

〔日〕 兵藤申一 著

高 瑞 芬 译

陆 松 龄 校

实验物理 工作者指南



中国科学技术大学出版社

33

7

内 容 简 介

原著从1976年—1985年九年中连续印刷了八次。在再印刷过程中内容有所修改，本书是根据1985年最新印刷版翻译的。

书中以物理实验为例，介绍了实验研究工作的全过程，包括选题、收集文献情报、实验技术和方法、数据分析，乃至撰写论文、投稿及发表等环节。内容深入浅出，说理深刻，是笔者研究生涯的成败经验教训之总结，它不仅对物理学科大专院校的教师、实验人员、研究生、本科生及中青年实验物理研究人员有实际的指导意义，而且对其它自然学科的实验人员也很有参考价值。

物 理 实 验 者 の

た め の 13 章

兵藤申一 著

实 验 物 理 工 作 者 指 南

〔日〕 兵藤申一 著

高 瑞 芬 译

陆 松 龄 校

中国科学技术大学出版社

（安徽省合肥市金寨路96号）

安徽省徽州新华印刷厂印刷

安徽省新华书店发行 各地新华书店经售

开本：850×1168毫米 1/32 印张：5 字数：119千

1987年11月第一版 1987年11月第一次印刷

印 数：1—10000册

ISBN 7-312-00039-3/O·9 统一书号：13474·9 定价：1.50元

序

实验是物理学的第一要素。没有实验就没有物理学。公元前四世纪，希腊哲学家亚里士多德断言：物体同时下落时，较重者先着地。在此后的二千年中，学者将此奉为圭臬，深信不疑。直到公元十六世纪，意大利伟大的科学家伽利略，以比萨斜塔上物体下落实验，更以斜面实验，证明轻重物体的加速度相等，从而辟除了亚里士多德之谬。史称物理学诞生于此时。

脱离了实验的验证，则无物理学。实验在物理学中占据着不可替代的位置。

自伽利略之后，物理学经四百余年的发展，今日物理实验决非比萨斜塔或斜面落体实验那么简单。做实验必须懂得许多知识。仪器的构造、操作方法、维护和修理、实验程序和布局、课题的选择、文献检索、数据采集整理、误差计算、论文的撰写等，都是从事物理实验者必须通晓的知识。

日本东京大学物理系兵藤申一教授著作的《实验物理工作者指南》一书，经我国中国科学技术大学高瑞芬同志译成中文出版了。上面所提到的实验工作者必须通晓的知识，在书中均已有所论述。这本书的特点之一是，以著者亲身经历告诫实验者必须注意安全（见第九章），这是完全必要的。在第一章的“寻找课题”中，关于对仪器一味贪大求全就能做出有意义工作的一段话，对初入实验室门的人作了深切的劝告。我也很高兴地看到此书把机械加工常识、材料知识写成两章，这对初学

者是十分合宜的。今日电子器件在实验室中是时常遇见的，并越来越起重要的作用，如能添加篇幅谈些电子器件的常识及核物理实验、高压、低温实验中所遇见的特殊情况，那将对物理学实验工作者特别有益。

钱 临 照

1986年5月30日

于中国科学技术大学

中文版前言

获悉由于高瑞芬先生的努力，将拙作介绍给广大的中国学生和研究人员，深感荣幸。同时也略感羞愧。本书并不想写得深奥难懂，只是打算介绍一些在物理实验研究中所必须具备的基础知识，使人们读起来尽可能轻松，并容易接受。我想，做学问的真正的原动力，全在于做学问本身的兴趣。对于每个做学问的人，除各自肩负的义务和目的之外，多少都是可以体会到其中的乐趣的。在做学问方面，中国人具有悠久的传统，这是我们日本人所不能攀比的。我想象得到，中国人在物理实验工作中，也一定能够很容易体验到这种做学问的乐趣的。

1952年，我毕业于东京大学理学院物理系，在攻读硕士学位和担任教授的助手时，曾研究过无机玻璃的破坏等课题，于1961年取得理学博士学位。1962年晋升为该校工学院物理工程系的副教授，1978年又晋升为教授，直至今日。在此期间，曾研究过表面能、内摩擦、凝聚、低温扩散、真空电子、光学纤维的机械性能等课题。在这些课题中，哪一个也不是当时时髦的课题，但我乐于研究它们。

每当我听到中国或大陆这些名字时，就联想到从容潇洒的大人物。虽然科学是没有国界的，但中国的科学家持有东方式的研究特点，则是理所当然的。在此，我祝愿从阅读本书的中国青年中能培养出为人类作出贡献的卓越的科学家。

