

普通物理学

普通物理学

(修订本)

第一卷

C. G. 福里斯 A. B. 季莫列娃著

梁宝洪译

人民教育出版社

本书旧译本是根据苏联国立技术理论书籍出版社 (Гостехиздат) 出版的福里斯(С. Э. Фриш)和季莫列娃(А. В. Тиморева)合著“普通物理学”(Курс общей физики)第一卷 1953 年修订第五版译出的。后又根据苏联国立数理书籍出版社(Физматгиз)出版的该书 1961 年增补第十版,对旧译本进行了全面的修订。原书新版在功与能、回转器、火箭原理、超流动现象、热力学第一定律、参变振动等方面都作了一些修改和补充。

本书可作为综合大学及高等师范学校物理各专业“普通物理学”课程有关部分的教学参考书,也可供各高等院校其他专业的师生参考。

本书的修订工作,是由戈革、何建鄂同志担任的,原译者梁宝洪同志也协助进行了一些工作。

简装本说明

目前 850×1168 毫米规格纸张较少,本书暂以 787×1092 毫米规格纸张印刷,定价相应减少 20%。希鉴谅。

普通物理学

第一卷

(修订本)

С. Э. 福里斯 著

А. В. 季莫列娃

梁宝洪 译

人民教育出版社出版(北京沙滩后街)

人民教育出版社印刷厂印装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

统一书号 13012·0298 开本 787×1092 1/32 印张 15 10/16

字数 380,000 印数 66,471—156,470 定价 1.05 元

1954 年 12 月第 1 版 1964 年 5 月第 2 版

1979 年 5 月北京第 23 次印刷

第一卷目录

緒論	1
§ 1. 物理学·物理学的内容, 它和其他科学及技术的关系	1
§ 2. 物理定律	4
§ 3. 量度单位	6

第一編 力学的物理基础

第一章 运动学	11
§ 4. 总論	11
§ 5. 匀速直綫运动	14
§ 6. 变速直綫运动	16
§ 7. 匀变速直綫运动·加速度	19
§ 8. 任意直綫运动的加速度	22
§ 9. 速度和加速度的矢量概念	23
§ 10. 曲綫运动	26
§ 11. 曲綫运动中的加速度	30
§ 12. 剛体运动学·角速度和角加速度	35
§ 13. 角速度的矢量概念	40
第二章 动力学	42
§ 14. 牛頓第一定律	42
§ 15. 牛頓第二定律·力和质量	44
§ 16. 摩擦力	47
§ 17. 动量·力的冲量	50
§ 18. 力的单位和质量的单位·例題	52
§ 19. 力学的相对性原理	57
§ 20. 牛頓第三定律·动量的守恒	58
§ 21. 曲綫运动中的作用力	64
§ 22. 加速参照系·慣性力	67
§ 23. 重力和地域緯度之間的关系	72
§ 24. 科里奧利力	74
第三章 功和能	80

§ 25. 功和功率	80
§ 26. 力学体系的动能	87
§ 27. 力学体系的势能	91
§ 28. 体系的机械能守恒及变化定律	95
§ 29. 能量的图示	98
§ 30. 量纲公式	102
§ 31. 经典力学的适用范围	105
第四章 引力	114
§ 32. 引力	114
§ 33. 惯性质量和引力质量·重力的功	120
第五章 刚体的运动	124
§ 34. 刚体的运动	124
§ 35. 刚体的转动·力矩和转动惯量	126
§ 36. 几种物体的转动惯量	130
§ 37. 动量矩	133
§ 38. 迴轉器	137
§ 39. 转动刚体的动能	140
第六章 液体的运动	146
§ 40. 理想液体的运动·流綫和流管	146
§ 41. 动量守恒定律在流体流动时的应用	152
§ 42. 粘滯液体的运动	156

第二編 分子物理学

第七章 气体	166
§ 43. 物质结构的原子-分子学說	166
§ 44. 玻意耳-馬略特定律和盖呂薩克定律·温度的測定	170
§ 45. 理想气体物态方程·气体的密度	177
§ 46. 气体分子运动論的基本概念	182
§ 47. 混合气体中的分压强	188
§ 48. 气体的内能·自由度	191
§ 49. 气体的热容量	193
§ 50. 麦克斯韦速度分布定律	201
§ 51. 粒子按高度的分布	208
§ 52. 阿伏伽德罗数的測定	210
§ 53. 分子的自由程	214
§ 54. 分子注实验	217

