

高等学校教学用书



專 門 物 理 实 驗

第一卷

П. В. 斯皮瓦克主編

馮 志 超 等 譯

高 兆 蘭 校

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“專門物理實驗”（Специальный физический практикум）第二卷 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。

原書分兩卷，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、黃卓璇、区奕勤、叶凌雲等合譯，由中山大学高兆蘭校。

2P86/65
67

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 0001—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實驗課本有所不同。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，“專門物理實驗”一書對他們也是有益处的。

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畴。

在培养合乎規格的專家的計劃中，專門物理實驗的學習占有最重要地位中之一。此實驗課的主要任务，在于培养学生在在使用物理研究實驗室中所应用的充分精密和复杂仪器方面的實驗技能，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，在我們祖國的教學文献中，过去还没有一本这样的實驗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“實驗原子物理”一書具有專門物理實驗的性質，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實驗著作的出版，就把我們教學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實驗仪器的詳細描述。讀者可在每一實驗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實驗課中，學生的工作性質与普通物理實驗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。讓学生有可能重新“揭露”現象并对現象作詳細的研究。在本卷中所研究的仪器，使教师能够对專門物理實驗的建立有寬广的变更余地。

“專門物理實驗”一書所叙述的仪器和實驗，曾在實驗課中或学系的相当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)振动物理学，(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)低温物理学，(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师同人参加了兩卷“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學上会有益处，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. В. 斯皮瓦克

莫斯科，1943年1月。

530575
44/4
Vol. 1

12.

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	143
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

490000

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. 輝光放电中陰極电势降的測定	188
实验 26, 27, 28, 29, 30, 31 的緒論	194
实验 26. 用試探电極法研究气体放电	206
实验 27. 磁控管的静态特性	227
实验 28. 电子显微镜(具有磁透鏡的)	232
实验 29. 光电子的速度分布和普朗克恒量的測定	240
实验 30. 次級电子發射	244
实验 31. 电量放电	252
实验 32. 亞穩原子在放电中的效应	260
实验 33. 閏流管的研究	268

第四篇 分子物理学和热現象物理学

緒論	274
实验 34. 以巴喇-維恩特法測定金屬棒的导热系数	278
实验 35. 以溫度波法求定金屬的导溫系数	283
实验 36. 金屬的导热系数与导电系数比的測定	291
实验 37. 以史萊尔馬赫法測定气体的导热系数	297
实验 38. 圆柱体在气流中的冷却	305
实验 39. 用冷却法測定金屬的比热	313
实验 40. 用超声測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-迈克耳孙法測定气体混合物燃燒的法向速度	333
实验 43. 測定火焰在管中的傳播速度	337
实验 44. 測定冲击波的傳播速度	344

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)迴路中的电磁振蕩,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:無綫电发送机中产生电磁振蕩;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,無綫电技术上的一个主要問題,是

無線电發送机对無線电接收机的作用。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蕩的問題,以及如何充分利用共振接收的选择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,因而振動理論应指出一些能抑制振动的有效方法。

振動現象,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動問題的系統研究,对于振動系統的分类提供合理的基础。

我們把振動系統分为:

- 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,振動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動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。

用以研究綫性振動系統間的相互作用的基本方法,是使振動

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。換言之，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

的簡單函數來看待。雖然如此，頻譜方法在此處仍然是有效的。

在非線性振動系統的情況下，疊加原理，也就是說頻譜方法，顯見得失去效力。同時，產生振動的基本問題，就是說，依靠一些沒有振動性質的能源來產生無衰減振動的問題，就不可避免地涉及到非線性的微分方程式的研究。在非線性系統中的振動現象比較在線性系統中的振動現象要複雜得多，而且是多種多樣的。因此，為了解釋這些現象所必需的數學工具也是比較更複雜的。一般說來，在這一領域中精確的解答我們是不知道的，因而只能被迫地滿足於近似的結果，有時甚至只是定性的結果。在目前，由於荷蘭物理學家范德普（Van der Pol）的工作，特別是由於蘇聯科學院院士曼介爾士坦（Л. И. Мандельштам）和巴巴列克西（Н. Д. Папалекси）對這些問題的廣博的研究，已作出了兩種絕對不同類型的非線性系統的研究方法，這兩種非線性系統是：（1）近似於線性保守系統的非線性系統，即所謂湯姆孫式的系統，和（2）突變式的或張弛式的非線性系統。非線性問題的研究見實驗 3, 4, 5, 6。

