哲人石丛书 Philosopher's Stone Series
当代科技名家传记系列



旷世奇才
巴丁传

Lillian Hoddeson
Vicki Daitch

TRUE GENIUS

THE LIFE AND SCIENCE OF JOHN BARDEEN

莉莲·霍德森 维基·戴奇 著
文慧静 沈衡 译

上海科技教育出版社

世纪出版

哲人石丛书 Philosopher's Stone Series
当代科技名家传记系列

旷世奇才
巴丁传

孤独的科学之路
钱德拉塞卡传

避孕药的是是非非
杰拉西自传

为世界而生
霍奇金传

展演科学的艺术家
萨根传

人生舞台
阿西莫夫自传

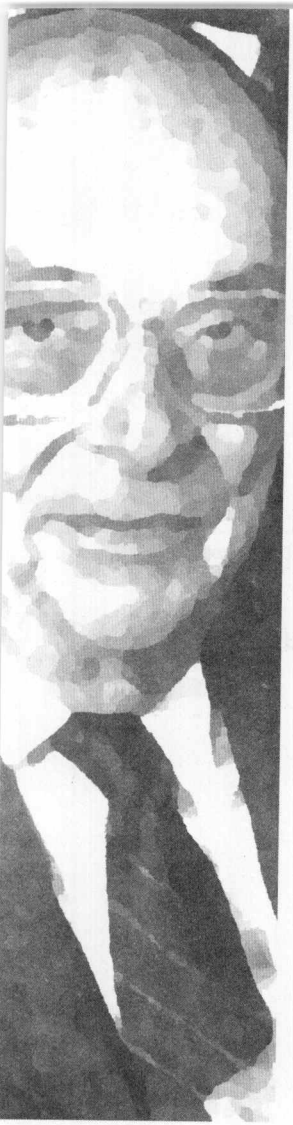
奇异之美
盖尔曼传

知无涯者
拉马努金传

逻辑人生
哥德尔传

突破维数障碍
斯梅尔传

上架建议：自然科学总论
ISBN 978-7-5428-4362-3
9 787542 843623 >
易文网：www.ewen.cc
ISBN 978-7-5428-4362-3/N·717
定价：39.50 元



哲人石丛书 Philosopher's Stone Series
当代科技名家传记系列

旷世奇才

巴丁传

莉莲·霍德森 维基·戴奇 著
文慧静 沈衡 译

上海科技教育出版社

True Genius:
The Life and Science of John Bardeen
by
Lillian Hoddeson and Vicki Daitch
Copyright © 2002. First published in English by Joseph Henry Press,
an imprint of the National Academies Press. All rights reserved.
This edition published under agreement with the National Academy of Sciences.
Chinese (Simplified Characters) Trade Paperback copyright © 2007 by
Shanghai Scientific & Technological Education Publishing House
Licensed by Joseph Henry Press, an imprint of the National Academies Press.
上海科技教育出版社业经 Joseph Henry Press, an imprint of the National Academies Press
授权取得本书中文简体字版版权

责任编辑　姚宁　侯慧菊　装帧设计　汤世梁

哲人石丛书

旷世奇才
——巴丁传

莉莲·霍德森　维基·戴奇　著
文慧静　沈衡　译

上海世纪出版股份有限公司
上海科技教育出版社　出版发行
（上海市冠生园路393号　邮政编码200235）
网址：www.ewen.cc　www.sste.com
各地新华书店经销　丹阳教育印刷厂印刷
ISBN 978-7-5428-4362-3/N·717
图字 09-2004-361号

开本 850×1168　1/32　印张 15.875　插页 6　字数 410 000
2007年7月第1版　2007年7月第1次印刷
印数 1-5 000　定价：39.50元

图书在版编目(CIP)数据

旷世奇才:巴丁传/(美)霍德森(Hoddeson,L.),(美)戴奇(Daitch,V.)著;文慧静,沈衡译.—上海:上海科技教育出版社,2007.7

(哲人石丛书.当代科技名家传记系列)