§ 55. 气体中的輸运现象·扩散	221
§ 56. 气体的內摩擦和导热	225
§ 57. 很低压强下气体中的导热和內摩擦	234
§ 58. 低压的获得及测量	236
§ 59. 极低压强下的气体性质	241
§ 60. 实在气体·范德瓦耳斯方程	244
§ 61. 范德瓦耳斯改正量的性质的較精确研究	249
§ 62. 范德瓦耳斯等温綫·物质的临界状态	254
§ 63. 临界量的确定·約化量方程	260
§ 64. 实在气体的內能·焦耳-湯姆孙效应	263
§ 65. 气体的液化	267
第八章 热力学基础	271
§ 66. 过程的分子运动論描述法和能量描述法	271
§ 67. 被傳遞的热量与功之間的当量关系	272
§ 68. 热力学第一定律	274
§ 69. 循环过程(循环)	281
§ 70. 絕热过程·絕热曲线方程	287
§ 71. 气体体积作絕热变化和等温变化时的功	293
§ 72. 热力学第二定律	297
§ 73. 卡諾循环·热机的效率	298
§ 74. 工程技术上的循环	306
§ 75. 可逆过程与不可逆过程	314
§ 76. 热力学第二定律的統計意义	316
§ 77. 克劳修斯不等式·熵	323
第九章 液体中的分子现象	330
§ 78. 液体的结构·分子压强	330
§ 79. 表面張力	335
§ 80. 弯曲液体表面下的压强	338
§ 81. 任意形状之弯曲液面下的压强	341
§ 82. 液体与固体交界处的现象·毛細现象	343
§ 83. 液滴在液体表面上的展布·单分子薄膜	349
§ 84. 液体的蒸发	351
§ 85. 溶液·渗透压强	355
§ 86. 弯曲表面上方及溶液上方的饱和蒸气压	359
第十章 固体	364
§ 87. 晶体与非晶体	364
§ 88. 晶体点陣的能量	368

§ 89. 固体的形变	372
§ 90. 弹性极限与强度极限·塑性形变	380
§ 91. 从固体的晶体结构观点研究形变	383
§ 92. 固体中的热运动·固体的膨胀	386
§ 93. 固体的热容量	389
§ 94. 固体的熔解与汽化	393
§ 95. 液体的准晶体结构	397
§ 96. 固体对于气体的吸收和吸附	400

第三編 振动与波

第十一章 諧振动	403
----------	-----

§ 97. 諧振动	403
§ 98. 諧振动的速度和加速度·例题	408
§ 99. 諧振动的能量	412
§ 100. 在同一直线上发生的振动的合成	414
§ 101. 互相垂直的振动的合成	418
§ 102. 阻尼振动	423
§ 103. 受迫振动	428
§ 104. 用諧振动表示非諧振动过程	434
§ 105. 用复数表示振动过程	440

第十二章 波	443
--------	-----

§ 106. 彈性媒质內波的傳播	443
§ 107. 惠更斯原理	446
§ 108. 波的方程	449
§ 109. 波的干涉	451
§ 110. 駐波	454
§ 111. 彈性媒质中的振动傳播动力学	459
§ 112. 波的能量	462
§ 113. 多普勒效应	467
§ 114. 群速度	470

第十三章 声学振动	474
-----------	-----

§ 115. 声振动及其傳播	474
§ 116. 声波的干涉	478
§ 117. 声音的感受	481
§ 118. 声源·超声的获得	485
§ 119. 声波的反射和吸收	490

緒 論

§ 1. 物理学·物理学的内容，它和其他科学及技术的关系 物理学和其他自然科学一样，研究我們周圍物质世界的客观属性。按照希腊文， $\varphi\upsilon\sigma\iota\zeta$ 一詞的意义就是“自然”。

