

高等学校教学用书



物理学实验

第一册

R. II. 亞可夫列夫著

高等教育出版社

高等学校教学用书



物理学实验

第一册

К. П. 亞可夫列夫著
龙燕初等译

高等教育出版社

本書系根据苏联国家技术理論書籍出版社(Гостехиздат)出版的亞可夫列夫(К. П. Яковлев)著“物理学实验”(Физический практикум)第一册1946年版譯出的。全書共分三册。本册内容为緒論(基本測量)、力学、彈性振動及声学等部門的实验,共有二十节,包括五十七个实验。每一节的开始都有一簡短的引言,叙述該节各实验所需要的物理学的基本概念和定律。本書可以作为高等学校物理学教师及实验室工作人員的参考。

本書自实验 6c 起由东北工学院龙燕初譯校,实验 6c 以前由西安建筑工程学院張季达譯校,由龙燕初作最后校訂。

本書中譯本自第二册起暫緩出版。

物 理 学 实 驗

第 一 册

К. П. 亞可夫列夫著

龙燕初譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺7号
(北京市书刊出版业营业許可証出字第054号)

商务印书館上海厂印刷 新华书店发行

統一書号 13010·480 开本 850×1168 1/32 印張 12 1/16
字數 288,000 印數 4,701—5,900 定价(4) 1.10

1958年12月第1版 1960年2月上海第3次印刷

編者的話

索科洛夫 (А. П. Соколов) 教授所編写的指南, 可以認為是物理学实验的經典教程而毫無愧色的。在他的 1908 年首次出版的“物理学实验”中, 曾經收集了在国立莫斯科大学物理实验室中所規定的全部实验; 由于这些实验选择得很适当且其内容相当多样化, 使得 А. П. 索科洛夫教授的指南在当时成为一本十分完善的物理学实验教程。

因此, 索科洛夫的“物理学实验”迅速地获得了很高的声誉。

以后在高等学校內开始建立的那些教学用的物理实验室, 基本上重复了莫斯科大学的物理实验。因此, 近几十年来出版的物理学实验的各种“指南”多半也是或多或少地仿照索科洛夫的教程。

在二十年代中出版的第二版“物理学实验”, 在内容方面, 索科洛夫教授曾經与我一起把它完全修改了一遍, 并补充了许多新的实验; 由于这个緣故, 包括当时新的实验在內, 索科洛夫教授的教程又是完全令人满意的学生物理实验的指南。其后兩版的“物理学实验”是作者逝世以后出版的, 可惜它已是不太成功的了; 时至今日, 索科洛夫教授的指南, 必然是很不合时宜的了。因此, 国立莫斯科大学物理系系务委员会提議請我担任新的物理实验指南的編輯工作, 使之适合于現代的科学水平。本書就是履行委员会的这个提議的結果。就其内容來說, 我認為有必要作如下的几点說明:

物理学实验的改編是一个很复杂的问题, 無論在新的实验的选择上, 或在实验室內实验裝置上, 都要發生困难的。选择实验的困难, 主要地有下述兩方面: 第一, 对实验室工作人員最有意义的测量技术的最新方法, 常常是以复杂的物理現象为基础的, 而

这些物理現象通常都是放在物理教程的最后来講述——例如，測量高速度、瞬时力、彈性物体形变时所發生的胁強以及其他許多方法，就是这样的。把以这样一些方法为基础的實驗，編入“物理学實驗”的前半部是非常困难的。第二，可以指出这样一些實驗，这些實驗，按其方法来講是完全陈旧了的——例如，用阿脫武德机或正切电流計来測量，用波尔达的方法測定重力加速度以及其他許多类似的實驗，就是这样一些例子。这类實驗，似乎早就應該从物理實驗当中刪去，但是，把它們繼續保存下来作为教学實驗，有时是很有用处的。例如，常常發現，在作这些實驗时，使人們对某一物理現象非常易于明白，或者使人們在實驗当中能迅速地获得一些技能。在本指南中，我决定保留許多这样的實驗，这些實驗虽然是完全陈旧了，但仅仅从教学方面来看，它們还是有意义的。同时，我認為有必要甚至在本書的前面引入某些以应用新的、比較复杂的方法为基础的實驗，这样可使實驗者（即使是少数）熟悉現代的測量技术。自然，在本書編写方法的不連貫性方面，可能引起讀者的非难，因为这些實驗的詳細情形，对實驗者來說仍然不是十分清楚的。但是，在这里我并未發現有多大的毛病，因为在作以后的實驗时，不清楚的地方一定会自然而然地消除。在这样选择實驗时，實驗的某种复杂性是要产生的；但是，据我看来，由于上述的理由，把这种复杂性認為是本書系統上的缺点是沒有根据的。

