

纳米科学与技术



分子间力和表面力

原书第三版

〔美〕 J.N. 伊斯雷尔奇维利 著
王晓琳 唐元晖 卢滇楠 译



科学出版社



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLISHING FUND PROJECT

纳米科学与技术

分子间力和表面力

(原书第三版)

[美] J. N. 伊斯雷尔奇维利 著

王晓琳 唐元晖 卢滇楠 译



科学出版社

北京

图字: 01-2013-1144

内 容 简 介

本书详细阐述、解释和演绎了物理学、化学、化学工程及生物学等学科领域与“分子间力和表面力”密切相关的诸多现象,以及过去 50 多年在“分子间力和表面力”理论基础和应用研究方面所取得的巨大进展。本书共三个部分,第一部分论述原子和分子间力,第二部分论述粒子和表面间力,第三部分论述自组装结构和生物系统。

本书可供从事胶体与界面科学方面相关科技的研究人员和技术人员参考,也可作为物理、化学、生物、化工、材料、医学、环境等相关专业的大专院校研究生在胶体与界面科学方面的课程教科书。

This edition of Intermolecular and Surface Forces, revised third edition by Jacob Israelachvili is published by arrangement with ELSEVIER INC of 360 Park Avenue South, New York, NY 10010, USA

本书《分子间力和表面力》,修订第三版,作者 Jacob Israelachvili,由 ELSEVIER INC 出版社出版,地址 360 Park Avenue South, New York, NY 10010, USA。

图书在版编目(CIP)数据

纳米科学与技术 / 白春礼总主编. —北京: 科学出版社, 2014

国家出版基金项目

ISBN 978-7-03-042826-4

I. ①纳… II. ①白… III. ①纳米技术 IV. ①TB383

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 299072 号

丛书策划: 杨 震 / 责任编辑: 朱 丽 杨新改 / 责任校对: 李 影

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京彦诚则铭印刷科技有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 1 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2015 年 1 月第一次印刷 印张: 40 1/2

字数: 838 000

定价: 12 000.00 元 (全 80 册)

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《纳米科学与技术》丛书编委会

顾 问 韩启德 师昌绪 严东生 张存浩

主 编 白春礼

常务副主编 侯建国

副主编 朱道本 解思深 范守善 林 鹏

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

陈小明 封松林 傅小锋 顾 宁 汲培文 李述汤

李亚栋 梁 伟 梁文平 刘 明 卢秉恒 强伯勤

任咏华 万立骏 王 琛 王中林 薛其坤 薛增泉

姚建年 张先恩 张幼怡 赵宇亮 郑厚植 郑兰荪

周兆英 朱 星

《纳米科学与技术》丛书序

在新兴前沿领域的快速发展过程中,及时整理、归纳、出版前沿科学的系统性专著,一直是发达国家在国家层面上推动科学与技术发展的重要手段,是一个国家保持科学技术的领先权和引领作用的重要策略之一。

科学技术的发展和应用,离不开知识的传播:我们从事科学研究,得到了“数据”(论文),这只是“信息”。将相关的大量信息进行整理、分析,使之形成体系并付诸实践,才变成“知识”。信息和知识如果不能交流,就没有用处,所以需要“传播”(出版),这样才能被更多的人“应用”,被更有效地应用,被更准确地应用,知识才能产生更大的社会效益,国家才能在越来越高的水平上发展。所以,数据→信息→知识→传播→应用→效益→发展,这是科学技术推动社会发展的基本流程。其中,知识的传播,无疑具有桥梁的作用。

整个 20 世纪,我国在及时地编辑、归纳、出版各个领域的科学技术前沿的系列专著方面,已经大大地落后于科技发达国家,其中的原因有许多,我认为更主要的是缘于科学文化的习惯不同:中国科学家不习惯去花时间整理和梳理自己所从事的研究领域的知识,将其变成具有系统性的知识结构。所以,很多学科领域的第一本原创性“教科书”,大都来自欧美国家。当然,真正优秀的著作不仅需要花费时间和精力,更重要的是要有自己的学术思想以及对这个学科领域充分把握和高度概括的学术能力。