物理学研究物质运动最普遍的各种形态(机械的、热的、电磁的形态等等)和各形态之間的相互轉变。物理学所研究的运动形态，在一切高級的和更复杂的运动形态(化学过程、生物过程等等)中也都存在，并且和后者分割不开；然而前者無論如何也概括不了后者。例如，一切已知的地球上的物体或天体，不論它們在化学上是元素还是化合物，不論它們是生物还是无生物，都服从物理学所发现的万有引力定律。一切过程，不論它們帶有甚么独特的化学性质、生物学性质等等，都服从物理学所确立的能量守恒定律。高級的、更加复杂的运动形态，則是其他科学(化学、生物学等)的研究对象。

物理学和其他几門自然科学之間的界限，是不能截然划分的。在物理学和化学之間，存在着一个广闊的边緣区域，甚至产生了像物理化学及化学物理学这样的特殊科学。应用物理方法来研究某类特殊問題的那些知識領域，也結合而成各种特殊科学；例如，产生了研究天体中物理現象的天体物理学，以及研究地球大气中及地壳中物理現象的地球物理学。物理学上的发现曾經屢次推动了其他科学的发展。显微鏡和望远鏡的发明加速了生物学和天文学的发展；物理学家們发现的光譜分析已經成为天体物理学的基本方法之一；如是等等。

和其他科学一样，物理学及化学的发展，曾經在唯物主义世界观的发展中起过重大作用。

以辯证唯物主义为其最高发展阶段的、始終一貫发展着的唯物主

义哲学，广泛地利用着物理学的发现来论证自己的原理。物理学用实验和实践这一直接准则检验着自己的理论，一直走着揭露世界客观性质的道路；这也可以说明何以过去绝大多数物理学家实际上都是自发的唯物主义者。但是，自发唯物主义的弱点，在于它的不自觉和不善于从哲学上来理解科学的实验结果；这种弱点就使一部分受到统治阶级反动思想影响的资产阶级学者，曾经屡次企图利用物理学上的发现来论证唯心主义的观点。在重大发明出现的期间，当旧的原理需要重新考虑而新的原理尚未充分阐明时，这种企图就显得特别频繁。例如，正是在十九世纪末和二十世纪初，当关于电子的学说已经产生而相对论的基本事实根据已经发现时，就出现了许多儼然以物理学新发现为依据的唯心主义的“论据”。在“唯物主义与经验批判主义”一书中，列宁曾经十分彻底、十分全面地揭露了这些“论据”的荒谬性。一些资产阶级哲学家曾经断言，物理学的新发现，导致了关于物质消失的概念。对于这种说法，列宁写道：“‘物质正在消失’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，我们的知识正在深化；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，现在它们显现出是相对的、仅为物质的某些状态所特有的。因为物质的唯一‘特性’就是：它是客观实在，它存在于我们的意识之外，哲学唯物主义是同承认这个特性分不开的。”^①

列宁在大約四十年前针对当时物理学危机所讲的这一段话，对于物理学发展的现阶段也是完全适用的；在现阶段，原子内部过程的研究正在迫使我們限制旧的力学概念和电动力学概念，而引入新的量子力学概念。用辩证唯物主义观点来彻底进行批判性分析，就可以把新理论中有价值的物理内容提炼出来，而摆脱有时由一些理论家蒙罩上去的唯心主义外壳。

^① 見 В. И. Ленин 全集(1961年俄文版) 18卷 275頁；參看人民出版社 1961年出版“唯物主义与经验批判主义”，275頁。

和一切其他科学一样，物理学发展的推动力乃是人们的实际需要。古埃及和古希腊时代力学的发生，是直接和当时建筑技术及军事技术的需求有关的。十七世纪末和十八世纪初的一些重大科学发现，也是受了当时发展着的技术及军事的影响。

俄国物理学及化学的奠基人 M. B. 罗蒙诺索夫，就曾把自己的科学工作和实际需要结合起来。在固体及液体的性质方面，在光学、气象学、大气电学方面，他的大量而多方面的研究都是和某些实际问题有关的。

