

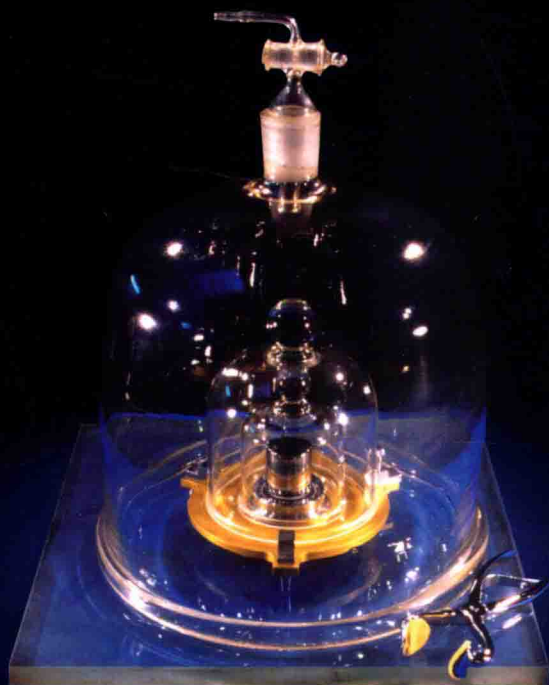
从实物到原子

——国际计量局与终极计量标准的探寻

From Artefacts to Atoms

The BIPM and the Search for Ultimate Measurement Standards

[英] 泰瑞·奎恩 著
张玉宽 主译



 中国质检出版社

从实物到原子

——国际计量局与终极计量标准的探寻

[英]泰瑞·奎恩 著

张玉宽 主译

中国质检出版社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

从实物到原子:国际计量局与终极计量标准的探寻/(英)奎恩(Quinn,T.)著;张玉宽主译.
—北京:中国质检出版社,2015.1

ISBN 978-7-5026-3750-7

I. ①从… II. ①奎… ②张… III. ①国际计量局—概况 ②计量—基本知识 IV. ①TB9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 026872 号

Copyright © 2012 by Oxford University Press

“FROM ARTEFACTS TO ATOMS: THE BIPM AND THE SEARCH FOR ULTIMATE MEASUREMENT STANDARDS, FIRST EDITION” was originally published in English in 2012. This translation is published by arrangement with Oxford University Press.

《从实物到原子——国际计量局与终极计量标准的探寻》原著英文版于 2012 年出版。中文版经牛津大学出版社授权出版。

北京市版权局著作权合同登记号:图字 01-2013-0375 号

中国质检出版社 出版发行

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)

北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址:www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 23.75 字数 441 千字

2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

*

定价:98.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68510107

献给蕾妮和我们的两个儿子：马克和尼克

译 委 会

主 任 张玉宽

副主任 徐学林

委 员 (按姓氏笔画顺序)

王春艳 车薇娜 邓乙林

甘海勇 卢明臻 杨 平

李孟婉 张 璞 林 鸿

房 芳 徐学林 崔孝海

蔡 娟

序

能为我的书《从实物到原子——国际计量局与终极计量标准的探寻》(2011年出版)的中文版写序,我非常高兴。其实,在本书原著写作的2006到2010年间,以自然常数重新定义国际单位制(SI)的所有基本单位这一重大课题又取得了相当显著的进展。正如中文版所忠实呈现的那样,在原著中,我追溯了SI的发展史,以及重新定义SI这个想法。从最初在1795年用地球子午线四分之一的极小一部分和一立方分米的水的质量定义米原器和千克原器作为米制的基础,到2011年在第24届国际计量大会(CGPM)上提出重新定义SI的建议,究竟是如何慢慢发展形成的。

由于原书正好是在第24届CGPM召开之前出版的,所以我写作时还不能确定本书第17章所示的这个提议是否一定会被通过。可实际上,该建议得到了《米制公约》全体成员国代表的一致通过,与此同时,CGPM要求国际计量委员会(CIPM)与各国国家计量院和相关机构一道,一旦条件成熟,就尽快将这一建议变成现实。

