

高等学校教学用书

專門物理实验

第一卷

Г. В. 斯皮瓦克主編

高等教育出版社

659



第一卷

高 兆 蘭 校

高等教育出版社



52.07
57
10
高等学校教学用书



專門物理實驗

第二卷

Г. В. 斯皮瓦克主編

馮志超等譯

高等教育出版社



本書系根据苏联国立技术理論書籍出版社（Государственное издательство технико-теоретической литературы）出版的斯皮瓦克（Г. В. Спивак）主編的“專門物理实验”（Специальный физический практикум）第一卷 1945 年版譯出。原書經苏联人民委员会的全苏联高等学校委员会审定为大学教学参考書。

本書分兩卷，第一卷包括四篇：第一篇为振动物理学；第二篇为光学；第三篇为电子和离子过程的物理学；第四篇为分子物理学和热現象物理学。

本卷由华南工学院馮志超、苏銳坚、梁恒心、李文江、黄卓璇、区奕勤、叶凌雲等合譯，由中山大学高兆蘭校。

專 門 物 理 实 驗

第 一 卷

Г. В. 斯皮瓦克 主編

馮志超等譯

高等教育出版社出版 北京琉璃廠 170 号

（北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 号）

京华印書局印刷 新华書店总經售

統一書号 13010·345 開本 850×1168 $1/32$ 印張 11 $8/16$ 字數 281,000 印數 00,01—3,500
1957 年 11 月第 1 版 1957 年 11 月北京第 1 次印刷 定價（8）¥ 1.30

序

本書是供大学和高等师范学校物理專業学生参考用的，与供所有專業低年級学生作教程用的普通物理实验課本有所不同。对于学化学、学生物的大学生和高等工業学校学生來說，如果熟識專門物理仪器和方法是他們的專業培养的重要部分，那么，無疑地，“專門物理实验”一書对他們也是有益处的。

在本書的各篇中，內容的选定在某种意义上反映出国立莫斯科大学物理系專門物理教学研究組兴趣所在的科学和技术范疇。

在培养合乎規格的專家的計劃中，專門物理实验的學習占有最重要地位中之一。此实验課的主要任务，在于培养学生在物理研究实验室中所应用的充分精密和复杂仪器方面的实验技能，使学生慣于利用專門参考文献，以便他們以后能够着手从事于畢業論文和科学研究工作。但是，在我們祖国的教学文献中，过去还没有一本这样的实验教程能够充分完备地包括物理学各种領域。譯成俄文的韓韋耳(Harnwell)和利芬固(Livingood)著的“实验原子物理”一書具有專門物理实验的性質，但問題的范围較窄。由此可見，国立莫斯科大学物理系的專門物理实验著作的出版，就把我們教学文献中曾經有过的那个重要空白点填补起来了。

本書在很多地方略去公式的推导和实验仪器的詳細描述。讀者可在每一实验所指出的参考文献中找到必需的資料，为了深入研究問題，通曉这些文献是必需的。在国立莫斯科大学的專門物理实验課中，学生的工作性質与普通物理实验課中的工作性質有很大的差別。首先，学生不仅集中注意于使用較复杂仪器的測量技术，而且也致力于加深物理現象的非常丰富的本性的認識。此

外，在專門物理實驗中，学生会熟識新的物理現象和物理研究方法。讓學生有可能重新“揭露”現象并对現象作詳細的研究。在本卷中所研究的儀器，使教師能够对專門物理實驗的建立有寬廣的變更余地。

“專門物理實驗”一書所敘述的儀器和實驗，曾在實驗課中或學系的相當實驗室中考驗了好多次。

“專門物理實驗”一書分为兩卷出版。第一卷包括有下列各篇：(1)振動物理学，(2)光学，(3)电子和离子过程的物理学，(4)分子物理学和热現象物理学。第二卷則包括有下列各篇：(1)低溫物理学，(2)倫琴物理学和倫琴結構分析，(3)鉄磁学，(4)科学照相术。

国立莫斯科大学物理系全体教授和教師同人参加了兩卷“專門物理實驗”的出版准备工作。

(編写人員名單五段从略)

“專門物理實驗”一書的出版，反映出莫斯科大学物理研究所在培养物理学家方面所累积起来的經驗。此种經驗不仅对其他高等学校在教学上会有益处，而且对研究實驗室的科学實驗和科学技术實驗的建立也是有益处的。