ISBN 978-7-5428-4362-3

Ⅰ.旷… Ⅱ.①霍… ②戴… ③文…④沈… Ⅲ.巴丁(1908~1991)—传记 Ⅳ.K837.126.11

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第032694号

约翰·巴丁(John Bardeen),一个现代物理学的巨人,20世纪物理史上杰出的英雄。他所从事的创造性工作,使他成为唯一一位两度获得诺贝尔物理学奖的科学家。

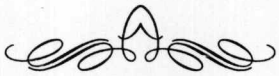
如果没有巴丁获得第一次诺贝尔奖的发明——晶体管,那么给我们带来台式电脑、巨型计算机和微电子的电子革命或许至今还只是科幻小说的素材;他的第二个伟大突破——多年以来一直让爱因斯坦、费恩曼和许多科学家感到困惑的超导理论,有望革新20世纪的科技,如高速磁浮列车、超级原子对撞机以及其他非凡的科技奇迹。

巴丁取得了巨大的成就,跟爱因斯坦、费恩曼等一样对我们的文明产生了深远影响,但这个来自美国中西部、态度谦和的人却常常被媒体和公众所忽视,只因他与公众眼中的天才形象截然不同。他不喜欢上镜,没有古怪无礼或与众不同的性格。在这个古怪和出格的个性被看作是天才和创造力特征的时代,巴丁默默无闻。

本书通过对巴丁的科研工作以及生活经历的全面考察,以全新的视角,为我们展示了一个鲜活而充满魅力的旷世奇才的形象。

莉莲·霍德森(Lillian Hoddeson),美国哥伦比亚大学固态物理学博士,伊利诺伊大学历史学教授,美国物理学会会员。在过去的30年间,她主持了400多场和科学人士的访谈节目,发表了50多篇学术论文,编辑和出版了7部专著。她主编的《走出晶体迷宫》详细而系统地探讨了固态物理学的发展,而《致命的组合》则是第一本关于原子弹的科技史著作,她与迈克尔·赖尔登(Michel Riordan)合著的《矽晶之火:晶体管的发明和信息时代的诞生》出版后备受公众瞩目。

维基·戴奇(Vicki Daitch),伊利诺伊大学历史学博士,她在新罕布什尔技术学院任教,兼任当地爱护动物协会(SPCA)行为学顾问。



哲人石丛书

立足当代科学前沿

彰显当代科技名家

绍介当代科学思潮

激扬科技创新精神

策 划

潘 涛 卞毓麟





父母是约翰·巴丁最早也是最重要的导师。上左图：埃尔希娅教他如何破解问题，这也是她在同查尔斯·巴丁结婚之前，在芝加哥那所进步的杜威学校对学生们强调的一种方法。上右图：约翰·巴丁在1909年还是一个初学走路的孩子。下图：威斯康星大学医学院主任查尔斯·R·巴丁一家。从左到右：约翰的妹妹海伦，他的祖父、教育学家查尔斯·W·巴丁，查尔斯·R·巴丁和坐在前排的小儿子汤姆，威廉，埃尔希娅和约翰。