从那时起,大量为促成SI重新定义实现的科学实验工作就得以开展,特别是在用普朗克常数定义千克和用玻耳兹曼常数定义开尔文这两个课题上,有了显著的新进展。2011年,用瓦特天平测得的普朗克常数和用硅球密度法测得的普朗克常数的结果之间还存在偏差(见第17章),可后来这些问题都得到了逐步解决,并且玻耳兹曼常数测量取得了令人十分满意的新的结果,这其中也包括了我国计量科学研究院取得的优异测量结果。在2014年11月巴黎召开的第25届CGPM上,在决议1《关于国际单位制(SI)的未来修订》中,大会委托CIPM准备一份关于在2018年第26届CGPM上实现SI重新定义的决议。CIPM已经就有待开展的所有工作制定了一份详细计划,但不论怎样,重新定义SI基本单位这一方向已然十分明朗。

基本单位的重新定义将是SI的一个重大进步,但是计量的实际应用所要求的却远多于此。它要求一个全球范围内的国家计量院合作网络通过CIPM互认协议(CIPM MRA)机制(见16章)在《米制公约》的框架下良好地发挥作

用。CIPM MRA 最初于 1999 年由 38 个国家计量院和两个国际组织签署,其中包括中国计量科学研究院。现在,它的签约机构已经囊括了《米制公约》54 个成员国的国家计量院、41 个 CGPM 会员国、4 个国际组织,以及 152 个由签约机构指定的机构。对国家计量院来讲,当前的一个挑战是要找到一个方法,既能实现 MRA 的目标,又不在作为 MRA 实现基础的国际计量标准比对上面花费过多精力。为此,第 25 届 CGPM 在其决议 5《关于 CIPM 互认协议的重要性》中呼吁 CIPM 对 MRA 的运行机制进行全面评估,以进一步提高其运行效率。这项工作是很重要的,因为目前绝大多数的国际贸易都要符合国际标准,而符合国际标准本身要求有全球统一的计量标准,这正是由《米制公约》框架下的 CIPM MRA 制度来实现的。

自我的书 2011 年出版以来,世界计量发展迅速并且对国际贸易以及许多依赖准确可靠测量的全球共同行动都更加重要。其中值得一提的有国家间加强治理大气污染和全球气候变化的协作,以及需求越来越多的关乎人类健康的准确的医疗诊断。

我谨感谢中国计量科学研究院的徐学林先生组织了本书的翻译工作,感谢中国计量科学研究院前任院长张玉宽先生启动了中文版翻译的工作,也感谢现任院长方向先生最终保证了中文版翻译的圆满完成。

泰瑞·奎恩

2014 年 12 月

Preface

I am very pleased to write this Preface to the Chinese edition of my book *From Artefacts to Atoms, the BIPM and the Search for ultimate Measurement Standards*, first published in 2011. Since the original text was written, during the period from about 2006 to 2010, considerable advances have been made in the great project to redefine all the base units of the International System of Units, the SI, in terms of constants of nature. In my original text, faithfully reproduced here, I trace the history of the SI and how this idea slowly progressed from the original founding units of the metric system, the metre and kilogram of the Archives of 1795, based on a fraction of the quadrant of the Earth and the mass of a cubic decimetre of water, to the proposal put to the 24th General Conference on Weights and Measures, CGPM, in 2011. Since my book was published just before this Conference I could not be sure that the proposal, reproduced in Chapter 17 of my book, would be adopted. In fact it was adopted unanimously by delegates from the Member States of the Metre Convention and the International Committee for Weights and Measures was instructed to work with the national metrology Institutes and other bodies to bring it to fruition as soon as everything would be ready.

Since then, much new work has been accomplished in refining the experiments needed to allow, in particular, the kilogram to be defined in terms of a fixed numerical value of the Planck constant and the kelvin in terms of a fixed value for the Boltzmann constant. In 2011 there were still some discrepancies between the values of the Planck constant derived from watt balance experiments and silicon crystal density measurements (see Chapter 17). These were progressively resolved as well as satisfactory results of new measurements of the Boltzmann constant, including those made at NIM China. At the 25th CGPM held in Paris in November 2014, in Resolution 1 “*On the future revision of the International System of Units, the SI*” the CIPM was asked to prepare a proposal for the redefinition to take place at the 26th CGPM in 2018. The CIPM has already a detailed plan of all the work that still

needs to be done but the way is now clear for redefinition of the base units of the SI to take place.