我們感謝国立莫斯科大学物理系主任和物理研究所所長、苏联科学院通訊院士 A. C. 蒲烈沃季捷列夫教授在組織本書出版工作方面的帮助。

Г. Б. 斯皮瓦克

莫斯科，1943 年 1 月。

序

編写“专门物理实验”第二卷的主要目的，与本书第一卷的相同。

国立莫斯科大学物理系物理教研组的多年工作经验证明，专门物理实验是培养学生实验技能的基本环节；能够训练学生运用精密的和复杂的物理仪器，教学生利用专业物理的科学文献，并培养学生从事毕业论文和研究工作。

跟第一卷一样，本卷不但打算作为培养大学和高等师范学校物理专业学生用的参考书，而且也作为其他专业（化学、生物、高等工业学校学生）用的参考书。

国立莫斯科大学物理系的几位教授和教师参加了第二卷的编写工作。

（编写人员分工名单四段从略）

物理系的三位教授介绍了本卷前三篇的内容，——C. T. 科诺别耶夫斯基（第一篇），H. C. 阿库洛夫（第二篇），П. Л. 卡皮查（第三篇），他们的宝贵意见对我有极大的帮助。

Г. Б. 斯皮瓦克

目 录

第一篇 振动现象的物理学

緒論	1
实验 1. 兩耦合摆系統中的自由振动	5
实验 2. 兩耦合摆系統中的受迫振动	13
实验 3. 在具有氖管的电路中的不連續振蕩	19
实验 4. 湯姆孙式振蕩器的研究	24
实验 5. 在諧和外力作用下的湯姆孙式振蕩器	33
实验 6. 均匀的弦	42
实验 7. 非均匀的弦	48
实验 8. 勒謝尔綫	54
实验 9. 波在共振媒質中的傳播	65
实验 10. 指向天綫	72

第二篇 光学

緒論	79
实验 11. 塞曼效应。电子荷質比的測定	84
实验 12. 液体混合物的洛倫次-洛倫茲公式的驗證	89
实验 13. 折射率依从于压强关系的研究(雅滿干涉仪)	94
实验 14. 用光学方法求定超声波在液体中的速度	101
实验 15. 光的反射系数和偏振的研究(菲涅耳公式)	108
实验 16. 光的联合散射	116
实验 17. 在液体中散射光的退偏振度的确定	123
实验 18. 攝譜仪	129
实验 19, 20, 21 的緒論	141
实验 19. 用照相法作定性光譜分析	146
实验 20. 利用“析鋼分光計”用視力法进行定量光譜分析	153
实验 21. 按“三标准法”用照相进行光譜分析	159

1467466

第三篇 电子和离子过程的物理学

緒論	164
实验 22. 高度真空技术基础	168
实验 23. 电离压强計	179
实验 24. 帕邢定律的实验验证	184
实验 25. 辉光放电中阴极电势降的测定	188
实验 26, 27, 28, 29, 30, 31 的緒論	194
实验 26. 用試探电极法研究气体放电	206
实验 27. 磁控管的静态特性	227
实验 28. 电子显微镜(具有磁透镜的)	232
实验 29. 光电子的速度分布和普朗克恒量的测定	240
实验 30. 次级电子发射	244
实验 31. 电量放电	252
实验 32. 亚稳原子在放电中的效应	260
实验 33. 閏流管的研究	268

第四篇 分子物理学和热现象物理学

緒論	274
实验 34. 以巴喇-維恩特法测定金屬棒的导热系数	278
实验 35. 以溫度波法求定金屬的导温系数	283
实验 36. 金屬的导热系数与导电系数比的测定	291
实验 37. 以史萊尔馬赫法测定气体的导热系数	297
实验 38. 圆柱体在气流中的冷却	305
实验 39. 用冷却法测定金屬的比热	313
实验 40. 用超声测定液体的比热比及其他参量	320
实验 41. 液体粘滯性对溫度的依从关系	328
实验 42. 用惠易-迈克耳孙法测定气体混合物燃燒的法向速度	333
实验 43. 测定火焰在管中的傳播速度	337
实验 44. 测定冲击波的傳播速度	344