在十九世纪初期，由于蒸汽机的应用，必须解决把热量最有利地转变为机械功的问题。这一问题从狭隘的技术观点着眼是无法解决的。只有当法国工程师沙地·卡诺 (Sadi Carnot) 于 1824 年普遍地研究了热功转变问题以后，才能够确实提高热机效率。同时，卡诺的工作也为建立有关能量传递及能量转换的一般学说奠定了基础；这种学说后来被称为热力学。这样，实际需要引起物理学上的新发现，而这些新发现又成为技术进一步发展的基础。有些乍看起来十分理论化、十分抽象化的物理发现，后来往往在技术上得到极其多种多样的重要应用。

法拉第在 1831 年发现的电磁感应现象，提供了在实际上广泛利用电现象的可能。

Д. И. 门捷列夫在 1869 年发现的周期律，不但在发展原子论及关于化学现象本质的学说方面起过突出的作用，而且现在也还是解决化学和物理学上大量实际问题的一个指导原则。

在十九世纪的七十年代，麦克斯韦创立了电磁过程的普遍理论。从这种理论出发，他推得了一个结论：电磁能量能够以波动形式传播。在 1888 年，赫芝在实验上证实了麦克斯韦这一结论的正确性。几年以后，A. C. 波波夫就利用麦克斯韦-赫芝的发现制成了无线电报；而无线电技术的发展，又为物理学家研究自然界的各种性质开辟了新的、无限广阔的实验领域。

A. T. 斯托列托夫在“輻射電”現象（即光电效应——譯者注）方面研究（1888—1889），對於闡明光电效应的本性起了重要作用，而光电效应在近代技术中是应用很广的（电视、自动装置等等）。

技术和物理学在发展过程中相互影响的例子是极多的，不必一一举。我們只要指出：在現代，有一些特別重大的問題可能引起技术上根本改变，例如直接实际利用太阳能的問題或依靠热核反应获得能的問題；要解决这种問題就要求人們进一步深入地研究物理現象。

§2. 物理定律 物理定律是通过实验数据的綜合而建立起来的；的正确性，要按照由它推得的結論是否和实验符合来加以验证。物定律反映着物理現象之間的客观內在联系，反映着物理量之間实际的依从关系。

物理定律的內容，大部分是以数学形式表示出来的；即表示为給定物理量 A 、 B 的数值 a 、 b 之間的依从关系。由此可見，为了确立物理律，物理量的量度显然具有重要的原則意义。

量度某一物理量，就意味着以一定方式将該量与一个取作单位的类量相比較。例如，在量度某一物体的长度时，我們將采用这种办法：取另一物体的长度作为单位，接連地把它貼附在被量度的物体上加比照。

显然，量度的結果永远不可能是絕對精确的；量度結果的精确度，决于量度技术的发展，也取决于进行量度时的細心程度。因此，任一度的結果，只能表示为下列形式：某物理量的数值 a 介于两个近似值和 a_2 之間；和 a 比較起来，差数 $\Delta a = a_1 - a_2$ 越小，物理量 A 就量得准。仅根据这一点就可知道，在实验基础上确立的物理規律性是不能絕對精确的。

这样，把物理量之間的定量关系用数学形式表示出来的物理定律，不是絕對精确的；它的精确度总是和当时科学和技术的发展水平相应的。

例如，我們來考慮在恒溫下一定質量的氣體的體積和壓強之間的關係。

假定我們有 8 升氣體，其壓強為 $p = \frac{1}{2}$ 大氣壓，其溫度為恒定。試多次改變壓強而使它取某些值，例如 $p = 1, \frac{4}{3}, 2$ 大氣壓等等，同時我們量度（在同一溫度下）和這些壓強相對應的氣體體積 V 。

於是我們就得到一些實驗結果，可以把它們寫成下表：

氣體的壓強 p (大氣壓)	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{4}{3}$	2	4	8
對應的氣體體積 V (升)	8	4	3	2	1	$\frac{1}{2}$

由表易見，對於一定質量的氣體，壓強和體積的乘積是一個恒量：

$$pV = \text{恒量.}$$

這一結果就是著名的玻意耳-馬略特定律。但是，這一定律是根據量度結果確立的，而這種量度只是以有限的精確度在有限的壓強區間內進行的。因此，可以預料，如果我們以更大的精確度來進行測量，或把這種測量推廣到更高和更低的壓強，那麼玻意耳-馬略特定律就會不準確。而更精確量度的結果，也確實發現與玻意耳-馬略特定律偏離。在上述實驗所在的壓強區間內，這種偏離尚小；在非常大的壓強下，這種偏離很大。可以證明，在恒溫下，氣體的壓強和體積之間的關係用所謂范德瓦耳斯公式可以更好地反映出來：