至于基本測量，例如：游标的讀数、精密的称衡、溫度的測定以及基本測电仪器的熟練使用等等，我都把它們編在本書的緒論部分。我認為實驗者如能熟練应用这些基本測量，則所有以后的實驗做起来就容易得多了。其余的實驗則按节分类，这些實驗包括一些基本的物理現象或物理学的一些主要部門。每一节的开始都有一簡短的引言，引言中敘述了該节實驗所需要的一些物理学的基本概念和定律。不要以为引言中所講的是簡單的重複了普通物理学中也可以找到的那些內容：在引言中仅收集了对于實驗工作

的独立完成和測量方法的徹底了解所必需的知識。後一問題在普通物理學中，通常都講得特別簡單，有時甚至完全不提。所以，我認為每一節這樣的引言，對於實驗者來說是非常有用的。

每一節里有幾個實驗，在這些實驗中描述了並應用了各種測量的方法，這些方法的分類列举和一般論述通常是放在引言部分。內容的這種編排，據我看來，是能夠給出關於現代各色各樣的測量技術的明顯而正確的概念。但是，在這裡必須指出，本指南在任何程度上也不能自命為測量方法的百科全書，或自命為對這些問題敘述得完備無遺；我在自己面前並沒有提出過這樣的任務。所以本指南終究只能算是教學參考書，其中不過是收集了很大數目的各種實驗罷了。這些實驗的數目可能是太多了，因為它顯然已超出了高等學校物理實驗室通常所能採用的範圍。但是我並不希望所有高等學校的物理實驗室都要通曉本指南所載的全部實驗；相反地，我自然希望每一個實驗室只選擇對於它是最有意義的、例如比較適合於該院校的任务和目的的那些實驗。

在編寫全部的實驗當中，我是遵循同一方案的；不過第一部分實驗、特別是在測量方面敘述得比較詳細。這種編寫方式甚至稍帶公式化的性質，但是，對於那些初在實驗室工作的人員來講，看來是不可避免的，而且在任何情形下，對於他們都是很便利的。當敘述理論上的問題時，在便於應用高等數學的地方，我並不避免應用高等數學；在本書中，這些地方是用星號(*)分開的。

在本書中，還有許多這樣的實驗，這些實驗是長期地列在國立莫斯科大学物理實驗室的實驗中。關於這些實驗，我僅僅把它們重新編寫了一下，為了保持全書的體裁統一起見，這樣做是必要的。由此可見，我之所以能迅速地完成本書的編輯工作，在許多方面要歸功於國立莫斯科大学物理系好幾輩教師的巨大工作，他們幾乎在五十年時期內繼續不斷地改進和革新索科洛夫的“物理學實驗”。

本書总的篇幅是很多的，所以整个內容必須分三册出版。第一册中，除緒論及基本物理測量的描述外，还收集有力学、彈性振動和声学的實驗；第二册中，包括物理学所有其余各部門的實驗；第三册包括所有的参考和补充材料；我把列綫圖解、諧波分析的原理以及實驗技术的基本知識都列在第三册中。我認為熟悉列綫圖解和諧波分析的方法，对于高等学校的学生來說是很必要的。而實驗技术的指示对于物理實驗室的工作人員可能是很有用处的。

本書的初稿曾由物理系系務委员会委托我的同事所組成的工作組审閱过。从他們那里使我对于原稿的各种缺点和錯誤获得了許多寶貴的指示：我謹向他們表示自己的真誠的謝意。本書出版之后，如蒙指教，則不胜銘感之至。