纳米科技已经成为 21 世纪前沿科学技术的代表领域之一,其对经济和社会发展所产生的潜在影响,已经成为全球关注的焦点。国际纯粹与应用化学联合会(IUPAC)会刊在 2006 年 12 月评论:“现在的发达国家如果不发展纳米科技,今后必将沦为第三世界发展中国家。”因此,世界各国,尤其是科技强国,都将发展纳米科技作为国家战略。

兴起于 20 世纪后期的纳米科技,给我国提供了与科技发达国家同步发展的良好机遇。目前,各国政府都在加大力度出版纳米科技领域的教材、专著以及科普读物。在我国,纳米科技领域尚没有一套能够系统、科学地展现纳米科学技术各个方面前沿进展的系统性专著。因此,国家纳米科学中心与科学出版社共同发起并组织出版《纳米科学与技术》,力求体现本领域出版读物的科学性、准确性和系统性,全面科学地阐述纳米科学技术前沿、基础和应用。本套丛书的出版以高质量、科学性、准确性、系统性、实用性为目标,将涵盖纳米科学技术的所有领域,全面介绍国内外纳米科学技术发展的前沿知识;并长期组织专家撰写、编辑出版下去,为我国

纳米科技各个相关基础学科和技术领域的科技工作者和研究生、本科生等,提供一套重要的参考资料。

这是我们努力实践“科学发展观”思想的一次创新,也是一件利国利民、对国家科学技术发展具有重要意义的大事。感谢科学出版社给我们提供的这个平台,这不仅有助于我国在科研一线工作的高水平科学家逐渐增强归纳、整理和传播知识的主动性(这也是科学研究回馈和服务社会的重要内涵之一),而且有助于培养我国各个领域的人士对前沿科学技术发展的敏感性和兴趣爱好,从而为提高全民科学素养作出贡献。

我谨代表《纳米科学与技术》编委会,感谢为此付出辛勤劳动的作者、编委会委员和出版社的同仁们。

同时希望您,尊贵的读者,如获此书,开卷有益!



中国科学院院长

国家纳米科技指导协调委员会首席科学家

2011年3月于北京

翻 译 版 序

我很高兴 *Intermolecular and Surface Forces* (3rd Edition) 已由化学工程、膜与表面领域的著名中国科学家、清华大学王晓琳教授(及其团队)翻译成中文。这本书从最初的 1985 年第一版的近 250 页,增至 1991 年第二版的约 450 页,乃至现在的 700 多页,表明分子间相互作用在物理学、化学、地质学、生物学,特别是化学工程以及材料工程中日益增长的关注度和重要性,不仅体现在高校、政府和工业研究机构的基础与应用研究中,同时也是自然科学基础和高等课程教育的一部分。这个学科已在多个方向上得以拓展到新的领域,伴随着对动态(非平衡、迟滞的、依时间和速率而变化)分子间相互作用的重要性的不断深入鉴赏和认识,涌现出诸如复杂流体、软物质、纳米科学、纳米技术、纳米结构材料和仿生系统等新的学术用语。而今精湛的实验技能和强大的计算机使得高度复杂体系的研究和分析成为可能。这一趋势在中国尤为明显,各层次的中国研究人员包括学生、科学家和工程师等均在这些领域中作出日益重要的贡献。因此,我很荣幸 *Intermolecular and Surface Forces* (3rd Edition) 将第一次以中文形式出版,同时我也非常感谢王晓琳教授(及其团队)为这本书中文版所作出的精彩翻译。

Jacob Israelachvili

译者序

《分子间力和表面力》是美国加州大学教授伊斯雷尔奇维利先生的成名作,第一版发行于1985年,第二版发行于1991年,时隔20年后的2011年,第三版终于与期盼已久的读者见面了。在过去的近30年,该书一直是英文科技图书销售排行榜经久不衰的畅销书籍,无可非议是当今国际胶体与界面科学研究领域的经典之作。