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = \text{恒量,}$$

式中 $\frac{a}{V^2}$ 和 b 是某些改正量。如果氣體體積 V 遠大於改正量 $\frac{a}{V^2}$ 及 b ，那麼，和 p, V 比較起來， $\frac{a}{V^2}$ 和 b 這兩項就可以忽略不計，而這時我們就重得到玻意耳-馬略特定律： $pV = \text{恒量}$ 。這樣，范德瓦耳斯公式不但比

玻意耳-馬略特定律更好地反映了气体的实在性质，同时它还指出，玻意耳-馬略特定律在什么範圍內是足够好的近似，以及在什么地方就不再适用。

对于其他物理定律，包括力学定律在內(參閱 § 4.)，这样的論断也同样适用。

物理定律的近似性并不减小它們的客观意义：物理定律虽不絕對精确，但却近似地、相对精确地表示着物质的客观屬性，而定律的精确度将在我們認識周圍自然界的過程中不断提高。科学在本身发展的每一个历史阶段中都为我們提供了客观实在的一种近似“模写”，这些模写随时改进着，并日趋完善地反映出世界的各种客观屬性，尽管世界总的說来仍然是不可穷尽的。“承认理論是模写，是客观实在的近似的复写，这就是唯物主义。”^①

忘記物理定律的近似性，认为它們是絕對精确的，并把它們外推到尚未证实各該定律是否适用的範圍中去，时常会造成重大的錯誤。例如，确立了这样一个定律：在接近室溫的溫度下，任一气体的溫度在定压下减低 1°C ，那么气体体积就减小它在 0°C 下所占体积的 $\frac{1}{273}$ (盖呂薩克定律)。把这一定律不合理地外推到很低的溫度，我們就会得到这样一个結論：当冷却到 -273°C 的溫度时，气体物质就應該完全消失。但是，事实上，远在到达这样的溫度以前，气体早就不服从盖呂薩克定律了(參閱 § 44)。

§ 3. 量度单位 量度单位可以任意选取。在历史上，这种选取常常从实用方面着眼。例如，古代俄国的“肘”或英国的“呎”，这一类的长度单位都和人体的大小有关。

在十八世紀，法国学者們曾經把量度单位和一些不会随時間而變化或失去的客体联系起来，企图确立“絕對”单位制。例如，曾經决定采

^① 列宁“唯物主义与經驗批判主义”，中譯本 280 頁。

取子午綫长度的 $\frac{1}{40,000,000}$ 作为长度单位。但是，制备这样的規尺不可避免地会带来誤差。确立其他“绝对”单位制的嘗試也遇到了类似困难。因此，从上世紀末开始，就用标准物体（量度原器）来規定各种单位了。例如，长度单位米，規定为鉑銻合金制成的規尺上所刻两条短綫之間的距离，这一規尺保存在国际度量衡局中。但是，現在使用的在一定意义上是一种“混合”单位制，即一部分单位由标准原器确定，另一部分单位則借助于一定的、可以复現的物理現象来确定。例如，按照 1960 年国际會議所通过的国际单位制（簡称为 *MS* 制），一个长度单位（米），規定为氩同位素 86 (Kr^{86}) 的橙綫在真空中的波长的 $1,650,763.73$ 倍（見本书第三卷）：

$$1 \text{ 米} = 1,650,763.73\lambda(\text{Kr}^{86}).$$

这样規定的米，和对应于米原器上两綫間距离的旧制米非常相近。但是，和旧制米相比，新制米却有一定的优点：它不会失去或损坏，也不会随時間而有所改变，而米原器的长度却可以由于所用材料的“老化”而发生变化。我們永远可以把某一长度拿来和氩同位素 86 的橙綫波长重复地加以比較。