在實驗 3 和 4 中研究這樣的系統，這些系統與外界作用隔離，並具有建立穩定振動的性能，這些穩定振動的特性並不依從於振動的初始狀態而是決定於系統本身的性質。這些系統稱為自持振動系統，而由這些系統所建立起來的振動則稱為自持振動。

有兩種彼此截然不同的自持振動的類型：（1）湯姆孫式的振動，此種振動近似於諧和振動，（2）張弛式的振動，此種振動的波形具有突變的特性，即富於高次泛音。

湯姆孫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，本篇的目的在於使學生通過實驗熟悉一些最典型的振動現象，指出研究這些現象所應用的一些基本的實驗方法和若干理論方法，對這些現象給予一個盡量清楚的物理概念。最後，所援引的這些實驗無論在什麼程度上都不強求完全包括涉及

振动物理学的各种問題的全部范疇。

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。换言之，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，这个系統由两个彼此互相作用着的最簡單的振动系統(每一系統具有一個自由度)所組成。

§ 1. 緒言

在此實驗中，將研究到一系列所謂耦合系統的振動結構所具有的一些典型規律性。兩個互相作用的電振蕩迴路，與壓電石英片（共振器）相耦合的電路，與膜或其他這一類的共振器相耦合的聲波共鳴器，具有福拉木（Фрам）穩定器的輪船（福拉木穩定器是用以減少搖蕩的），鈴及鈴舌，在共同軸上的兩個飛輪，兩個互相作用的原子，以及在物理學家和工程師們各種日常實踐中的許多其他情況（這些情況初看來似乎毫無相同之處）等，都是耦合振動系統的事例。

從以上列舉的事例可見，這些系統都是由兩個彼此互相作用的振動系統所組成的。

每一個耦合系統都有這樣的基本特徵：它的固有振動在一般的情況下是非諧和的。依從於觀察的方法，此振動可以表現為拍，發生拍時，振動能量從系統的一部分轉移到另一部分，然後相反又轉移回來，這樣有周期性地进行；或者可以表現為具有頻率為 ω_1 的和 ω_2 的兩個諧振動的總和，頻率 ω_1 和 ω_2 決定於整個系統的結構。

§ 2. 理論

以後將會看到，假如把系統的每一部分當作具有一個自由度的振動系統來看，且每一部分均能作無阻尼的諧振動，則上述的各種特殊現象都屬於理論上的范例。

我們選擇兩個重的擺作為要研究的系統。這兩個擺利用一個彈簧耦合起來（圖 1）。假如這一系統以及實驗條件能滿足以後將要提到的某一些要求，則兩個擺的運動可以充分準確地以兩個二階綫性微分方程式來描述：

$$\ddot{\varphi}_1 + n_1^2 \varphi_1 - \lambda_1 \varphi_2 = 0, \quad (1.1)$$

$$\ddot{\varphi}_2 + n_2^2 \varphi_2 - \lambda_2 \varphi_1 = 0. \quad (1.2)$$

这里
$$n_1 = \sqrt{\frac{m_1 g l_1}{J_1} + \lambda_1}, \quad n_2 = \sqrt{\frac{m_2 g l_2}{J_2} + \lambda_2}. \quad (1.3a)$$

$$\lambda_1 = \frac{k a^2}{J_1}, \quad \lambda_2 = \frac{k a^2}{J_2}, \quad (1.3b)$$