本书尽可能采用数字、方程式或简易数学推导,以及直观明了的图表,详细阐述、解释和演绎了物理学、化学、化学工程学及生物学等学科领域与“分子间力和表面力”密切相关的诸多现象,以及过去50多年在“分子间力和表面力”理论基础和应用研究方面所取得的巨大进展。本书分为三个部分,第一部分论述原子和分子间力,第二部分论述粒子和表面间力,第三部分论述自组装结构和生物系统。

在本书第三版中译本即将出版发行之际,译者特别请原著作者伊斯雷尔奇维利先生提供他的生平传记,让读者通过本书了解和掌握分子间力和表面力的同时感受学术大师的精彩人生。伊斯雷尔奇维利先生被誉为表面力研究领域的世界第一人,他通过关注和研究“水”,成功开发了直接测量液体或蒸气中表面力的实验仪器,发表了许多耐人寻味的研究结果。作为胶体科学的主要课题——液体中固体表面间相互作用力或作用能的研究,一直借助于带有经典唯象论色彩的DLVO理论得以开展。早期在将基于经验规律的胶体学提升至科学层面的过程中,毋庸置疑DLVO理论作出过巨大贡献,而今若想借助于DLVO理论获得正确理解和认识复杂胶体分散相体系中各种各样现象的指导方法,不免有隔靴挠痒之感。表面力的直接测定以及基于该结果的分子水平解释给胶体与界面科学带来新曙光,就好像是胶体与界面科学的文艺复兴,而本书的问世则是这场文艺复兴的开幕式。以表面力分子理论为基础构筑的新的胶体和界面科学,不仅限于简单胶体分散体系的基础研究,而且拓展至通过开发新材料发展尖端技术的各种应用研究,进而适用于生物系统对细胞表面的分子识别、细胞间相互作用等的深刻理解,在医学和生物技术领域发挥越来越重要的作用。

先后担任“胶体与界面科学”研究生课程的助教和我的研究生们:丁宁、涂丛慧、信宇轩、庞博、王大新、李大蔚、尚伟娟、方彦彦、李倩、刘天印、马恒宇、肖燕等都为本书的翻译、整理及校对付出了辛勤劳动,张强博士、赵雪彬博士参与了部分章节的校对工作,在此表示由衷的感谢。最后,还要衷心地感谢科学出版社的朱丽编辑对本书给予的大力支持和帮助,若没有她的助力,本书不能如此顺利地与读者

见面。

译者在日本东京大学留学期间于生协书店购买本书第一版日文版至今已经过去二十多年,采用本书作为主要教科书于 2003 年开始面向清华大学全校研究生讲授“胶体与界面科学”课程至今也有十多年,深感自己对本书所涉及学科的基础理论和应用研究方面的理解和认识存在严重不足,导致翻译过程中难免出现错误或不妥之处,恳请读者予以批评指正。

王晓琳

2014 年 6 月于北京清华园

第三版序

对《分子间力和表面力》的前两版进行再版不是一件容易的事情,因为这个领域无论是在理论基础还是在应用研究等方面都已取得了巨大突破,进入了新的层面,涌现出诸如复杂流体、软物质、纳米科学、纳米技术、纳米结构材料、生物仿体和生物启发系统等许多新名词。随着对动态(非平衡、依时间和速率而变化)相互作用理解的不断深入,目前可以在多重尺度下实现对生物体系解析和仿真研究。对于高度复杂体系,可以通过引入复杂实验手段和高效计算机技术来进行深入的分析和研究。目前最新的计算机技术能够准确地对复杂体系进行模拟,甚至能够在对过程缺乏实质认识的情况下(传统意义上的),也可以推导出新的公式。

本书第三版包含了表面力和分子间力研究方向的最新成果,并将相关内容扩展到涉及分子间力的新领域,诸如摩擦、润滑、(非平衡)动力学相互作用等。其目的依然是提供基础的物理学观点和用于计算或估量将基础科学与实际或者工程应用联系起来的多种相互作用的数量级的简明理论方法。本书的重点集中在对各种现象都适用的基础研究,而不是某个特定的体系或者时下某些热门的议题^①。