兵藤 申一

1986年4月22日

iii

前 言

对于一个物理实验工作者来说，某些知识是必须掌握的，但它们又不是跟某个特定的实验有关，为此决定把它们另外写成一册，加在物理工学实验丛书*之中。

这里所讲的物理实验，其全过程可包括下列四个阶段：

- (1) 选定目标，作出大概计划；
- (2) 选择装置与制作装置；
- (3) 进行观察和测量；
- (4) 分析数据、整理结果。

也就是说，我们这里所讲的实验是研究性实验，而在学生实验或单纯重复性实验中，方法是预定的，它只把“得出结果”作为实验的唯一目的。所以这两类实验是不同的。只具有后一种实验经验的人，往往很容易把物理实验看成只是单纯的测量而已，但是或多或少从事过研究性实验工作的人，都会很清楚，在上述(1)至(4)的过程中，(3)只不过是其中的一小部分。

在全书十三章中，按过程(1)至(4)的顺序，列举了各种实验中的共同性问题。但是，各章相互间又比较独立，即使读者只按本人的需要选择其中某些章节阅读，也不至于发生紊乱。

*这套丛书包括：实验物理工作者指南，半导体技术，真空技术，薄膜基本技术，电子线路技术，低温技术，高温·热技术，放射线计量技术，X线折射技术，微波技术，晶体生长基础技术，光物性测量技术，超声波技术，磁测量技术，激光技术，实验室使用计算机技术，利用电子显微镜技术，光学技术，集成电路技术——译者注。

所谓实验，其定义是“为了验证预测或获得新的信息，通过技术性的操作来观测由预先安排的方法所产生的现象。”实验工作者借助于最初持有的概念或推论，同自然结果的对比，对原有的概念和推论或加以证实，或给以修正，或作出否定。也就是说，实验不仅是由（1）到（4）的过程，也包含了由（4）到（1）的循环过程。这才是实验的真正涵义。如果是这样，那么，可以讲实验在本质上包含了试试改改，经过多次错误，逐渐得到正确的结果。从这个意义出发，我对实验作了进一步夸张的解释，即“有实验就会有失败”。

只是守株待兔，自然界是不会恩赐给我们任何答案的。希望大家要有勇气和决心来从事实验工作。在实验过程中，常常会失败、会摔跤、会走回头路。遇到这种情况时，如果本书多少能给你起到指导作用的话，我将不胜欣慰。

作 者

目 录

序.....	钱临照 (i)
中文版前言.....	兵藤中一 (iii)
前言.....	作 者 (v)
第一章 实验方向.....	(1)
贵族爱好.....	(1)
实验所受到的限制.....	(1)
引不起兴趣的时候.....	(2)
寻找课题.....	(3)
实验的类型.....	(4)
实验计划.....	(5)
第二章 科学文献知识.....	(6)
查阅文献的必要性.....	(6)
二次情报.....	(7)
一次情报.....	(9)
文献书写的顺序.....	(11)
杂志名称的缩写法.....	(12)
文献分类和整理.....	(13)
经常出现的拉丁语.....	(15)
第三章 计量单位和物理常数.....	(16)
单位与人的关系.....	(16)

基本物理量和基本单位	(17)
米制的历史	(18)
国际单位制 (SI)	(20)
物理常数	(23)
常数和一成不变的概念	(24)
第四章 量纲分析	(27)
量纲指数	(27)
量纲分析	(28)
单摆的周期	(28)
在管中流动的稳定流	(30)
热传导中的Rayleigh 问题	(32)
各种物理量的量纲	(34)
文献	(35)
练习	(36)
第五章 模型和相似	(38)
模型比	(38)
飞机的风洞实验	(38)
岩盐圆丘	(40)
格利佛巨人	(42)
练习	(44)
第六章 机械加工常识	(45)
实验人员与加工	(45)
切削加工	(46)
刀具材料	(48)
钻床的使用	(48)

车床的使用	(50)
铣床的使用	(51)
金属的联接	(53)
设计原则	(54)
制图和草图	(56)
容易加工的设计	(57)
第七章 材料知识	(61)
物理实验与材料	(61)
铁和钢	(61)
非铁系金属材料	(64)
合成树脂	(68)
陶瓷	(69)
第八章 防震法和清洗法	(74)
运动学的设计	(74)
防震法	(75)
清洗法	(77)
文献	(80)
第九章 安全指导	(82)
安全与切身体会	(82)
电的事故	(83)
高温安全	(84)
低温安全	(85)
高压气体的处理	(86)
危险品	(89)
文献	(97)

第十章 实验知识..... (98)

关于中村清二先生..... (98)

对仪器要了解..... (98)

仪器的校正..... (99)

操作细则..... (100)

条件的变更..... (100)

协作..... (101)

研究的原则——从检漏谈起..... (102)

数据分析..... (104)

记录和实验记录本..... (104)

精神因素..... (105)

第十一章 误差知识..... (107)