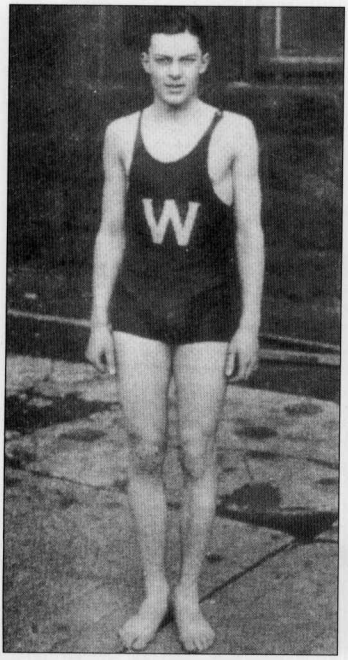


注：所有照片均来自巴丁的家庭影集，括号内专门注明的除外。



右图：17 岁的约翰·巴丁是威斯康星大学工程系的学生。

下左图：巴丁的游泳技能使他成为威斯康星大学的荣誉运动员，尽管他比大多数的队友都年轻。（麦迪逊威斯康星大学档案馆）

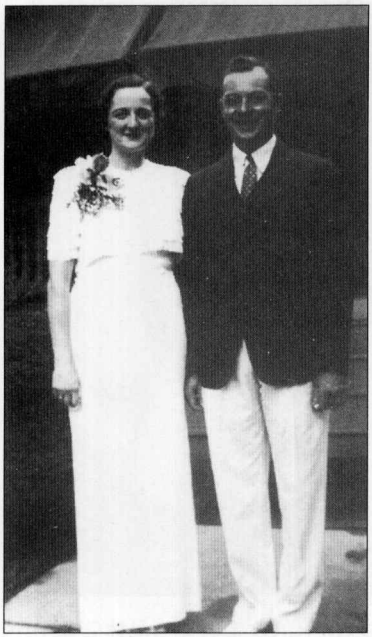


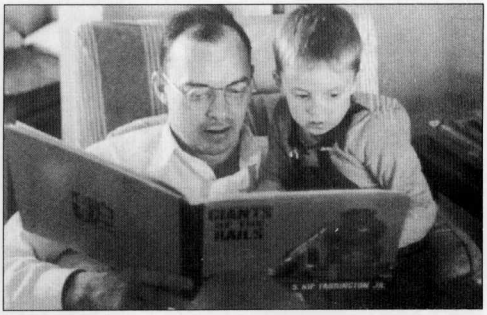
左图：当约翰在威斯康星大学读工程系的时候，约翰·范弗莱克把量子物理学介绍给了他。范弗莱克后来支持巴丁在普林斯顿大学、哈佛大学、明尼苏达大学以及其他地方从事物理学研究。（美国物理协会埃米利奥·塞格雷视觉档案馆，弗朗西斯·西蒙收藏）



下图：巴丁的论文导师维格纳，他在普林斯顿大学（1932~1936）最早的三个研究生——弗莱德·塞茨、约翰·巴丁和科尼尔斯·赫林——是第一代的理论物理学家，他们自称为固态物理学家。（美国物理协会埃米利奥·塞格雷视觉档案馆，《今日物理》收藏）





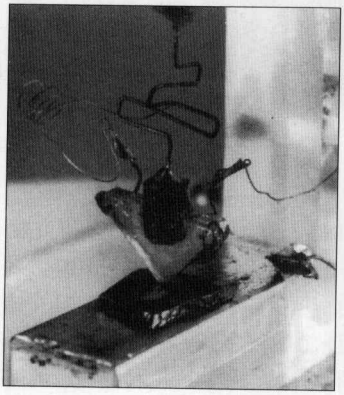


左图:1938 年 7 月，约翰·巴丁和他的新娘简·马克斯韦尔在巴丁行将结束哈佛初级研究院（1935~1938）的学习时拍的结婚快照。他在明尼苏达大学的物理生涯因为华盛顿特区的战时工作而被缩短，在这一紧张的时期，（上右图）他经常给比利读有关“火车的书”，比利还记得其中的每一个词。



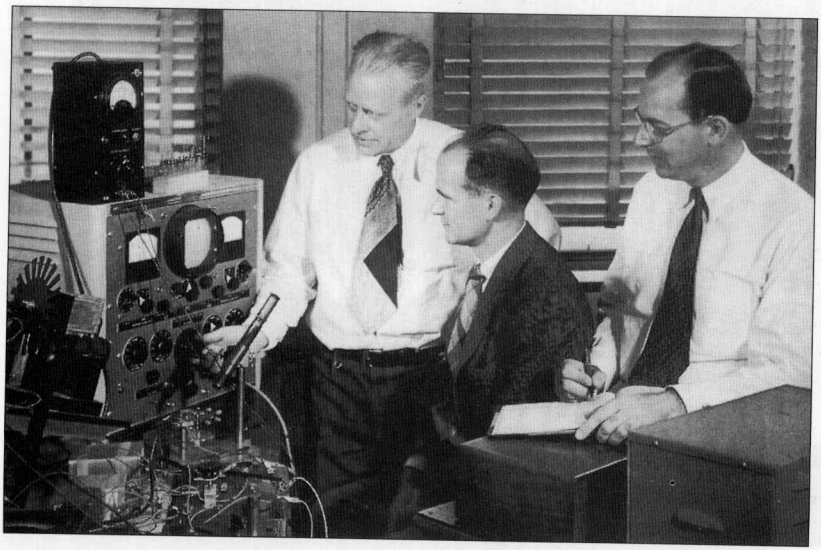
上图:1945 年末，巴丁进入贝尔电话实验室工作，他在威廉·肖克利的领导下在一个半导体小组工作。1947 年夏天，肖克利和巴丁参观了欧洲的物理实验室，以赶上欧洲最新的科研水平。这是在攀上阿尔卑斯山后，肖克利为巴丁拍摄的照片。