式中 J_1 和 J_2 是两个摆 C_1 和 C_2 的轉动慣量, m_1 和 m_2 是它們的質量, 假定集中于二摆的重心, 由悬挂点 O_1 和 O_2 至重心的距离为 l_1 和 l_2 , k 是彈簧的彈性系数。其余的記号在圖 1 中已表出。

这方程式組的一般解有如下的形式:

$$\varphi_1 = A' \cos(\omega_1 t + \psi') + A'' \cos(\omega_2 t + \psi''), \quad (1.4a)$$

$$\varphi_2 = k_1 A' \cos(\omega_1 t + \psi') + k_2 A'' \cos(\omega_2 t + \psi''), \quad (1.4b)$$

式中 A' , A'' , ψ' 和 ψ'' 由起始条件来决定, 但 ω_1, ω_2, k_1 和 k_2 各量則不依从于起始条件而是由方程式(1.1)和(1.2)的結構所决定, 也就是說由振动系統的性质所决定。即

$$2\omega_{1,2}^2 = n_1^2 + n_2^2 \pm \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)^2 + 4\lambda_1 \lambda_2}, \quad (1.5)$$

$$2k_{1,2} = \frac{1}{\lambda_1} \left(n_1^2 - n_2^2 \mp \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)^2 + 4\lambda_1 \lambda_2} \right), \quad (1.6)$$

在这里, 根号前上边的符号是屬於 ω_1 和 k_1 的, 下边的符号是屬於 ω_2 和 k_2 的。

从式(1.4) 可以看到, 在一般的情况下两个摆的振动是非諧和的。其中每一个振动均可由頻率^① 为 ω_1 和 ω_2 的兩個諧振动所組成的形式来表示。

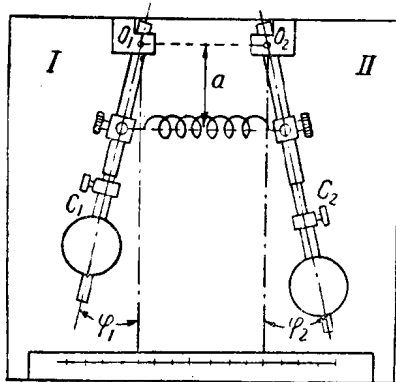


圖 1. 耦合摆。

① 此处所指的是圓頻率。后面也有同样的情况, 把圓頻率也称为頻率, 請讀者注意——譯注。

讓我們首先研究頻率為 ω_1 的振动。必須指出，這一個頻率為 ω_1 的振动在每一個擺中都存在，並在兩個擺中均具有同一周相 ψ' 而其振幅的比值是一常數 k_1 。這一事實可以這樣來研究，即把振动 $A' \cos(\omega_1 t + \psi')$ 和振动 $k_1 A' \cos(\omega_1 t + \psi')$ 作為一個振動的兩個分量，這一個振动稱為簡正振动。它以簡正頻率 ω_1 振动，並依據簡正振動的分配係數 k_1 分配在坐標 φ_1 和 φ_2 之間。對於頻率為 ω_2 的振动同樣地可以這樣表示。

為了說明系統的參數 n_1 、 n_2 、 λ_1 和 λ_2 的物理意義以及這些參數對於兩個擺的振动形式的影響，我們用下列的方法將此振动系統分解為兩個支系統：把左邊的擺固定在 $\varphi_1 = 0$ 的位置，我們得到固有頻率為 n_2 的右支系統。仿此，引用 $\varphi_2 = 0$ 的關係，我們便分出了頻率為 n_1 的左支系統。現在我們可以把圖 1 所示的系統當作兩個支系統來研究。在這兩個支系統之間有着力的耦合，由 $\lambda_1 \varphi_2$ 和 $\lambda_2 \varphi_1$ 這兩項表示。