误差也寓于信心之中..... (107)

误差分类..... (107)

精密度和准确度..... (109)

需要警惕的系统误差..... (110)

偶然误差的处理..... (112)

统计的可靠性极限..... (114)

正态分布的适用性..... (116)

数据的舍弃问题..... (117)

文献..... (119)

第十二章 提高测量精度的方法..... (120)

误差的均分..... (120)

反复测量的功效..... (121)

灵敏度不等于准确度..... (122)

绝对法与相对法·····	(122)
指零法·····	(123)
反馈·····	(126)
测量系统的响应·····	(128)
防干扰措施·····	(128)
调制功能·····	(129)
测量极限·····	(131)
文献·····	(132)
第十三章 发表的技术及方法·····	(134)
各种发表方式·····	(134)
精神阻力·····	(134)
可否发表·····	(135)
选择杂志·····	(136)
署名问题·····	(137)
标题·····	(137)
提要·····	(138)
绪言·····	(139)
实验方法·····	(139)
结果·····	(140)
表格·····	(141)
插图·····	(141)
分析讨论·····	(143)
结论·····	(143)
逻辑思维·····	(144)
文献·····	(145)

第一章 实验方向



物理实验的确也有过“古代美好的时期”。让我们翻开《关于溅射的研究》*这本非常古老的书来看一看吧。书中描写了作者如何娴熟地利用当时的瞬态照相术，去观察物体下落到液面时使液花四溅的现象。该书的作者 A. M. Worthington 是英国海军机关学校的物理老师。也许这一事实就是他从事溅射研究的最充分的理由吧。不过读了该书之后，将使读者感到，他之所以能长期进行这项研究的真正动力，只是溅射现象的美，至于研究结果是否有用处，他是不去关心的。

在著名的 Lord Rayleigh 的《声学理论》(Theory of Sound Vol. 2, P. 72) 中，记载着这么一件事，为了观察平面波往返而引起的共振和起伏等现象，作者利用了自己住宅地下室的长廊，该长廊宽 4 英尺、高 6.5 英尺。这对于我们这些只有二间房间加厨房的、生活不富裕的人来说，实在是难能想象的。还有，在那彩色照相尚未问世的年代，英国贵族就曾把自己观察到的美丽的李庭堡图**印制成色彩鲜艳的画集自费出版了。



之所以要讲讲那些古老的“贵族们的爱好”，是因为我认为以爱好、兴趣为出发点进行实验毕竟不是最正确的实验态度，但遗憾的的是，现时代的我们为了获得某些知识、

* A Study of Splashes, Longmans, London, 1908.

** 在绝缘板上均匀地撒上一层轻盈的粉末，当板上加电场放电时，粉末就出现一定的分布，显示了放电的图象。

为了解决某些实用问题,产生了做实验的兴趣,但在做这类实验时,几乎不掏个人的腰包,也不占用业余时间。其结果是,能够得以全面铺开并大力推进的只是那些附属于国家、私人企业等等各种组织的实验。

不能脱离这些组织的实验,必然要受到三个方面的限制:(a)目的,(b)时间,(c)资金。允许利用什么水平的设备?在需要一定人力的实验中能够组织多少人员?这些也是限制实验的因素,推而言之,这些因素也包括在(c)项的限制之中。当然,实际所受到的限制是随研究单位的不同而异的。一般地说,在大学里(a)项和(b)项的限制少一些,(c)项的限制紧一点,在公司里则是(c)项限制松一些,(a),(b)两项的限制要严格一些。

在这些限制下,要筹划一个所期望的实验、并能使其付之实现,往往很伤脑筋。研究人员常常不得不抑制自己的雄心壮志。当人们不知道在这些限制之下该采取什么方法最有效时,不妨做一些小规模实验摸摸底,这是常用的办法。不少研究人员却面对着这些限制而叹息。但我记得,那些长期在以设备和环境的优越而著称的研究所里工作的人,也曾流露过这样的感想:在研究经费、设备和人员等各方面都很如愿和优越的环境中,由于与研究人员强调要通过自己的能力来争取研究工作的每一步进展的矛盾,从而产生情绪波动和干劲不足。外界的障碍只要不是极端严重,它不仅是研究人员作为进行适当辩解的依据,而且应当变成研究人员决心克服困难、坚持不懈的意志,变成研究工作踏实进行下去的动力。



青年人常常认为上述的(a)项,即实验的课题,是从天上掉下来的,在一开始就被规定好了的。如果对从事的课题,自己感到兴趣倒不产生什么问题,实际上却往往

不是这样。这时我们有必要认真地想一想，为什么自己不感兴趣。遇到这种情况，劝君要认真地、详细地请教别人，或者亲自作一番调研，要弄明白做这样一个课题，需要些什么基础知识，决定这个课题的背景是什么，等等，直到使自己跟决定课题的人具有同样的信心，甚至更有信心为止。在理解之后，兴趣会油然而生的。如果经过种种努力，还是引不起兴趣，那就只得信赖你的上级，硬着头皮去干，或者跟上级商量一下，离开这个课题，二者择一。决定课题的人也明白，对于没有兴趣的课题，即使让他干了，也几乎不会得出什么令人满意的结果的。