下图：第一个晶体管，1947 年 12 月，沃尔特·布喇顿和巴丁发明的点接触设备。



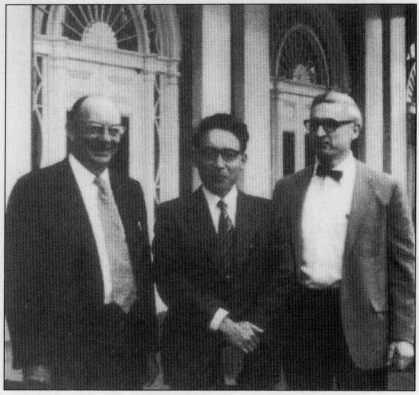


上右图：贝尔实验室经常用刊登在《电子学》杂志封面上的这张照片为晶体管作宣传。肖克利坐在实验室的工作台上，巴丁和布喇顿则在一旁观看。布喇顿痛恨这张照片。本应该用下面的这张照片——布喇顿操纵设备，巴丁记录数据，肖克利在一边观看。这是对晶体管发明的更为准确的描述。（本页的所有照片都得到朗迅科技公司贝尔实验室的许可）

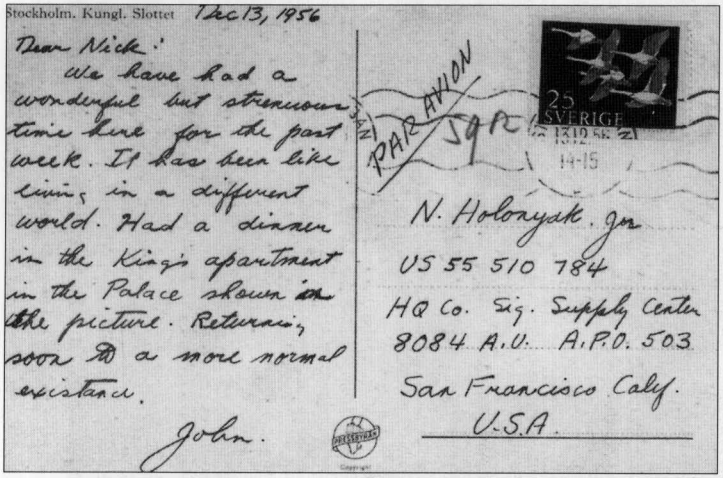




左图：1956 年，巴丁接受因和肖克利、布喇顿一起发明晶体管而获得的诺贝尔物理学奖，布喇顿在他后面等待领奖。



上右图：在伊利诺伊大学校园学生联合会大楼前的合影。（从左到右）巴丁、索尼公司的菊池真琴以及巴丁的第一个博士研究生尼克·哈隆雅克。1990 年，索尼公司以巴丁的名义为该大学捐赠了 300 万美元教席。（尼克·哈隆雅克）

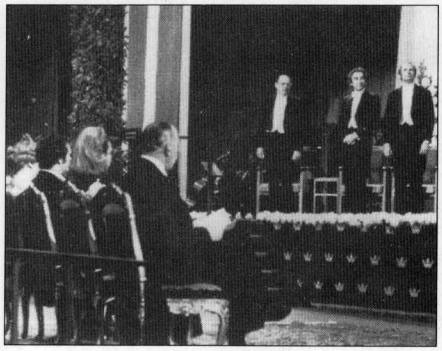


上图：巴丁从斯德哥尔摩寄给他以前的学生尼克·哈隆雅克的明信片。注意上面的“existance”（存在）是拼写错误，应该是“existence”。巴丁声称这是由于他小学跳级的缘故。（尼克·哈隆雅克）



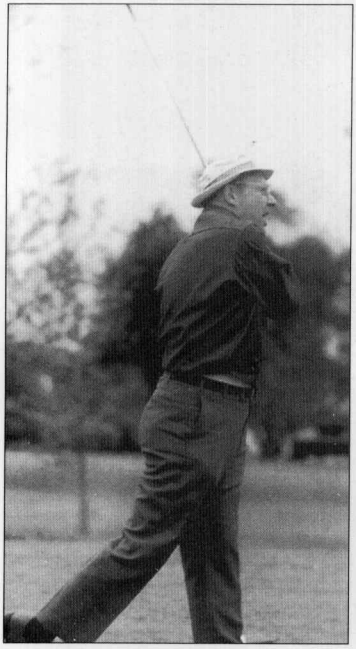
左图:1972 年,斯德哥尔摩,巴丁同施里弗和库珀一起因为建立超导性理论而再次获得诺贝尔物理学奖。