国立莫斯科大学物理系

К. П. 亞可夫列夫

* * * *

在編輯第一册的工作中，莫斯科大学的几位同事，曾經对我有过許多帮助，茲表述如下：

气体动力学部分是莫斯科大学气体动力学教研組講師波波夫 (С. Г. Попов) 編写的；在他的原稿中，我曾經作过許多修改和簡化，为了使低年級同学对內容的叙述易于了解，并为了使整个“指南”的叙述和体裁統一起見，这种修改和簡化是很必要的。三綫悬置法的公式的推导是根据斯特魯廷斯基 (Н. Д. Струтинский) 講師所提出的方式叙述的，而冲击电流計的理論，是根据契特維里科娃 (Е. С. Четверикова) 助教所提出的方式叙述的；我深深地感激他們所給予我的帮助。同样，我認為必須指出，在修改實驗 4b、4c、5a、11a 和 17b 等五个實驗的內容时，我部分地利用了国立莫斯科大学物理實驗室的石印實驗講義。

編者

目 录

編者的話

緒論 物理測量

I. 物理測量及其結果的處理	1
1. 物理測量(1) 2. 誤差的理論及測量結果的處理(7) 3. 圖解法(21) 4. 單位制與量綱分析(26) 5. 給初學者的幾點意見(33)	
II. 長度和角度的測量	36
A. 長度的測量(36) 1. 直游標法(36) 2. 測微螺旋法(39) 3. 比長儀法(41) 4. 光學法(干涉法)(41)	
B. 角度的測量(41) 1. 游標法(42) 2. 鏡尺法(48)	
C. 放大用的基本光學儀器(50) 1. 放大鏡(50) 2. 望遠鏡(52) 3. 顯微鏡(53)	
III. 質量的測量	56
1. 大負載的天平(57) 2. 分析天平(57) 3. 微量天平(58) 4. 精密稱衡的基本方法(59)	
IV. 時間的測量	69
1. 機械測法(70) 2. 頻閃觀測法(72) 3. 電測法(72)	
V. 溫度的測量	72
1. 氣體溫度計(73) 2. 水銀溫度計(73) 3. 電測溫度計(73) 4. 光測溫度計(79)	
VI. 壓強的測量	79
1. 大氣壓強(80) 2. 很高的壓強(84) 3. 很低的壓強(84)	
VII. 基本測電儀器	85
A. 電流強度(85) I. 強電流: 1. 電量計(86) 2. 安培計(86) II. 弱電流(89)	
B. 電勢差(101) 1. 電動力學法(101) 2. 補償法(103) 3. 靜電學法(103)	
C. 電阻(104) 1. 伏特-安培計法(104) 2. 代換法(105) 3. 電橋法或惠斯通電橋法(105)	
D. 輔助測電儀器(107) 1. 伽伐尼電池和蓄電池(107) 2. 變阻器、分壓	

器、整流器和放大器(110)

第一部分 力学和物体的一般性質

第一节 平动	115
实验 1 a. 用光电替續器法测定子彈的初速度	116
实验 1 b. 用冲击摆法测定子彈的速度	119
实验 1 c. 用阿脫武德机驗証牛頓第二定律	121
第二节 轉动	128
实验 2 a. 用动力学法测定飞輪的轉动慣量	131
实验 2 b. 用振動法测定飞輪的轉动慣量	134
实验 2 c. 用动力学法测定轉动慣量	136
实验 2 d. 用三綫懸置法测定轉动慣量	139
第三节 振动	142
实验 3 a. 测定彈性振动的阻尼減縮	148
实验 3 b. 测定摆振动的阻尼減縮	149
实验 3 c. 用双摆法研究諧振动的合成規律	154
第四节 共振現象	158
实验 4 a. 研究彈簧摆振动时的共振現象	161
实验 4 b. 研究耦合摆振动时的共振現象	163
实验 4 c. 用波仪仪器研究共振現象	165
实验 4 d. 用共振法测定振动的頻率与諧和分量	167
第五节 瞬时力	169
实验 5 a. 用冲击电流計测定彈性碰撞的时间	170
实验 5 b. 用压电法测定爆炸时压强的变化	176
第六节 重力	180
实验 6 a. 用可倒摆法测定重力加速度	182
实验 6 b. 用波尔达法测定重力加速度	188
实验 6 c. 用劳日重差計测定重力加速度	192
第七节 固体的密度	194
实验 7 a. 用流体靜力称衡法测定固体的密度	198
实验 7 b. 用比重瓶法测定固体的密度	201
第八节 液体的密度	203
实验 8 a. 用韋斯特法耳-摩尔天平测定液体的密度	204
实验 8 b. 用流体靜力称衡法测定液体的密度	208
实验 8 c. 用比重瓶法测定液体的密度	210

