 能量的相对论表达式·····	252
§ 69. 动量和能量的变换·····	255
§ 70. 质能关系·····	258
§ 71. 静质量为零的粒子·····	259
第九章 流体动力学·····	262
§ 72. 流线和流管·流束的连续性·····	262
§ 73. 伯努利方程·····	264
§ 74. 由小孔流出的液体·····	267
§ 75. 内摩擦力·····	269

§ 76. 片流和湍流·····	271
§ 77. 圆管中液体的流动·····	273
§ 78. 物体在液体和气体中的运动·····	275

第二部分 分子物理学和热力学

第十章 预备知识 ·····	280
§ 79. 统计物理学和热力学·····	280
§ 80. 分子的大小和质量·····	281
§ 81. 系统的状态·过程·····	283
§ 82. 系统的内能·····	286
§ 83. 热力学第一定律·····	287
§ 84. 体积改变时物体所作的功·····	289
§ 85. 温度·····	292
§ 86. 理想气体状态方程·····	294
§ 87. 理想气体的内能和热容·····	296
§ 88. 理想气体的绝热线方程·····	300
§ 89. 多方过程·····	302
§ 90. 理想气体在各种过程中所作的功·····	304
§ 91. 范德瓦耳斯气体·····	306
§ 92. 气压公式·····	310
第十一章 统计物理学 ·····	313
§ 93. 概率论的某些知识·····	313
§ 94. 分子热运动的特征·····	316
§ 95. 分子的碰壁数·····	320
§ 96. 气体施于容器壁的压强·····	323
§ 97. 分子的平均能量·····	325
§ 98. 麦克斯韦分布·····	334
§ 99. 麦克斯韦分布律的实验验证·····	342
§ 100. 玻耳兹曼分布·····	345
§ 101. 佩兰测定的阿伏伽德罗数·····	348
§ 102. 宏观态与微观态·统计权重·····	350

§ 103. 熵	357
第十二章 热力学	367
§ 104. 热力学基本定律	367
§ 105. 卡诺循环	372
§ 106. 热力学温标	377
§ 107. 计算熵的例题	380
§ 108. 熵的一些应用	382
§ 109. 热力学势	385
第十三章 晶态	390
§ 110. 晶态的特性	390
§ 111. 晶体的分类	392
§ 112. 晶体格子的物理类型	394
§ 113. 晶体中的缺陷	396
§ 114. 晶体的热容	399
第十四章 液态	401
§ 115. 液体的结构	401
§ 116. 表面张力	402
§ 117. 弯曲液面下的压强	405
§ 118. 液-固界面上的现象	408
§ 119. 毛细现象	411
第十五章 相平衡与相变	414
§ 120. 引言	414
§ 121. 蒸发与凝结	415
§ 2. 液体与饱和蒸气的平衡	417
§ 123. 临界态	419
§ 124. 过饱和蒸气与过热液体	421
§ 125. 溶解与结晶	424
§ 126. 克拉珀龙-克劳修斯方程	426
§ 127. 三相点·状态图	429
第十六章 物理动理学	433
§ 128. 输运现象	433

§ 129. 平均自由程.....	438
§ 130. 气体中的扩散.....	442
§ 131. 气体中的热传导.....	445
§ 132. 气体的粘性.....	449
§ 133. 超稀薄气体.....	452
§ 134. 泻流.....	454
附录	459
I. 几个积分的计算.....	459
II. 斯特林公式.....	460
III. 二阶对称张量.....	461

绪 论

物理学是研究物质运动最普遍的性质和形式的科学。

列宁在其著作《唯物主义和经验批判主义》中给物质下了一个经典定义：“物质是标志客观实在的哲学范畴，这个客观实在是人们感觉到的，它不依赖我们的感觉而存在，而为我们的感觉所复写、摄影、反映。”^①这个定义包含两个原理：1) 物质是客观实在，它不依赖于任何人的意识或感觉；2) 物质为我们的感觉所复写、反映，所以是可认识的。

根据物理学的定义，物理学集中体现了有关外部世界最普遍的性质和现象的学说。科学院院士 С. И. 瓦维洛夫在一篇论文中指出：“物理学的相当大的一部分内容，它的事实和规律具有极大的普遍性，所以，自古以来，物理学就与哲学有着紧密联系。……有时，物理学的论断在其性质上很难把它们与哲学论断区分开来。因而，一个物理学家应该是一个哲学家。”