The redefinition of the base units will be a big step forward in the SI but the practical application of metrology requires much more than this. It requires the world – wide network of National Metrology Institutes cooperating together as now exists under the Metre Convention through the implementation of the CIPM Mutual Recognition Arrangement, the CIPM MRA, (see Chapter 16). This was originally signed in 1999 by the Directors of 38 National Metrology Institutes, NMIs, including the NIM China, and two international organizations. It now includes the NMIs of 54 Member States of the Metre Convention, 41 Associate States of the CGPM, 4 international organizations and a further 152 institutes designated by the signatory bodies. The challenge for the NMIs is to find a way to accomplish the aims of this MRA without devoting an excessive amount of time to carrying out the international comparisons of standards upon which it is based. Resolution 5 “*On the importance of the CIPM Mutual Recognition Arrangement*” adopted at the 25th CGPM calls upon the CIPM to review the application of its MRA with a view to improving the efficiency of its operation. This will be important as most international trade now requires conformance to written standards which themselves require uniformity of world measurement standards assured by the CIPM MRA under the Metre Convention.

Since the publication of my book in 2011, world metrology has further advanced and is now even more important not only for world trade but also for the many international collaborations that require accurate and reliable measurements. Notable among these, are the increasing collaborations between States in the fight against atmospheric pollution and global climate change and the increasing demand for accurate medical diagnostics related to human health.

I give my thanks to Mr Xu Xuelin of NIM who oversaw the translation of my book and also to the former Director of NIM Zhang Yukuan who initiated this project and to the present Director Fang Xiang who has assured its successful accomplishment.

Terry Quinn,
December 2014

译者序

泰瑞·奎恩先生是原国际计量局局长,对中国计量的发展给予了直诚的帮助和支持。为此,他荣获了2014年度中国政府“友谊奖”。由于奎恩先生是中国计量科学研究院国际咨询委员会的委员,因而我在2007年以后每年都会有机会与奎恩先生就国际、国内计量科学的发展动态和趋势深入交换意见。他的博学、敏锐以及独特的视角给我留下了深刻的印象。2011年,奎恩先生将他的新作《从实物到原子——国际计量局与终极计量标准的探寻》送给我,并向我介绍了出版该书的初衷以及书的主要内容。我的第一个想法就是,这是一本好书,应该介绍给每一位中国的计量工作者,特别是新入计量领域的年轻人。

正如书中所言,国际计量局(BIPM)是一个小机构,但发挥着大作用。自BIPM成立150多年来,它与世界各国国家计量院以及来自世界各地的委员一道,通过国际单位制建设,努力实现测量的国际一致性。本书分十八章,以编年史的形式,从国际米制公约的起源开始,到米制公约的签署和BIPM的成立;从国际互认协议的签署,到国际基本单位的新定义,揭示了围绕BIPM这个机构所发生的一系列重大事件,分析了当时的政治和社会环境,以及国际计量工作者的行为和观点。通读本书,不仅可以了解国际单位制的历史沿革,而且可以通过一系列的事件,感同身受相关人物的感情、志趣、个性,甚至国家荣誉。因此,读这本书,读者一定不会觉得枯燥。

自1977年正式加入米制公约以来,中国计量在国际上发挥了重要作用。王大珩院士、高洁院士和中国计量科学研究院段宇宁副院长分别于1979年、1995年和2010年当选国际计量委员会委员。2007年,为应对国际单位制的重大变革,即以基本物理常数定义基本单位,中国计量科学研究院启动了以量子物理为基础的现代计量基准研究项目。普朗克常数、玻耳兹曼常数、精细结构常数和阿伏加德罗常数测量取得重要进展,研究水平居于世界前列。国家校准测量能力大幅提升,截至2013年底,中国计量科学研究院在BIPM的关键

比对数据库公布的校准与测量能力(CMCs)数量跃居第四,亚洲第一。在生物、能源、环境和战略性新兴产业等领域的计量基标准体系及测量能力进一步完善和增强。随着国际合作的进一步加强,中国计量与世界的联系越来越紧密,也必将发挥更大的作用。