目 录

序

第一篇 倫琴射綫物理学和倫琴射綫結構分析

緒論	353
倫琴射綫工作方法上的几个問題	357
实验 1. 倫琴射綫技术	359
实验 2. 倫琴光譜分析	367
实验 3. 莫塞萊定律	376
实验 4. 天然的边界完整的晶体的測角术研究和 倫琴射綫照相研究(劳厄法)	385
实验 5. 利用劳厄照相決定單晶体中晶軸的配置	397
实验 6. 根据劳厄照相研究晶体的結構	406
实验 7. 旋轉倫琴射綫照相	413
实验 8. 倫琴射綫在多晶体中的衍射	421
实验 9. 測定晶体点陣常数的精密方法和倫琴射綫分析应用于状态图的 研究	431
实验 10. 倫琴射綫結構分析(在金屬絲和在压延金屬中的晶粒位向的 測定)	440
实验 11. 电子的衍射	449

第二篇 鉄磁学

緒論	454
实验 12. 冲击电流計	463
实验 13. 用冲击法測定鉄磁物質的磁感应强度曲綫和磁滯回綫	480
实验 14. 无定向磁强計	493
实验 15. 鉄的磁滯損耗和傅科电流損耗的測量	499
实验 16. 單晶体磁性各向异性的研究	507
实验 17. 彈性胁强对磁化曲綫行徑的影响	519
实验 18. 磁致伸縮与彈性胁强	525
实验 19. 測量巴克好森跳变的傳播速度	532
定驗 20. 研究热处理对碳素鋼的显微結構及其性質的影响	539
实验 21. 过冷奥氏体等溫轉变过程的研究	544

第三篇 低温物理学

緒論	550
§ 1. 低温技术的一般知識	552
§ 2. 溫度的測量	574
§ 3. 一般低温实验	603
实验 22. 磁場对鉍的电阻的影响	303
实验 23. 铂电阻与溫度的关系	606
实验 24. 液态氧蒸发热的确定	608
实验 25. 銅-康銅溫差电偶到 -190° 的定标	610
实验 26. 青銅溫度計的特性	612
§ 4. 超导电性. 实验 27, 28, 29 的緒論	614
实验 27. 超导体的近斯納效应	627
实验 28. 錫的超导电性	629
实验 29. 超导电性和居間态	631

第四篇 照相过程

緒論	633
感光材料及其選擇	635
§ 1. 照相影象的形成	635
§ 2. 研究感光材料的定量方法	638
§ 3. 溴化銀感光材料的加工	645
§ 4. 照相显影动力学	649
§ 5. 显影物質和显影剂	655
§ 6. 显影剂合理配方原則	658
§ 7. 定影物質和定影剂	660
§ 8. 显影后影象的物理性質	662
§ 9. 負片的减薄和加厚	666
§ 10. 正片感光材料	666
实验 30. 感光图的获得	669
实验 31. 負片和正片过程	670
实验 32. 在一定的显影液中对指定的感光材料确定 γ_m	672
一些規則和提示	173
附录 I	676
附录 II	677

第一篇 振动現象的物理学

緒 論

振动过程的領域包括很多种在数量級方面和特征方面很不相同的物理現象。振动这一門科学,不討論这些物理現象的物理性,而根据在理論研究中所应用的方法的共同性,把这些現象加以綜合,并使之系統化。这样,摆的机械振动,亥姆霍茲(Helmholtz)共振器中的声振动和湯姆孙(Thomson)迴路中的电磁振荡,都是属于一类的問題。从振动理論的观点来看,其他一些可以作为同类現象的例子是:無線电發送机中产生电磁振荡;利用弦管乐器發声,鐘表机构的运动;以及一系列其他的振动系統的作用,这些系統將它們所儲备的其他形式的能量轉变为振动能量。这种系統化的特征使振动理論与数理物理相类似,但在这种情况下也不可把前者当作为后者的一部分。

数理物理和振动物理是从不同的观点来研究振动系統的。假如在任何時間內振动系統的瞬时状态为已知,則数理物理認為这問題已經解决。振动物理則研究振动过程对于振动系統的作用,或者研究在更为普遍的情况下振动系統間的相互作用;正如下面要指出的,这种相互作用并不是决定于系統的瞬时状态,而是决定于在或長或短的時間內振动过程的特征。因此,在研究振动系統的相互作用时,我們感到兴趣的是那些足以表征整个振动过程的某些物理量。

上述振动理論問題的特殊性,决定于近代工程技术向振动理論所提出的問題的性質。例如,無線电技术上的一个主要問題,是

無綫电發送机对無綫电接收机的作用。此时，技术上提出了如何用最經濟的方法来产生强力电磁振荡的問題，以及如何充分利用共振接收的選擇性来取得最灵敏的接收的問題。另一个技术上的重要問題，是关乎减小在各种机器和机构中的震动。在此情形下，机器个别部分間的共振作用往往起着破坏的作用，因而振动理論应指出一些能抑制振动的有效方法。