此版增加了穿插在各章中的例题,同时也增加了章末习题的数量。通过这些例题,可以从数学和概念两个方面,来理解解决问题的途径,而不是简单地将数字代入公式进行计算。每章后面的问题与讨论也类似,只不过它们可能更灵活,或者具有开放式的答案,它们也可以理解为是用来讨论的。较难的问题都用“*”加以标记,且大多数问题均给出了相应的答案但没有求解过程。

在准备出版第三版的过程中,得到了很多人的帮助。在此非常感谢 Erika Eiser、Suzanne Giasson、Yu Tian、Eric Kaler、Joe Zasadzinski、Dan Schwartz、William Ducker、Marjorie Longo、Hongbo Zeng、Carlos Drummond、Stefan Karpitschka、Tonya Kuhl、Uzi Landman、Mark Robbins、Patricia McGuiggan、Kai Kristiansen、Roger Horn、Hugo Christenson、Yuval Golan、Xavier Banquy、Travers Anderson、Wren Greene、Malte Hammer、Jing Yu、Nataly Belman、Hernan Makse、Swapn Ghosh、Ayao Kitahara、Brian Vincent、Phil Pincus 和 Dov

^① 发展变化的一个范例即今天的“热门”议题其实也可以看成是一个逐渐没落的话题。

Levine。特别感谢 Marina Ruths 对本书进行通篇精读并且给出详细的批注，Nancy Emerson 帮助整理文稿和参考文献，Dottie McLaren 编辑例题，以及 Trudi Carey 提供大力支持。

于加利福尼亚 圣巴巴拉

2009 年 12 月 29 日

第二版序

自 1985 年本书第一版面世以来,这一交叉领域在实验与理论研究方面都取得了巨大的新进展。人们不仅弄清了一些“旧”力的本质,而且发现了一些“新”力的本质。这一学科已经发展为化学、物理学和生物学中一个具有明确界限、自成一体的研究领域。目前许多大学课程通常都包含了材料的分子和表面相互作用的教学内容。在实际应用方面,人们正试图基于基础知识水平去理解和控制大量工业和化学工程过程。正是由于这些新进展以及众多同事对第一版的反馈意见,促成了本书再版。

第二版基本上可以说是在第一版基础上进行更新的,其中包含了 100 多个问题。这些问题大部分列于各章最后,小部分被作为例题穿插在各章中,使得本书更适合作为高年级本科生或研究生的教材。而且这些问题有助于激发灵感,它们有的来源于真实的研究问题,有的非常复杂,有的是朝着本书更为前沿领域的延伸,还有的具有开放性的答案,可以引发读者进一步的阅读、讨论甚至发散性的思考。

本书还增加了以下领域的最新进展:表面力测量、溶剂化力及结构力、水合力及疏水作用、离子相关力、热涨落力以及聚合物熔体和溶液中的粒子与表面之间的相互作用。

在第二版的写作过程中,参考了诸多同事对第一版提出的建议,在此表示衷心感谢。同时要特别感谢 Hans Lyklema、Håkan Wennerström、Jacob Klein、Helen Vydra 和 Josefin Israelachvili 为本书所做的录入工作,Dottie McLaren 为本书描绘多幅插图,妻子 Karina 对我的工作长期以来的支持,以及我的学生们,虽然没有以书面的形式表达,但他们课堂中的问题是对本书再版贡献最多的。

于加利福尼亚 圣巴巴拉

1989 年 10 月 24 日

第一版序

分子间力与物质的所有形态紧密相关,但目前只有极少数大学开设了涵盖该重要学科所有方面的课程。本书旨在对分子间力与表面力进行全面而系统的介绍,描述它们对诸如气体、液体和固体等简单体系以及某些很有趣且复杂体系的性质所起到的决定作用。即不仅是在简单的液体或固体体系,而且是在液体或蒸气中发生相互作用的无数溶解性溶质分子、小分子聚集体或宏观颗粒体系,其中存在的分子间力与表面力,从根本上决定了生活中所有事情的行为和性质,如土壤、牛奶与奶酪、涂料与墨水、黏合剂与润滑剂、许多技术过程、清洁剂、胶束、生物分子与膜,乃至我们自身:我们每个人就是一个约含 75% 水分的大生物胶体体系,即活的有机体。