本书将为新加入计量行业的年轻人提供一个系统了解国际计量发展历程的契机,使他们更快地融入国际计量的大家庭;对已经从事计量科技工作或计量管理的人员,本书提供了大量案例和信息,将有助于其理解当前的国际计量体系,从而规划自己的工作。本书也可以作为计量专业教材的辅助用书。

本书从翻译策划到最后完成译稿,中国质检出版社给予了很多关心和支持,在此表示衷心的感谢。本书主要由中国计量科学研究院年轻同志参加翻译并校对,在此也一并表示感谢。由于时间和专业知识的限制,书中肯定会有许多不妥之处,恳请各位读者批评指正。

张玉宽

2014年11月

致 谢

首先一定要感谢那些创立了国际计量局 (Bureau International des Poids et Mesures, BIPM)、新的米制原器以及以此为基础的国际计量学的先驱们,并感谢他们将自己完成的工作和讨论的内容几乎无一遗漏地记录了下来。我的这本书几乎完全基于这些海量的档案资料,是他们的智慧和远见的具体体现。从 1977 年到 2003 年,在我为国际计量局工作的二十六年的时间里,我逐渐发现了所有这些资料。但只是在退休后,更准确的说的不再从事实验室工作的几年后,我才为了写一些关于这方面的东西,而投入大量时间研究这些资料。但最终的结果是,实现这个想法所需要的时间远远超出了我原本的预期。尽管这样,我知道还有很多内容被遗漏了。我要感谢牛津大学出版社,特别是菲利斯·科恩 (Phyllis Cohen),最终同意接受一份远远超出原合同计划长度的书稿。

发现甚至是阅读这些资料并不是件难事。但要从这些资料中整理出一个连贯的头绪,将 19 世纪末学者们的言行与今天根据基本物理学常数确定一个全新的单位制计划联系起来,至少对我而言,要不是一生都与计量学打交道,还真是一件不可能完成的任务。在引言中,我简要介绍了自己接触计量学的方式,以及我的牛津大学博士生导师威廉·休姆-罗瑟里 (William Hume - Rothery) 如何让我认识到数据准确性的重要意义,正是他让我去英国国家物理实验室 (National Physical Laboratory, NPL) 校准仪器。1962 年,当我成为英国国家物理实验室的一位初级研究员时,我为当时的温度处处长塞西尔·巴伯 (Cecil Barber) 工作,并与他的前任埃恩哲·霍尔 (Ainger Hall) 共用一间实验室。这两人见插图 35,即 1948 年国际计量局一次会议的合影。在这两人的影响下,我形成了自己的计量学思想。同样影响我的还有扬·德布尔 (Jan de Boer)。他自 20 世纪 50 年代起,在国际计量局的各项事务中发挥着越来越重要的作用,直到 1994 年不再担任国际计量局管理机构国际计量委员会 (Comité international des poids et mesures, CIPM) 的职务。他对我的帮助是无可估量的,不仅体现在获得一些计量学基础知识上,也包括他在我担任国际计量局副局长、局长时,所提供的处理国际计量局事务的指导和智慧。在担任局长期间,同样非常幸运的是还有迪特尔·坎德 (Dieter Kind)、比尔·布莱文 (Bill Blevin)、休·普雷斯頓-托马斯 (Hugh Preston - Thomas) 和让·科瓦列夫斯基 (Jean Kovalevsky) 为我提供建议和指

导。他们分别在德国、澳大利亚、加拿大、法国的计量学领域拥有丰富的经验。当然,只列出上面几个名字对与我共同工作了四十多年的同事和朋友是不公平的,正是从他们那里我学到了许多知识并拥有了现在的一点智慧。同时还要感谢的是,当我和妻子在 1977 年到达国际计量局主要建筑布雷特依宫(Pavillon de Breteuil)时,受到了全体工作人员,特别是皮埃尔·贾科莫(Pierre Giacomo)友好而热情的接待。之后直到 1988 年,他担任国际计量局的局长,我担任副局长期间,我们都保持着良好的关系。2004 年之后,我主要致力于新的国际单位制(SI)的思考和写作,也就是使用基本物理学常数来定义国际单位制的基本单位,具体见第 17 章的描述。在此过程中,我与伊恩·米尔斯(Ian Mills)、巴里·泰勒(Barry Taylor)、彼得·莫尔(Peter Mohr)和爱德华·威廉姆斯(Ed Williams)密切合作。与他们的合作非常愉快,也是我的荣幸。