振动現象，如同任何物理現象一样，只有借助于簡化模型的探討，才能用数学分析来掌握。在这些簡化模型中只保留实在系統中的一些主要特征，这些特征对于說明我們所感兴趣的現象是重要的。

从最簡單模型的观点来作振动問題的系統研究，对于振动系統的分类提供合理的基础。

我們把振动系統分为：

- a) 具有一个自由度的系統；
- б) 具有多个(2, 3, 一般为 n 个)自由度的系統；
- в) 具有無限多个自由度的系統——分布系統。

根据微分方程式的复杂程度，振动理論的問題可分为綫性的和非綫性的兩種。

在綫性系統中，数学工具是具有不变系数的綫性微分方程式。

綫性的問題由实验 1 和 2 及实验 6—10 来代表，在实验 1 和 2 中將揭露具有两个自由度的耦合系統的基本特性(关于研究具有一个自由度的綫性振动系統的实验是属于普通物理实验的部分)；在实验 6—10 中則用机械分布系統和电的分布系統来闡明。

迄至最近，研究者所注意到的几乎完全是集中于綫性系統方面。这些系統的理論是研究得比較好的。

用以研究綫性振动系統間的相互作用的基本方法，是使振动

过程表为簡單振动的总和形式。在具有恒定参量的綫性系統的情形中，例如当研究無線电發送机的振蕩在具有共振迴路的接收机上的作用时，可应用分解法，把振动分解为一些諧和成分[分解为傅里叶(Fourier)級数]。这样的研究方法可以称为頻譜方法。

在研究振动过程时，应用頻譜方法的合理性是以綫性振动系統一定的物理性質为先决条件。首先必須指出，把描述振动的复杂函数分解为个别成分，这只有当成分总和的作用等于个别成分作用的总和时才有意义，也就是說，当作用在系統上的个别成分彼此沒有关系时才有意义。所有的綫性系統都具有这些性質。换言之，疊加原理适合于每一个綫性系統。第二个要素是关于选择什么函数作为成分的問題，亦即把什么函数認為是簡單函数的問題。最好是把作用分解为这样的函数，使这些函数可由給定的綫性系統無畸变地重發。因此，对于所提出的問題的解答是不能預知的，对于不同的綫性系統可能是不同的。对于具有恒定参量的綫性系統，例如对于一般的綫性共振器，諧和(正弦形式的)函数是簡單的函数。

因此，为了估計具有恒定参量的綫性系統間的相互作用，特别是当考虑一个系統对另一个系統的單方面作用时，我們所感兴趣的不是作用的瞬时值而是它的頻譜的組成，即个别諧和成分的振幅和頻率。

在自然界和工程技术中，有很多种振动系統可以足够的准确程度当作为恒定参量的綫性系統来看待，这一事实，也說明了把周期性的运动和力分解为諧和成分这一种方法所具有的特殊意义。

选择諧和函数作为分解成分，仅对恒定参量的綫性系統才有意义。例如，如果我們处理一个具有周期变化参量的綫性系統(电容或自感作周期性变化的湯姆孙式的迴路)，那么在这个系統上的諧和作用將不会是無畸变地重發，因此在这里正弦不能作为实在

的簡單函数来看待。虽然如此，頻譜方法在此处仍然是有效的。

在非綫性振動系統的情況下，疊加原理，也就是說頻譜方法，显見得失去效力。同时，产生振動的基本問題，就是說，依靠一些沒有振動性質的能源来产生無衰减振動的問題，就不可避免地涉及到非綫性的微分方程式的研究。在非綫性系統中的振動現象比較在綫性系統中的振動現象要复杂得多，而且是多种多样的。因此，为了解釋这些現象所必需的数学工具也是比較更复杂的。一般說来，在这一領域中精确的解答我們是不知道的，因而只能被迫地滿足于近似的結果，有时甚至只是定性的結果。在目前，由于荷蘭物理学家范德普(Van der Pol)的工作，特别是由于苏联科学院院士曼介尔士坦(Л. И. Мандельштам)和巴巴列克西(Н. Д. Папалекси)对这些問題的广博的研究，已作出了兩種絕對不同类型的非綫性系統的研究方法，这兩種非綫性系統是：(1) 近似于綫性保守系統的非綫性系統，即所謂湯姆孙式的系統，和(2) 突变式的或張弛式的非綫性系統。非綫性問題的研究見實驗 3, 4, 5, 6。