该学科涉及物理学、化学、化学工程学及生物学领域中的诸多现象,并在过去的 15 年里取得了巨大进展。这些进展既可以从各自学科角度进行分述,亦可以在广义的多学科框架下加以综述。本书采取后一种途径,试图通过对各种各样的、表面上看起来似乎不相关联的现象进行实例分析,从而给出分子间力与表面力是如何发挥其作用的一般性描述。

由于本书涉及题材广泛和学科交叉,因此读者应具有“分子科学”的一些基本知识,包括物理学(能量、力和静电学的基本概念)、化学(基础热力学和量子力学)以及数学(代数和初等微积分)。实际上,本书中数学和理论推导都采取简单和通俗易懂的方式,矢量都被省略掉了。绝大多数公式都是依据最基本的原理推导而来,随后通过例题说明它们如何应用于特定情形。对于较复杂的公式,不仅限于表达,而且有详细的解释和演绎。

由于篇幅有限,本书难以对每个主题都进行详尽而严谨地介绍,因此有些主题内容相对于该领域的专家而言难免有浅薄疏漏之处。

本书共分为三部分。第一部分论述原子与分子间的相互作用;第二部分论述“刚性”粒子与表面间相互作用;第三部分则论述溶液中“柔性”分子聚集体,比如胶束(表面活性剂分子聚集体)和生物膜(脂质和蛋白质聚集体)等的相互作用。当然在每个部分中所涉及的相互作用力的本质是相同的,但笔者相信本书很好地论述了这些力在作用方式上的显著差异。

本书力图深入浅出地描述有关分子间力的理论与概念,使读者在处理某个具体体系时能分析出哪种力是重要的,并正确运用本书中的相关理论来解决实际问题(研究或其他)。本书也可供高年级本科生、研究生和一般研究人员阅读。

在此由衷地感谢 Derek Chan、David Gruen、Bertil Halle、Roger Horn、Stjepan Marcelja、John Mitchell、Håkan Wennerström 和 Lee White, 他们不仅认真阅读了本书而且对本书的改进提出了许多宝贵建议。还要感谢为本书录入文稿的 Diana Wallace, 为本书描绘多幅插图的 Tim Sawkins。最重要的是, 感谢我的妻子 Karina, 没有她长久以来的支持和鼓励, 本书将无法与读者见面。

于澳大利亚 堪培拉

1984 年 10 月 24 日

Jacob Israelachvili 传记^①

早期岁月,1944~1971 年(以色列和英国)

1944 年 8 月, Jacob Israelachvili 出生于以色列特拉维夫市, 是波兰人和乔治亚人的后裔。7 岁时, 父母送他到英格兰布赖顿两位堂亲那里的寄宿学校求学。“在那个时代, 如果你能够负担得起, 这里有全欧洲最好的教育。”Israelachvili 很好地适应了寄宿学校的学习生活和英语学校体系, 这样的体系鼓励学生尽早选择特定的学科, 而 Israelachvili 选择了科学。“从那时起我已经知道我内心希望从事物理或者工程研究,” 他说, “年幼时, 我总是利用棍棒和石块来制作物品, 因为当时我们还没有乐高、麦卡诺或者建造模型。”

当完成中等教育之后, Israelachvili 返回以色列完成其义务兵役。随后怀着对英式教育的更多渴望, 他考入了剑桥大学, 学习物理学并获得自然科学优等考试项目资格, 该项目要求学生在确定专业之前学习多门类的科学知识。在 1968 年获得学士学位之后, 他继续在剑桥大学卡文迪许实验室从事研究工作(博士), 导师是著名的实验表面物理学家 David Tabor。