第十六节 声振动的阻尼.....	352
实验 16 a. 利用显微镜测定音叉的阻尼减缩	353
第十七节 声音的共振.....	355
实验 17 a. 利用驻波测定空气共振器的共振频率	356
实验 17 b. 用共振法研究弦线的振动	358
第十八节 声音的分析.....	362
实验 18 a. 利用亥姆霍兹共鸣器分析复杂的聲音	363
实验 18 b. 利用 II. H. 列别杰夫仪器研究复杂声音的声谱	364
第十九节 声音的强度.....	366
实验 19 a. 利用辐射计研究音叉的声场	369
第二十节 建筑声学基础.....	370
实验 20 a. 利用驻波测定吸声系数	373
实验 20 b. 用直接读数法测定交混回响时间	374

緒論 物理測量

I. 物理測量及其結果的處理

1. 物理測量 在實驗室的工作過程中，要定量地研究物理現象，就必須：第一，擬訂出所有物理量的測量方法；第二，對所有物理量確立一定的單位，因為大家知道，每一個物理量的測量就是將這個量與一同類的規定為單位的量進行比較。

測量的技術逐漸改進，測量時，就能得到更精確的結果。極其廣泛地利用各種各樣的物理現象以提高測量的準確度是近代測量技術的特點，這些測量有時是相當複雜和專門的。例如，在精確測量長度時，廣泛地應用光學的（干涉的）現象；應用偏振的方法在特制的模型上研究當固體發生形變時，固體中所發生的內應力；在研究瞬時力（打擊、爆炸）時，應用壓電現象；要測量很短促的時間，就得利用振盪迴路中氖氣管的光調制等等。因此，現時物理學擁有豐富的、經常是很複雜的測量儀器和許多不同的測量方法。所以，要研究每一個單獨的物理現象或者要測量一個單獨的物理量，可以應用各種不同的方法；這些方法，不論就其準確度來講，或就其通常可以應用的範圍（被測量的範圍）來講，彼此都是不同的。例如，要測量溫度，通常是利用水銀溫度計，但對於超過 600°C 的溫度，水銀溫度計是不適用的，而必須採用電學的方法測量溫度；然而電學的方法也只有當溫度大約在 1600°C 以下時才可以應用，所以在更高的溫度範圍內就應用第三種方法——光學的方法，即利用所謂光測高溫計。這三種測量溫度的方法，其準確度也是不同

的。

測量的準確度通常決定於測量時所選擇單位的最小部分，這個最小部分是測量時在結果的正確性中可以有把握達到的。大家知道，測量的準確度總是有限制的，而且不管測量進行得如何精確，測量結果所給予我們的並不是被測之量的真值，而僅僅是近似值，就是說，或多或少地接近於它的真值，換句話說，每一個物理測量只可能做到某種程度的近似。例如，用普通的游標尺測量玻璃板的厚度，可以以 0.1 毫米的準確度估計它；用螺旋測微計時，則在此情形下約可達到 0.01 毫米的準確度；若利用比長儀，則可以以 0.001 毫米的準確度測量這同一個量；而用干涉法來測量長度時還可以給出更準確的結果，大約可以量到 0.1 微米；但是這裡所得到的也只是被測之量的近似值；僅有一點是可以確信的，即在最後一種情形中所得到的玻璃板的厚度與真值之差小於 0.1 微米。

一般地說，測量的方法愈精確，則其應用也就愈複雜，在測量時就愈應考慮到更多的各種不同的因素。例如，在上述的例子中，在頭兩個測量方法的情形下（用游標尺及螺旋測微計測量），只需要考慮到這些儀器示數的正確性，而進行測量時的溫度則可不必考慮；因為在此情形下（玻璃板），通常的溫度變化對於小數點後第一位和第二位是沒有影響的。用比長儀作實驗時，除了它的正確性而外，還必須考慮到溫度的影響，因此就必須知道玻璃的膨脹系數，或者保證在恒定的溫度下進行測量，也就是說要應用恆溫器。最後，在應用干涉測法時；除了上述的因素而外，還需要考慮到一系列其他的因素，例如，要保證光綫的單色性，要知道玻璃板的表面在怎樣的程度上滿足光滑平面的條件，是否彎曲等等，這就要求很多的准备工作。