缺乏经验的人，是不能充分认识到确定一个研究课题是多么地困难。你首先要感谢别人在研究方向上给你的指导，必须以谦虚为本，然后逐渐得到锻炼、成长起来。笔者也曾好多次耳闻目睹过这样的事实，有些人在开始时对课题不感兴趣，但在研究工作的过程中，产生了兴趣，最终变得非常积极主动。纵然到最后也没有产生过兴趣的实验人员，经过实验工作竟毫无所得、完全徒劳的情况是极少的。



传说在大正年代，寺田寅彦常常劝告刚从大学物理系毕业到地方旧制高中就业的人说，即使没有经费和设备也能进行好多实验。其中每次都提到研究小焰火的问题。但受劝告的毕业生谁都不去干。末了，他动了肝火，终于在自己的实验室里完成了这项研究，并把结果写成英文报告。了解此事来龙去脉的中谷宇吉郎，在《回忆寺田寅彦》一文中（甲文社，昭和22年），详细介绍了这段历史。可是这类事对于从前的“寺田物理”或许是行得通的，但在现时代，如果有人还是正颜厉色地说，没有经费、没有设备，什么事也能办得成，那简直是梦呓，我希望这种人需要纠正一下自己的想法。

当然，赤手空拳是没有办法的，反之，要说如果配齐了昂贵的仪器就能做出优秀的研究结果，那在实际上也是行不通的。这种例子在经济大国日本，实属比比皆是。如果买进了价值几千万日元的仪器，马上能够利用起来，而使研究课题变得很有意思，那么这类事老早就会有人做了。其实，多数情况下，这样做只不过是吃人家的“残羹剩饭”罢了。

我想还是援引一下寺田寅彦曾经讲过的意思，新的实验手段反过来会使人看到新的自然。关于这一点，在考虑课题时就应该引以注意。创造性的工作，在某些实验手段上也要包含创造性的因素。可以说，只是把现成的产品组合一下大体上就能完成的实验，是不会得出什么正经的结果的。这并不是做什么宣传鼓动、喊喊口号的事，希望大家在实验进程中也经常要有“手工业的味儿”。要强调的是，所谓“手工业的味儿”未必与经费多寡有关。



研究工作有两种类型。第一类可以讲是“先锋突击型”，第二类则是“巩固阵地型”。或许大家已经意识到，在前面“寻找课题”那一节中所讲的多半是先锋突击型的研究，从事这类研究工作的人，是不顾有否后继人的，如果他没有决一死战的思想准备，也就是说，如果他没有非常勇猛的精神，是很难完成任务的，再加上到二十世纪后半叶，引人入胜的新天地并不总是摆在科学界的面前。由于以上两个原因，第二类“巩固阵地型”的研究必然会逐渐多起来。尤其在日本，似乎更多一些。

在第一类的研究中，如果研究课题本质上是正确的，那么工作做得粗糙一点，判断较轻率一点也是许可的。但是在第二类型的研究中，就不能这样要求了。若把进行第一类型研究中用于物质A的研究方法用到物质B或C上，将会出现什么情况

呢？得到第一类型研究结果时被考虑过的几个原因中，哪一个原因是决定性的呢？第二类型研究就是要解决这类问题。为此，在第一类型研究中，大体采用较容易达到目的的材料和方法，可是在第二类型研究中，如果不是在较困难的条件下做出精度较高的实验，一般说是没有多大的价值的。进行第二类型研究时，要么需要逐个改变第一类型研究中被固定不变的参数，要么需要使用更灵敏的、响应范围更宽的检测仪器，因此，第二类型研究往往要花费较多的财力和劳力。



希望研究人员在作实验计划时，要倾注自己全部的才能，预先想一想这个实验将会产生怎样的结果，乃至如何解释这些结果。在做计划的过程中，必须毫不犹豫地向别人征求意见*，即使他对计划帮助不多。此外，在制订实验计划时，还必须有“驾驭”研究的气概。设想一下将出现的各种情况。同各种人物从不同的角度来讨论计划，这样常常能暴露出计划中考虑不周的地方，可以使研究工作节省许多时间和经费。

*在讨论过程中，剽窃别人观点的不道德的人，在现实生活中不能说不存在，因而在科学技术领域，有时也会发生争优先权，争发明权的事件。可是，对我们年青人来说，希望不要因这种人的卑鄙行径而“因噎废食”。