至于本书的内容,我首先必须感谢曾任国际计量局出版部主任和局办期刊《计量》(*Metrologia*)编辑的彼得·马丁(Peter Martin)先生。他认真阅读了每一页的内容,并纠正了很多语言错误。还要感谢让·科瓦列夫斯基,他在此之后阅读了整个书稿,提出了很多显著提高文字质量的建议。我还必须感谢伊恩·米尔斯和理查德·戴维斯(Richard Davis)。他们就第 17 章关于新的国际单位制的内容提出了许多好的建议。还要感谢迪特尔·坎德检查了关于德国物理技术研究所(Physikalisch - Technische Reichsanstalt, PTR)成立的内容,并对第 5 和第 9 章提及的关于威廉·福尔斯特(Wilhelm Foerster)的节录,提醒我注意并安排了部分翻译。在 2004 年到 2007 年期间担任《英国皇家协会记录与档案》(*Notes and Records of the Royal Society*)(英国皇家学会关于科学史的期刊)的编辑时,我深深地意识到一个毫无戒心的作者在从事科学史研究时存在的陷阱和众多雷区。我必须感谢我的编辑委员会,这个委员会由真正的科学历史学家组成,他们当时为我提供了很多帮助,并让我认识到科学史的重要性——对于本书而言,计量史的重要性。在我的编辑委员会委员中,我要特别感谢约翰·海尔布隆(John Heilbron)和罗伯特·福克斯(Robert Fox),他们对当前内容的某些方面提出了一些宝贵的指导意见。当然,必须说明的是,虽然得到了这些帮助和建议,但对于仍然存在的错误和疏忽,则完全由我个人负责,不应以任何方式损害上文提及姓名的人。

另外我也要感谢国际计量局的局长允许我发布很多来自于国际计量局照相档案的图片。这些图片保存于国际计量局《工作备忘录》(*Travaux et Mémoires*)的早期卷宗中,有些是 7 英寸*×5 英寸的玻璃黑白底片,有些则是原版的非常漂亮的钢板雕刻。另外,还有一些简短引用来自于国际计量局近期的出版物。还要感谢允许发布

* 1 英寸=2.54 厘米。

来自于法兰西研究院法国科学院(Académie des sciences of the Institut de France)的五幅肖像、一幅来自于西班牙国家地理研究所(National Geographic Institute of Spain)的肖像以及一幅来自于英国国家物理实验室的照片。

对于标题“从实物到原子”，我要感谢托尼·科尔克拉夫(Tony Colclough)的提议。当时我和妻子以及其他两位同事(20世纪60年代在英国国家物理实验室温度处的同事)理查德·鲁兹比(Richard Rusby)和基思·贝瑞(Keith Berry)与他一起在维多利亚与阿尔伯特博物馆(Victoria and Albert Museum)共进午餐。

最后我要感谢我的妻子蕾妮(Renee)，感谢她我们从1962年7月21日在伦敦结婚至今多年来的爱和陪伴。在这本书从我的打印机出来后，她是第一个逐页阅读的人，并尽力确保对于非专业人员的可读性。在阅读其中的一章时，她甚至说非常有趣。我已忘记她说的是哪一章，留给读者的任务便是找出这一章。

(徐学林 译)

引 言

我家里有四只报时的机械钟。有时候,我会把它们的时间调得很准,让至少有两只钟的报时时间只差几秒钟,但很少能够让三只以上的钟做到这一点。幸运的是,我的这项乐趣并不要求它们能够同时报时。不过,当我打开汽车上的 GPS(全球定位系统),情况就不一样了。它会非常迅速地天上的至少四只原子钟建立连接。所有这些时钟都能够报出同样的时间,精度达到亿分之一秒。如果它们没有这样的能力,我的 GPS 便不能把我带到我想要去的地方。不仅 GPS 卫星(有二十四颗这样的卫星)中的所有这些原子钟能够报出同样的时间,而且世界上所有按世界时标设置的其他原子钟都能报出同样的时间。虽然没有世界中心时钟这样的东西存在,但有一个称为世界协调时(UTC)的世界时标。这个时标在本质上是格林威治标准时间,只不过被冠以一个更加现代化的名字。按照现在的规定,每当世界上的所有原子钟报中午十二点时,太阳基本上位于格林威治(Greenwich)子午线的正上方。之所以用“基本”一词,是因为事实上,在讨论亿分之一秒的问题时,情况会变得相当复杂。另外,将原子时标与地球自转的观测结果联系在一起需要额外的论述,我将在后面讨论这个问题,首先会在第 14 章讨论。