由此可見，在進行某種測量的時候，應該從各種不同的方法中選擇一種在此情況下能給出足夠精確結果的方法，如果沒有必要，

就不要应用特別精确的方法而使實驗复杂化。

对某一給定的量直接进行測量,一般是少見的;这样的測量只有在一些最簡單的情形中我們才会遇到,例如,一般的長度測量,在普通的天平上測定物体的重量,用停表測量時間等等。然而在大多数情形下,必須直接測量的并不是所求的量,而是一些其他的量,这些量与所求的量被已知的数学关系式(公式)联系着,这些关系式是由該現象的定律所确定;根据这些关系式就能够由測量的結果算出所求的量。其所以必須采用这样的方法,是因为在这些情况下,物理量的直接測定是有困难的。例如,因为用自由落体實驗直接測定重力加速度 g 是很复杂的而且不够准确,所以通常是根据熟知的摆的公式由摆長和摆的振动周期算出重力加速度;由惠斯通电桥金屬絲的兩部分長度之比測定导体的电阻等等,也是完全一样。

因此,在复杂的測量方法的情况下,要得到所求的量就必須測量一些其他的量,这些量与所求的量一同参与該物理現象。在这些情形下,測量結果最終的准确度或方法的准确度,自然是与应用此方法进行个别測量的准确度有关。如上面所指出的,各种不同的物理量,可以用各种不同程度的准确度来測量。例如,物体的称衡就屬於一种非常精确的物理測量:在精密天平上称衡重量不超过 200 克的物体,不难达到 ± 0.1 毫克的准确度,即測量的准确度可达被测之量的 0.00005% 。然而在另一些測量的情况下,甚至要得到很小的准确度也是困难的。例如,温度的測量就屬於測量的准确度很小的一类,甚至很好的溫度計,在普通溫度範圍內,其准确度通常也不会超过 0.01°C 的;因此,如果所观测到的溫度变化为 5°C ,則測量的准确度仅不过为被测之量的 0.2% 。

由此可見,在复杂的測量方法的情况下,即在这些測量方法中必須对不同的量(例如,在測定 g 时的摆長与振动周期,或在量热

學實驗中的質量與溫度)進行一些個別測量時,就必須首先確定在每一個測量中能夠得到的準確度的限度。如果每一個被測之量的可能的準確度的限度是不同的,那麼在個別測量中,就沒有理由要過分地超過最不精確的那一個測量的準確度的限度,也就是說,可以應用比較簡單的方法。例如,在量熱學的測量中,測定水的質量時,如果利用精密天平並且很仔細地進行稱衡,則如上所述,準確度可以達到 0.00005% ; 但在此情形下,沒有理由要達到這樣的準確度,只須用較粗簡的天平稱衡就可以了,例如準確度達到 0.01% 就可以了。因為,上面講過,在量熱器中測量溫度時,其準確度不會超過 0.2% ,就是說,不管量熱器中的水稱衡得如何精確,而測量結果(某一物體的比熱)的準確度總是不大的。對於諸如此類的問題,可以研究嚴密的數學理論,其要點在後面有所闡述(參看誤差理論)。

在測量任意一個物理量時,通常必須完成下列三個手續:(1) 檢查並調節儀器, (2) 觀察它們的示數並進行讀數, (3) 由測量的結果算出所求的量。

1. 為了有把握使儀器的示數正確,即有把握使儀器示數的讀數能在其準確度的限度內給出被測之量的正確值,則對儀器的檢查是必要的。例如,在測量溫度時,必須檢查溫度計的零點,否則溫度的測量可能是很不正確的;同樣,在利用安培計或伏特計測量時,也必須預先知道其示數(或如通常所說的其標尺的分度)是否正確等等。儀器的調節就是要求將儀器裝置得正確,而且必須考慮到對測量結果會發生影響的一切情況;例如,常常要求將儀器裝置得使其中一定的方向是豎直的,或使一定的平面是水平的;或者必須把一些電學儀器——電流計、變阻器、電鍵——按照一定的線路圖裝置在電路中等等。同樣可以指出,一系列的外在因素,例如溫度、大氣壓強、空氣的濕度、空氣的電離以及外部的照明等等,在