讓我們在支系統和整個系統的特性之間建立一些關係。

1. 支頻率 n_1 和 n_2 是在簡正頻率 ω_1 和 ω_2 的間隔之內。

2. 支系統相互作用的特征由 $\frac{\lambda_1 \lambda_2}{(n_1^2 - n_2^2)^2}$ 之值來決定，這一數值根據 A. H. 曼介尔士坦院士所用的術語，稱為支系統的“耦合度”。

“耦合”和“耦合度”這兩個概念必須加以區別。今後我們將經常設 $\frac{\lambda_1}{n_1^2} \ll 1$ 和 $\frac{\lambda_2}{n_2^2} \ll 1$ ，這表示支系統之間微弱的力耦合。

3. 在弱耦合度的情況下，即當 $4\lambda_1 \lambda_2 \ll (n_1^2 - n_2^2)^2$ 時，

$$k_1 \approx \frac{\lambda_2}{n_2^2 - n_1^2}, \quad k_2 \approx \frac{n_1^2 - n_2^2}{\lambda_1} \quad (1.7)$$

和
$$\omega_1^2 \approx n_1^2 + \frac{\lambda_1 \lambda_2}{n_1^2 - n_2^2}, \quad \omega_2^2 \approx n_2^2 + \frac{\lambda_1 \lambda_2}{n_1^2 - n_2^2} \quad (1.8)$$

在頻率為 n_1 的支系統中， ω_1 的簡正振动占主要地位 (k_1 小，

k_2 大),而在另一支系統中,頻率為 ω_2 的振动占主要地位。因为此时 ω_1 接近于 n_1 而 ω_2 接近于 n_2 , 故在此情况下, 支系統本身的特征就在两个摆的振动形式中鮮明地表現出来。

4. 在强耦合度的極限情况下, 即当 $n_1 = n_2$ 时,

$$k_1 = -\sqrt{\frac{J_1}{J_2}}, \quad k_2 = \sqrt{\frac{J_1}{J_2}}, \quad (1.9)$$

$$\text{和} \quad \omega_1^2 = n^2 + 1/\lambda_1\lambda_2, \quad \omega_2^2 = n^2 - 1/\lambda_1\lambda_2. \quad (1.10)$$

此时, 簡正振动的显著的局部化將消失不見; 無論力耦合怎样微弱, 各个簡正振动的能量將在两个支系統中平均地分配着, 因为 k_1 和 k_2 并不依从于 λ_1 和 λ_2 。簡正頻率和支頻率有很显著的區別。

§ 3. 实验部分

由圖 1 中可以看出, 我們所選定的耦合系統要比实际上通常遇到的簡略得多, 因而是有一些概略性的。

能够清楚地說明成拍的機構是这样一個系統的優點之一。拍的存在正如前已指出, 是耦合系統的典型特征。实际上很容易观察得到, 当能量从右边的摆轉移到左边的摆时, 左摆的周相总是落后于右摆, 所以左边的摆受到加速, 而右边的摆則受到減速。当能量的轉移終結时, 則产生周相的变换, 这时是右边的摆落后于左边的摆。

另外一个优点, 就是緒言中所說过的那些耦合系統的特殊現象, 在目前这个系統中表現得特別明显。

必須同时記得, 这个系統虽然有它的概括性, 但正如所有的实际系統一样, 是与理論的情况有所不同的。首先, 这个系統具有頗大的阻尼, 結果使振幅随着時間而减小。所以最好在很短的時間內, 即当两个摆的振幅尚未有显著的改变时来进行測量。在弱耦

合的情况下,即当拍的周期变成很大,以致第二个摆来不及摆动起来之前,振动已经衰弱,这时,由于衰减的发生,就不可能对能量的转移进行研究。其次,只有在平衡位置附近有微小的振动时,这一系统才能够用线性方程式来表示。当振幅大于 $20-25^\circ$ 时,便开始明显地表现出系统的非线性的性质,特别是振动的频率依振幅而转移。当振幅过于微小时,静摩擦就显现出来。第三方面,每一个摆实际上具有很多个自由度,且其中一些自由度可能在一定的起始条件下受到激发。除此之外,使两个摆耦合起来的弹簧是具有质量的;和一切的弱弹簧一样,这个弹簧在压缩时工作得总没有拉伸时为好。所有这些事实无论在实验的装置上或者把理论与实验作对比的时候,都应当估计在内。