在實驗 3 和 4 中研究这样的系統，这些系統与外界作用隔离，并具有建立稳定振動的性能，这些稳定振動的特性并不依从于振動的初始狀態而是決定于系統本身的性質。这些系統称为自持振動系統，而由这些系統所建立起来的振動則称为自持振動。

有兩種彼此截然不同的自持振動的类型：(1) 湯姆孙式的振動，此种振動近似于諧和振動，(2) 張弛式的振動，此种振動的波形具有突变的特性，即富于高次泛音。

湯姆孙式的自持振動見實驗 4，而張弛式的振動則見實驗 3。

本實驗教程中，本篇的目的在于使学生通过實驗熟悉一些最典型的振動現象，指出研究这些現象所应用的一些基本的實驗方法和若干理論方法，对这些現象給予一个尽量清楚的物理概念。最后，所援引的这些實驗無論在什么程度上都不强求完全包括涉及

振动物理学的各种問題的全部范畴。

在綫性的和非綫性的实验的場合中所提出的目的是稍为不同的。在綫性的实验中，目的是在使学生能够了解基本的方法和原理并在这基础上能够对綫性系統中所有的振动現象确立一个清楚的物理概念。在介绍非綫性的問題时，則提出較為簡單的目的：使学生首先熟悉問題的事实方面，通过实验給学生指出这些系統的新的、特殊的非綫性的性質，而这些系統是不能用綫性方法来处理的。对于所观察到的現象，仅在最簡單的情况下才給出定量的理論(实验 3 和 4)，但对于新的非綫性現象的本質，則尽可能随处予以定性的說明。

在这些实验中，多半是提出由实验来确定表征振动过程的那些物理量之間定量的相互关系，这是一方面，另一方面是确定系統中机械的或电学的参量之間定性的相互关系，同时把这些从实验得到的关系和相应的理論关系作出比較。正如上面所指出，在理論上所研究的簡化模型仅保留实在系統的某些特性。因此，对实在系統中所發生的一些現象作理論的研究时，必須解决的第一个問題是：实在系統的什么特性对說明这种現象是重要的。換言之，必須确定如何来把所給定的系統理想化以及理想化到什么程度，以使所得到的模型保留着我們所感兴趣的那些現象的基本特性。把理論的結果和实验結果进行比較，就可以解决这个問題。將理論和实验上的差別进行分析就可以确定出：实在系統的什么特性对說明已知現象的機構是重要的。

实验 1. 兩耦合摆系統中的自由振动

研究某一个系統的自由振动的特性，这个系統由兩個彼此互相作用着的最簡單的振动系統(每一系統具有一个自由度)所組成。

§ 1. 緒言

在此实验中，將研究到一系列所謂耦合系統的振动結構所具有的一些典型規律性。两个互相作用的电振蕩迴路，与压电石英片（共振器）相耦合的电路，与膜或其他这一类的共振器相耦合的声波共鳴器，具有福拉木（Фрам）稳定器的輪船（福拉木稳定器是用以减少搖蕩的），鈴及鈴舌，在共同軸上的两个飞輪，两个互相作用的原子，以及在物理学家和工程师們各种日常实践中的許多其他情况（这些情况初看来似乎毫無相同之处）等，都是耦合振动系統的事例。

从以上列举的事例可見，这些系統都是由两个彼此互相作用的振动系統所組成的。

每一个耦合系統都有这样的基本特征：它的固有振动在一般的情况下是非諧和的。依从于观察的方法，此振动可以表现为拍，發生拍时，振动能量从系統的一部分轉移到另一部分，然后相反又轉移回来，这样有周期性地进行；或者可以表现为具有頻率為 ω_1 的和 ω_2 的两个諧振动的总和，頻率 ω_1 和 ω_2 决定于整个系統的結構。

§ 2. 理論

以后將會看到，假如把系統的每一部分当作具有一个自由度的振动系統来看，且每一部分均能作無阻尼的諧振动，則上述的各种特殊現象都屬於理論上的范例。

我們選擇两个重的摆作为要研究的系統。这两个摆利用一个彈簧耦合起来（圖 1）。假如这一系統以及实验条件能滿足以后將要提到的某一些要求，則两个摆的运动可以充分准确地以两个二阶綫性微分方程式来描述：