下图:1972 年,巴丁、库珀和施里弗在诺贝尔颁奖仪式上。



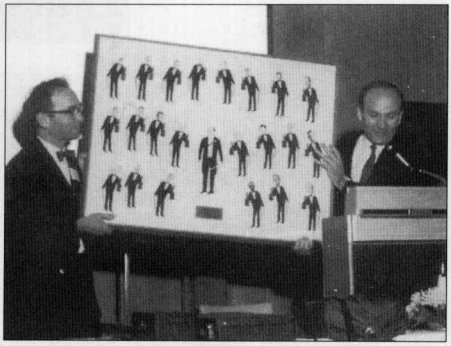
下图:约翰、简同孙女凯伦·巴丁和孙子查克·巴丁一起分享盛事。简一直后悔在巴丁于 1956 年第一次获诺贝尔奖时没有带她的孩子们去斯德哥尔摩。



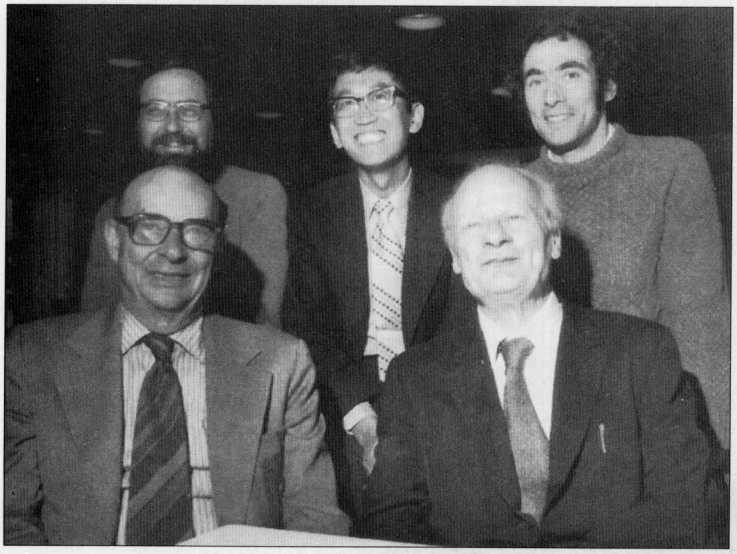


左图：巴丁是个狂热的高尔夫球高手。在从事研究和充当顾问的旅行中，只要有可能，他就去打高尔夫球。

下图：保罗·汉德勒（左）和施里弗用一张“超导体”（Superconductor）拼贴画来表现巴丁是学生们这个“大型合唱团”的“超级指挥家”（superconductor）。施里弗在1968年巴丁六十寿辰之际献上了这幅拼贴画。



下图：伊利诺伊大学物理系的理论物理学家同汉斯·贝特一起合影。前排左是巴丁，后排从左到右分别是佩锡克、张绍进和戈登·贝姆。（戈登·贝姆）

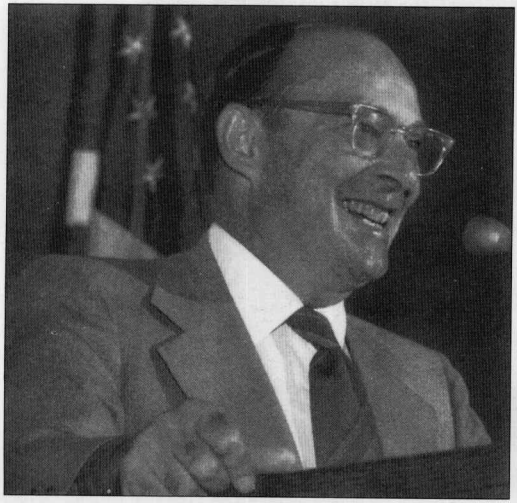


右图：巴丁展示他那具有历史意义的音乐盒，其内部装有独创性的点接触晶体管。





上图：巴丁在伊利诺伊大学的办公室，他几乎每天都在这里工作，即便在 1975 年退休后也是如此。



左图：约翰·巴丁，一个美国天才。

对本书的评价

约翰·巴丁是20世纪最重要和最多产的物理学家之一，足以与玻尔和费恩曼等相提并论，但是人们却很少知道巴丁这个名字。在这部资料详实、充满趣味的传记中，作者抓住了这个温文尔雅的天才的真正本质。