“Tabor 对我有着难以用语言描述的深远影响,” Israelachvili 说, “因为这种影响更多是精神上或者是潜意识上的。”他回忆, Tabor 采取了苏格拉底式的方式来培养学生, 培养他们的独立性, 并且以问题的形式引导他们而不只是告诉他们如何去做。更为重要的是, Tabor 从来没有强制性地影响学生。“现在看来这种方式似乎并不新鲜, 但是在当时欧洲各类学校中教授们曾经有这样的共识, 如果你有位著名的教授作为导师, 他课题组的所有人都会是他的某种信徒,” 他说, “他们必须相信他所相信的, 但是 Tabor 不是这样的。”

在 Tabor 指导下, Israelachvili 的博士课题是测定表面间的范德华作用力, Israelachvili 构建了一套装置, 其可以测定空气中最低间距为 $15 \text{ \AA}$ 的表面间的相互作用力, 该装置测量精度达到了埃级。这是开创性工作, 使得测量首次能够达到该尺度范围和测量精度。Israelachvili 的装置最终被命名为表面力仪(surface force apparatus, SFA), 成为测量表面间引力和斥力的一种有价值的工具。“但是在当时它还没有名字。它仅仅是我为了得到博士学位而制作的工具。”他说。他从来没有想到之后许多人想要使用这个装置和它的衍生品, 他也从未想到他将因此被授予多项专利。

^① 部分素材源自不同科技期刊的采访。

中期岁月, 1972~1985 年(英国、瑞典、澳大利亚)

在接下来的几年, Israelachvili 没有运用先前发展的技术, 因为他走上了一条不同的研究道路, 以适应他所接受的严格的自然科学优等教育。1971 年获得博士学位之后, Israelachvili 继续留在卡文迪许实验室从事了为期两年的博士后研究, 领域为材料摩擦和剪切强度。之后, 他去了瑞典的斯德哥尔摩大学担任欧洲分子生物学组织(EMBO)研究员。在斯德哥尔摩, 他开始从事生物磷脂中脂质分子运动方面的研究, 转向了生物物理学领域。研究领域的转换不是他自愿的选择, 而是受迫于资金因素和其他外部因素。“但是现在回头看,”他说,“这是非常美妙的, 因为这些年是我的成长岁月, 我非常庆幸没有在整个生涯中只做同样的事情。”

1974 年, Israelachvili 前往澳大利亚国立大学开始第三个博士后研究。在那里他回归其早期表面力方面的工作, 只是从空气环境转向液体环境, 这灵感源自关于水性质的不寻常发现, 当时对于水性质的研究方兴未艾。“水似乎陷入了这样一个循环: 人们时常会说水具有神秘的或者奇怪的性质。冷聚变就是这样一个例子, 此外水具有记忆能力的观点(‘记忆水’)也是类似案例。当时关于聚合水存在广泛的争论,”他说。“聚合水的故事源自 20 世纪 60 年代, 由苏联科学家 Boris Derjaguin 提出: 如果水被加热, 然后通过石英毛细管, 水将凝结形成比液态水更加稳定‘聚合’状态”, 呈现出令人惊讶的性质。如果操作合适, 水可以在室温条件下形成凝胶甚至固体。”Israelachvili 说。

因为似乎是水的表面力诱导这个现象, Israelachvili 决心研究和设计新的表面力仪来测量液体中表面间(最初是云母)相互作用力。当时研究者仅仅能够(直接)测量真空或者空气中的力。但是 Israelachvili 研究发现在这些所谓的特殊条件下, 水表现得更像正常的液体。很快, 其他持怀疑观点的研究者发现了“不光彩”的事实: 观察到的所有与聚合水相关的水性质的变化仅仅是由于有机和无机物质污染所致, 例如毛细管表面脱落的硅胶。