在我家里放四只报时原子钟肯定没有机械钟美观。实际上,我会感觉不到有四只钟,因为它们都会在完全相同的时间报时!请注意,如果我的房子足够大,通过原子钟的报时声并记录报时声到达的顺序,我便可以确定自己的位置,因为离我较近的原子钟的报时声会先行到达。当然,这也是 GPS 的工作原理,只是它使用的是无线电波而不是声音。

给机械钟对时,我只需要收听收音机发出的报时声,或参照我的与德国某个广播电台时间信号相连接的电波钟。广播电台的时间信号是与德国国家计量院的原子钟相连接的。但德国国家计量院的时间是从哪里来的?它是否与 GPS、法国或英国的时间相同,之间的差别是不超过 1 秒、百分之一秒、还是亿分之一秒?有没有人能够通过这些联系追溯到终极参考标准?这个终极的参考标准是不是绝对的,即再也不能更进一步?对于任何需要测量的东西,我们都可以提出同样的问题。对于第一个问题,答案是肯定的,因为我们可以将所有的测量值都追溯到一个终极参考标准,但对于第二个问题,答案是有条件的肯定。

本书的中心主题是寻找与自然紧密联系的终极计量标准,从而能够具有完美的稳定性、通用性并能为所有人获取。如果计量标准满足这些要求,我们便可以将有条

件的肯定回答变成明确和不容置疑的肯定性回答。可喜的是,我们很快将能够做到这一点。这也是我准备讨论的问题。

关于测量和测量标准的完整学科称为计量学。五十年前,当我准备向这个学科迈出第一步时,它仍处于萧条期,在很多领域离科学前沿非常遥远。即使是计量学这个词也非常让人倒胃口,让人联想到的是布满灰尘的实验室,里面有几只带有铜把手的赤褐色箱子、水银温度计,以及同样灰头土脸的被称为计量学家的人,每天朝九晚五地在那里忙碌着。当时甚至是时至今日,很少有人开始规划自己的人生目标时,把成为计量学家当成自己的理想,我自己也不例外。实际上,听到计量学这个词,大部分人仍会认为这是一个与天气预报有关的学科。可以说在公众的心目中,甚至是在学术界,计量学都没有太高的名气。

既然计量学在学术界的名气很低,像我这个基本上完成了牛津大学博士论文的年轻人,又是如何义无反顾地决定以计量学为职业的呢?虽然我最初的人生目标绝不是做一名计量学家,但在我的职业生涯中,我很早便接触到了计量学。1959年10月,作为一名进入牛津大学还不到一两个月的年轻研究生,我便带着一只光学高温仪前往位于伦敦西南方特丁顿(Teddington)的英国国家物理实验室去校准,并学习如何使用这台仪器。而在当时的几个月前,我刚从南安普顿大学(University of Southampton)的物理专业毕业并获得学位,并做好了攻读固态物理学博士学位的一切准备。不过,我无意中看到一则刊登在每周出版的科学报刊,即《新科学家》(*New Scientist*)上的小广告,邀请研究生申请牛津大学冶金系研究奖学金。很令准备给我提供指导的南安普顿大学博士生导师恼火的是,我不仅提出了申请,而且还成功了,并因此到了牛津大学。我在牛津大学的导师是皇家学会会员威廉·休姆-罗瑟里,但学生和同事都称他为休罗。他是经典冶金学领域非常伟大的人物之一。