如果所量的长度是一米的很多倍或是一米的很小的部分，那就使用由长度单位——米——按照十进制导出的其他单位：

$$1 \text{ 千米} = 1000 \text{ 米}; 1 \text{ 厘米} = \frac{1}{100} \text{ 米};$$

$$1 \text{ 毫米} = \frac{1}{1000} \text{ 米}; 1 \text{ 微米} = \frac{1}{1000} \text{ 毫米};$$

等等。

在国际单位制中，采用一个鉑銻合金原器的质量作为质量单位；該原器保存在国际度量衡局中，叫做千克。千克的质量接近于 1000 [厘米]³ 的水在 4°C 时的质量。大于千克或小于千克的单位，也是按十进制規定的：

$$1 \text{ 吨} = 1000 \text{ 千克}; 1 \text{ 克} = \frac{1}{1000} \text{ 千克}.$$

作为时间单位，采取的时间是从1900年1月1日前一天算起^①的一个回归年的 $\frac{1}{31,556,925.9747}$ 。所谓回归年，就是太阳（在我们所见的沿黄道的运动中）相继两次通过春分点所需的时间。因此，时间单位是和地球的绕日转动有关的。这一时间单位叫做秒。

对于任一其他物理量，也可以确立特定的、一般说来是任意选定的量度单位。例如，完全可以选取任何一定物体的面积作为面积单位，而和长度单位的选法毫无关系。但是，这种选取单位的方法是十分不方便的。因此，例如人们便把边长为单位长度的正方形的面积选作面积单位。同样，对于其他各物理量，也可以根据把各该量和单位已定的物理量联系起来的各种规律，来确定各该量的量度单位。

我们用一个例子来说明这一点。设要确定一个叫做密度的物理量的量度单位。所谓密度 d ，就是一定均匀物体所独具的一种物理量；它和该物体的质量 m 成正比而和物体的体积 V 成反比。因此，密度 d 的数值等于：

$$d = k \frac{m}{V}, \quad (1)$$

式中 k 是一个数字系数，其值和量度 d 、 m 及 V 时所用的单位有关。

事先确定了量度质量 m 及体积 V 的单位，我们就可以适当选择密度的单位，以保证等式(1)在系数 k 具有某一定值时能够成立。为了确定某一新引入的物理量的单位，通常令 $k=1$ 。在这种情况下，公式(1)就将有下列形式：

^① 准确地說，应为“从历书时1900年1月0日12时算起”。历书时是一种以月球天文观测结果为标准的天文学计算单位。天文学上的新年比常用的早一天，1900年1月0日，即1899年12月31日。参见物理通报1962年第3期。——校者注

$$d = \frac{m}{V}; \quad (2)$$

而且, 为了保证这一公式在数值上成立, 我們應該選擇单位质量占有单位体积的那种物体, 以它的密度作为密度单位, 而不論自然界中是否存在这种物体。

其他物理量的量度单位, 也可用同样方法引入。

在国际单位制中, 取作基本单位的是下列六种:

长度单位——1 米,

质量单位——1 千克,

時間单位——1 秒,

溫度单位——开氏 1 度(参閱 § 44),

电流强度单位——1 安培(参閱本书第二卷),

光强单位——1 烛光(参閱本书第三卷)。

其他量的量度单位, 可以根据把各該量和基本量联系起来的各种物理規律来引入。在力学中, 选定三个量(长度、质量和時間)的单位作为基本单位就够了。如上所述, 在国际制中, 这些单位是米、千克和秒。这一单位制简称 *MKS* 制。

但是, 另外选择基本单位也可以建立别的单位制。例如, 在物理学中广泛地使用着所謂 *CGS* 制; 在这种单位制中, 作为基本单位的是:

长度单位——1 厘米,

质量单位——1 克,

時間单位——1 秒。

显然, *CGS* 制和国际制(*MS* 制)是有一定倍数关系的。

此外, 人們也应用所謂工程制; 这种单位制中的基本单位是长度单位、時間单位和力的单位; 作为力的单位, 是取緯度为 45° 处的海平面上地球对质量为 1 千克的物体所作用的引力。这种力的单位叫做千克力(詳見 § 18)。于是, 工程单位制中的基本单位就是:

长度单位——1 米，
力单位——1 千克力，
时间单位——1 秒。