这些早期的测试很快引领了一系列测量不同液体中不同表面间作用力的实验。除了水之外, 其他液体也被用于测试, 对于每种液体, 诸如溶质浓度和温度等不同参数的改变将有助于识别作用力微小的变化。当时 Israelachvili 关注这个领域的快速发展, 计算机模拟变得非常强大, 例如蒙特卡罗和分子动力学模拟, 足以用于处理复杂流体间相互作用。当他继续这些研究时, 他很自然地着眼于生物相关表面, 例如受体-配基或者抗原-抗体相互作用, 这增加了额外的复杂性。“与非生物胶体系统相比, 现在表面不再具备对称性,”他说,“并且存在全新类型的相互作用, 例如生物特异性相互作用。”

一组特殊的测量催生了有相当深远影响的研究。在 1980 年, 与同事 Roger Horn 合作, Israelachvili 测量了表面间振荡力, 该力是由吸附在表面上的溶剂结构所导致(有序或者层状结构)。这些力依据溶剂分子尺寸的改变而周期性地从吸引

力向排斥力转变。但是在意识到所观测到的事实之前,Israelachvili 和 Horn 用了相当长的时间来测量这些作用力。“就像英国谚语所说,‘硬币的降落需要时间’。”他说,“我们从各处获取数据,但是它没有任何意义。我们认为表面存在污染层,但是并没有任何迹象。最终我们发现了它,你可以得到由分散的点组成的连续的和有意义的图。”Israelachvili 和 Horn 希望他们的数据能够遵从线性或者曲线,但是他们(起初)没有意识到衰减正弦波可以完美地拟合数据。“这是令人震惊的发现,”Israelachvili 说,他现在仍然无法相信这耗费如此长的时间才意识到这个明显的结果,“但是它也让我意识到,即便是我认为在观测中没有丝毫偏见,但是事实上我还是具有如此的科学偏见。”

美国时期,1986 年至今(加州大学)

液体中表面力的研究深深地吸引了 Israelachvili。起初他只打算在澳大利亚生活 2~3 年,但是实际上他在那里整整生活了 12 年。当他两个女儿逐渐长大,他的家庭面临抉择。“我们考虑‘是否应该永久地生活在这里?’澳大利亚是个很棒的地方,这里的生活非常舒适,但是太隔离了。”他说。他们起初计划返回欧洲,并且 Israelachvili 开始寻找职位,但是很快他的意愿发生了改变,加州大学圣巴巴拉分校(UCSB)提供了教职。加州大学圣巴巴拉分校正在扩充其工程系,并且希望 Israelachvili 能够加入该团队。“当我得知该消息时,我说‘但是我并不是一位工程师’,而他们说‘嗯,你就是一位工程师!你已经从事了在美国所被认可的工程方面的工作。’”他同意访问加州大学圣巴巴拉分校,那里的院系和所引进的高质量教职人员给他留下深刻的印象,当然他也被那里适宜的天气所吸引。MIT 著名生物物理学家 George Benedek 也影响了他,Benedek 告诉他:“通过学习物理,你已经获得了坚实科学基础;现在是离开物理并将你所学应用到其他领域的时候了。”因此,1986 年 Israelachvili 加入加州大学圣巴巴拉分校化学工程系和材料项目组——该项目组很快发展成为材料系。

来源于欧洲和澳大利亚的背景,Israelachvili 承认他对美国科研和基金系统感到有点儿惊奇。“我对此依然感到震惊,”他说。“其一是这里更像是一个企业。”当时在欧洲和澳大利亚,研究所或者大学通常从机构内部获得大量的资助,但是在美国,Israelachvili 现在不得不申请他自己(外部)的基金。尽管这个过程增加了不确定性,有种成败全靠自己的感觉,他很快发现其提供了更加合作的氛围,这是预想不到的。“我可以自由地与其他教授合作,因为我们不会为同一个基金而彼此竞争,”他说。“然而在我曾经工作过的其他地方,所有的都是内部的,你知道如果你得到更多的资助,那么走廊中就有其他人没有得到。”尽管美国系统中无需提供更多的资金担保,但是其给出了更多承诺。“在这里,人们有点限制,但更多的是无拘无束。而在其他地方,存在清楚的限制。”他说。