实验的具体目的是这样的:改变表征着支系统耦合程度的数值 $\frac{4\lambda_1\lambda_2}{(n_1^2 - n_2^2)^2}$, 试证明,随着这个数值的增加,支系统本身的固有性质将逐渐表现得不显著,简正振动按照各个自由度分配得逐渐均匀,而简正频率和支频率则逐渐远离。

实验 I. 选定 a 的一个中等的数值,并研究当 n_1 不变时, ω_1 , ω_2 , k_1 和 k_2 对于 n_2 的依从关系(选取 n_1 使接近于频率变动范围内的中间值,对于 n_2 选取 5—6 个不同的值)。作出两个曲线图:

(1) $\left(\frac{\omega_1}{n_1}\right)^2$ 和 $\left(\frac{\omega_2}{n_1}\right)^2$ 作为 $\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$ 的函数[维恩(Wien)曲线图],

(2) k_1 和 k_2 作为 $\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$ 的函数。

从理论公式(1.5)和(1.6),根据 n_1 , n_2 , λ_1 和 λ_2 的实验数据计算 ω_1 , ω_2 , k_1 和 k_2 之值,并把它們记录在同一图上以与实验值作比较。

实验 II. 研究 $n_1 = n_2$ 这一极限情况;测定 ω_1 , ω_2 , k_1 和 k_2 对于 a 的依从关系(选取 5—6 个 a 值)。作出两个曲线图:

3). ω_1 和 ω_2 作为 a^2 的函数,

4) k_1 和 k_2 作为 a^2 的函数。

按照公式(1.9)和(1.10), 以 ω 和 k 作为 a^2 的函数在同一坐标軸上作出“理論”^①的曲綫。最好將直接由实验得到的 Ω 对 a^2 的依从关系和理論上的依从关系作一比較, 理論上的依从关系可由下面得到: 1) 从公式(1.10)根据已知的 n 和 $\lambda^{(2)}$, 及 2) 从公式 $\Omega = \omega_1 - \omega_2$, 式中的 ω_1 和 ω_2 是已經測得的。所有这三条曲綫都画在同一个圖上。

a) 簡正振动(实验 I 和 II)分配系数的測定。

实验 III. 首先給与两个摆的系統以下列的起始条件:

当 $t=0$ 时, $\varphi_1=1, \varphi_2=0, \dot{\varphi}_1=0, \dot{\varphi}_2=0$ 。

如 $\omega_1 - \omega_2 \ll \omega_1 + \omega_2$, 則当进行实验时可以知道, 在两个摆之間存在着能量的部分轉移, 如圖 2 所示。記錄出 φ_2 的最大振幅是最容易的, 讓我們以 A 来表示它。將上述起始条件代入式(1.4a)和(1.46), 得

$$A = \frac{2k_1 k_2}{k_2 - k_1}. \quad (1.11)$$

实验 IV. 以下列的起始条件进行实验:

当 $t=0$ 时, $\varphi_2=1, \varphi_1=0, \dot{\varphi}_1=0, \dot{\varphi}_2=0$ 。

記錄 φ_1 的最大振幅; 讓我們用 B 来表示它。將起始条件代入(1.4a, 6), 得

$$B = \frac{2}{k_2 - k_1}. \quad (1.12)$$

由实验确定了 A 和 B 值之后, 不难算出 k_1 和 k_2 。实际上从式(1.11)和(1.12)可得:

$$k_{1,2} = \frac{\pm 1 + \sqrt{1 + AB}}{B}. \quad (1.13)$$

① 参阅本章的总緒論。

② 必須記得, 公式(1.8)是近似的。