測量時都要發生顯著的影响。在这样的情形下，必須消除它們的影响，或是在結果的計算中考虑到这些影响；因此，在測量的同時，必須測定所在地点的溫度、大氣壓強等等。

儀器的檢查和調節是一個很重要的手續，在大多數情形中，全部測量的成功與否系視完成此手續的仔細程度如何而定。因此，这些手續通常是很复杂的而且往往需要花費很多的時間。

2. 在觀察儀器的示數時，常常需要逐漸改變儀器的某一部分的位置，使其示數發生改變，當示數變定後才開始進行讀數。例如，在進行光度測量時，逐漸移動光度計或光源直到在視野中得到相同的照度時為止；在測量電阻時，移動電橋的滑動接觸器直到電流計不發生偏轉時為止；在研究光譜時，常常要轉動微動螺旋帽，使一定的譜綫在望遠鏡中的十字絲上顯示出來等等。这些手續，有時也叫做為了讀數而進行的儀器的調節或準備。對儀器作完这些手續以後，就應讀取它的示數，这些讀數通常就是某一長度或角度的量度，有時是某一時間的量度。

在測量時，这些手續——對儀器的準備和讀數——必須無條件地作若干次，否則，不管測量作得如何仔細，也不能認為是可靠的。

讀取儀器的示數時應該做到足夠的準確；但此時必須注意，測量的準確度並不总是由讀數的準確度來決定，換句話說，提高讀數的準確度並不是总能提高測量的準確度的。如上所述可知，測量的準確度由測量時所用儀器的質量以及檢查和調節儀器時的仔細程度決定。例如，在測量溫度時，溫度計內水銀柱上端的位置，能以很大的準確度讀出來（讀數的準確度大），但如果所用的溫度計不夠灵敏或者它的零点預先並未檢查過的，溫度測量的結果可能是很不正確的（測量的準確度小）。

3 在使用儀器的一切手續（為讀數而進行的檢查、調節以及

讀數)完成后,應該由測量的結果按照公式把所求的量計算出來,這公式由該物理現象的定律所確定。同時必須進行一系列純粹的算術運算,要想比較迅速而順利地進行運算,就必須遵循下列幾點意見。

(a)一切計算都應該是近似的,雖然算術的運算有時可以進行得隨便多久,但不必超出測量時應有的準確度的限度,換句話說,計算的準確度必須與測量的準確度完全相適應。例如,測量某一個量,準確度可以達到小數點後第二位(方法的準確度),那麼,測量結果的計算也應該剛好到小數點後第二位。因為在上述方法的準確度內,小數點後第三位已經不是準確的了。所以在計算時所有在這以後的位數不管有多少,是不會提高測量的準確度的,也就是說這些位數是多余的。但是在計算時把由測量方法所保證正確的最后一位數字(在上例中為小數點後第二位)後面的一位數字確定出來仍然是有用的,大家知道,這是因為在拋去不需要的多余數字時,如果所拋去的數字大於5,照例要在最後的那位數字上加1。

(b)因此,在計算時應該利用一切近似的計算方法。例如,如果借助於對數表進行計算,那麼,在大多數的情形下,四位對數表就很足夠了。現成的表(數的平方、立方等等)對於計算是很有用的。同樣,凡是可以利用已知公式和近似計算法^①的地方就應該利用它們。

在計算時,應用計算尺是非常簡便的,必須廣泛地利用它;因此必須完全掌握計算尺的計算技術。各種計算機,例如計算器^②,

① М. Франк, Элементарные приближенные вычисления (基本近似計算法) М.—Л., 1932; А. Виньерон, Обработка результатов физико-химических наблюдений (物理化學觀測結果的處理), Изд. 2-е, М., 1936.

② Ф. Дроздов, Счетные машины и производство вычислений механическим путем (計算機和用機械法進行計算), М., 1926.