目前，已知物质有两种形式：实物和场。第一种物质形式(实物)包括诸如原子、分子以及所有由它们组成的物体。电磁场、引力场和其它的场，构成物质的第二种形式。不同形式的物质能够互相转变。例如，一个电子和一个正电子（它们都是实物）能转变为光子(即转变为电磁场)。相反的过程也是可能的。

物质处于不断运动之中，这种运动在辩证唯物主义^②中一般

① 列宁：《唯物主义和经验批判主义》，人民出版社 1960 版，120 页。

② 辩证唯物主义是马克思、列宁主义哲学。一切哲学最根本的问题是：什么是第一性的？是物质还是意识？辩证唯物主义认为是物质，断言物质是第一性的，而意识是第二性的。辩证法乃是这个哲学的方法，它认为物质处在不断运动和发展之中，这种运动和发展的根源在于客体和现象所固有的内在矛盾。

理解为一切可能的变化。运动是物质的不可分离的属性，它和物质本身一样，既不能产生，也不能消灭。物质在空间和时间中存在着、运动着，空间和时间是物质的存在形式。

物理学定律建立在对实验事实进行总结的基础上，它们描述自然界中存在的客观规律性，这些定律通常以各种物理量之间定量关系式表达出来。

物理学的基本研究方法是进行实验，即在一些严格控制条件下观察被研究的现象。这些条件使人们得以观察现象发生的进程，而且，当条件重复时，这些现象每次都能重复发生。但实验能产生在自然界中观察不到的现象，例如，现在已知的化学元素中有十多种元素，目前在自然界还未发现，它们是借助于核反应用人工方法获得的。

为了解释实验事实，人们提出各种假说。假说是为解释某个事实或现象而提出的科学假设，需要加以检验和论证才能成为科学理论或定律。验证所提出假说的正确性，需要进行有关实验，以及弄清假说的推论是否与实验和观察的结果相符。一个成功地经过了这样检验和论证的假说，就是科学定律或科学理论。

物理理论乃是基本概念的系统化。这些基本概念总结了实验数据并反映自然界的客观规律性。一个物理理论应以统一的观点对一个领域的一切自然现象作出解释。

物理学分为经典物理学和量子物理学。所谓经典物理学是指二十世纪初已建成的物理学。经典物理学是由牛顿奠基的，他概括了经典力学的基本定律。牛顿力学如此富有成效而强有力，致使当时的物理学家们形成了一种观念，认为任何物理现象都能借助牛顿定律加以解释。

上世纪末已建立起来的物理学体系是很严整的，那时大多数物理学家曾深信他们已完全了解自然界一切可能认识的事物。然

而，很多敏锐的物理学家已认识到经典物理学大厦存在着一些弱点。例如，英国物理学家 W. 汤姆孙（即开尔文，1824—1907）曾指出：在经典物理学晴朗天空的地平线有两朵乌云，即多次尝试建立绝对黑体辐射理论的失败，以及光波传播的假想媒质——以太的矛盾行为。为克服这些困难而作的持久努力得到了意想不到的结果。为了解决这些经典物理学不能解决的问题，必须从根本上重新考虑那些习以为常的传统观念，引入与经典物理学精神迥然不同的观念。1900 年，普朗克（1858—1947）引入光以一份一份（即量子）形式发射的概念，成功地解决了绝对黑体辐射问题。这样，在刚跨入二十世纪时，出现了量子概念。量子概念在近代物理学中起着极其重要的作用，并导致量子力学的建立。

有关以太的实验事实的矛盾，促使爱因斯坦（1879—1955）重新考虑从牛顿时代起就认为是不言而喻的空间、时间观念，结果导致了相对论的建立。对于那些其速率可与光速比较的运动物体，相对论给出的运动方程明显地不同于牛顿力学给出的运动方程。

1897 年发现了电子，并且确认它包含在一切化学元素的原子中。于是，弄清楚了从前认为不可分的原子具有复杂的结构。

总之，20 世纪初期的标志是物理学从根本上打破了大量传统概念和观念。物理的新发现和新理论摧毁了物理学家们已建立的关于物质结构的观念，有些物理学家把这看作是物质消失了。很多物理学家陷入了唯心主义之中，物理学危机开始了。

1908 年，列宁在《唯物主义和经验批判主义》一书中给“物理”唯心主义者以深刻批评。他指出新发现并不表明物质的消失，而表明到那时为止已了解的物质的界限消失了。列宁写道：“物质消失”这句话的意思是说：迄今我们认识物质所达到的那个界限正在消失，我们的认识正在深化；那些从前以为是绝对的、不变的、原本的物质特性（不可入性、惯性、质量等等）正在消失，现在它们显现