休罗原本注定要去从军的。1916年时,他就已经就读于当时被称为绅士军校的位于沃尔维奇(Woolwich)的皇家军事学院(Royal Military Academy),但却不幸地得了脑脊髓膜炎。病后他完全失去了听力,健康状况也很差。由于已经不能参军,他将目光转向科学研究,并进入牛津莫德林学院(Magdalen College Oxford)学习化学。1922年以一等荣誉毕业后的几年内,他转而研究金属和合金,并以一己之力完成了牛津大学冶金系的初步创建。他于1937年当选为皇家学会会员,但直到1957年才成为第一位冶金学艾萨克·沃尔夫森(Isaac Wolfson)教授资格获得者,这是因为牛津大学直到这一年才设立该职位。他在皇家学会会员回忆录中谈到自己就读的切尔滕纳姆学院(Cheltenham College)的科学系主任G. W. 赫德利(G. W. Hedley)时写道:“以合理的教学为代价来强调科学的神奇并不困难;科学教学容易,神奇性也丢失了。很少有人能够坚持严格而合理的教学,同时保持学科的趣味性和神奇性。”回忆录的编者加注道,休罗的这些话同样也适用于他自己。虽然他身体残疾,但却是一位出色的教

师,对于自己带的博士生,既提供极大的帮助,同时又严格要求。在他的研究生中,有几位也是聋人或听力问题,这并非巧合。

在我刚开始着手撰写现在称为《钼-钴合金相平衡图》的论文时,他对我说,如果要在说明我的工作成果的科学论文上将他的名字与我的放在一起,就必须让他相信论文中所依据的数据的可靠性。从他科学工作的早期开始,休罗便以非常强调实验工作的质量而闻名,不管是实验的设计、合金的化学分析还是需要测量的各类物理参数。在他的著作中,学生们最看重的是《金相平衡图集》(*Metallurgical Equilibrium Diagrams*),作者:休姆-罗瑟里、克里斯汀(Christian)和皮尔逊(Pearson)。书中不仅详细解释了相图的含义,而且还有得到这些相图所必需的实验技术。考虑到大部分令人关注的钼钴合金都是在高温条件下发生相变,准确和可靠的温度测量在我的研究中将起到非常关键的作用——因此他要求我前往英国国家物理实验室。光学高温仪是用来记录高温的仪器。它的原理是测量炉内所发出的光线的亮度,从而确定温度。

三年后,也就是1962年10月,经过多次拜访英国国家物理实验室,并与休罗一起在《稀有金属期刊》(*Journal of Less Common Metals*)上发表了一篇关于《钼-钴金相图》的论文后,我获得了英国国家物理实验室温度处初级研究员的职位。同年7月份,我与一位年轻的法国女人结婚。她当时已是伦敦大学皇家霍洛威学院(Royal Holloway College, University of London)[位于一个名为因格尔菲尔德格林(Englefield Green)的小村子,离英国国家物理实验室只有15英里*,也是我们定居的地方]的法语讲师。需要指出的是,我之所以选择英国国家物理实验室,与这个因素也并不是完全没有关系。

正是因为1962年在英国国家物理实验室,我开始接触更广阔的计量学世界。当时英国国家物理实验室温度处的主任是塞西尔·巴伯,他的前任,埃恩哲·霍尔已在几年前退休,但仍在实验室工作。这两人都是温度测量领域的知名学者。塞西尔·巴伯虽然没有受过高等教育,但作为英国国家物理实验室的一名年轻的技术人员,他坚持参加伦敦大学伯克贝克学院(Birkbeck College, University of London)的夜校课程,并以物理学专业一等荣誉的优秀成绩毕业。这样的成绩来之不易,也正是我非常钦佩他的地方。与塞西尔·巴伯不同的是,埃恩哲·霍尔早在1927年便加入英国国家物理实验室,是H. L. 卡伦德(H. L. Callendar)的学生,就读的学校当时叫皇家科学学院(Royal College of Science),也就是现在位于伦敦的帝国理工学院(Imperial College)。卡伦德于1886年发明了铂电阻温度计,并于1899年首次提出国际温标的建议。因此,英国国家物理实验室的温度处便拥有了一个优良的背景,并在国际上享有盛誉。正是通过巴伯和霍尔以及来自于世界各地的访问者,让我第一次知道国际

* 1英里=1.609344千米。