——迈克尔·赖尔登(Michael Riordan)
《捕捉夸克》作者，《矽晶之火》的合著者

如果我们认为科学知识是21世纪的关键，那么本书可以看作是我们时代最为重要的著作之一。霍德森和戴奇撰写了一部传记杰作。它不但为我们讲述了一个科学天才的创造性工作，还让我们明白了人类的价值、力量和品质。正是这些东西，引导、调节并最终决定这位非凡的智者取得成功。

——利昂·M·莱德曼(Leon M. Lederman)
诺贝尔物理学奖得主

20世纪最敏锐、最鼓舞人心的描写。这一优秀传记重新定义了这位旷世奇才。

——张纯如(Iris Chang)
《南京大屠杀——被遗忘的"二战"浩劫》的作者

这是一本文笔流畅的传记。讲述了颇有争议的美国最著名的物理学家约翰·巴丁的个人和科学生活。他发明的晶体管开创了现代电子学，奠定了现代科技的基础。之后，他又解决了让许多著名物理学家困惑的超导问题。

——汉斯·贝特(Hans Bethe)

诺贝尔物理学奖得主，康奈尔大学荣誉教授

内容提要

约翰·巴丁(John Bardeen, 1908～1991),一个现代物理学的巨人,20世纪物理史上杰出的英雄。他所从事的创造性工作,使他成为唯一一位两度获得诺贝尔物理学奖的科学家。

如果没有巴丁获得第一次诺贝尔奖的发明——晶体管,那么给我们带来台式电脑、巨型计算机和微电子的电子革命或许至今还只是科幻小说的素材;他的第二个伟大突破——多年以来一直让爱因斯坦、费恩曼和许多科学家感到困惑的超导理论,有望革新20世纪的科技,如高速磁浮列车、超级原子对撞机以及其他非凡的科技奇迹。

巴丁取得了巨大的成就,跟爱因斯坦、费恩曼等一样对我们的文明产生了深远影响,但这个来自美国中西部、态度谦和的人却常常被媒体和公众所忽视,只因他与公众眼中的天才形象截然不同。他不喜欢上镜,没有古怪无礼或与众不同的性格。在这个古怪和出格的个性被看作是天才和创造力特征的时代,巴丁默默无闻。

本书通过对巴丁的科研工作以及生活经历的全面考察,以全新的视角,为我们展示了一个鲜活而充满魅力的旷世奇才的形象。

作者简介

莉莲·霍德森(Lillian Hoddeson),美国哥伦比亚大学固态物理学博士,伊利诺伊大学历史学教授,美国物理学会会员。在过去的30年间,她主持了400多场和科学人士的访谈节目,发表了50多篇学术论文,编辑和出版了7部专著。她主编的《走出晶体迷宫》(Out of the Crystal Maze),详细而系统地探讨了固态物理学的发展;而《致命的组合》(Critical Assembly)则是第一本关于原子弹的科技史著作;她与迈克尔·赖尔登(Michel Riordan)合著的《矽晶之火:晶体管的发明和信息时代的诞生》(Crystal Fire: The Invention of the Transistor and the Birth of the Information Age)出版后备受公众瞩目。

维基·戴奇(Vicki Daitch),伊利诺伊大学历史学博士,她在新罕布什尔技术学院任教,兼任当地爱护动物协会(SPCA)行为学顾问。

谨以此书献给

简·巴丁(Jane Bardeen)

和

贝特茜·格雷塔克·巴丁(Betsy Gretak Bardeen)

致谢

我们衷心感谢为本书提供帮助的个人和机构。我们深深感谢理查德·劳恩斯伯里基金会(Richard Lounsbery Foundation)自始自终给我们提供主要的经济支持,也特别感谢学生助理们给予我们的经济支持。感谢大学研究部、物理系以及伊利诺伊大学厄巴纳—尚佩恩分校(UIUC)电子工程系、德州电器公司、美国电话和电报公司。感谢威廉·巴丁(William Bardeen)和简·巴丁(Jane Bardeen)慷慨的种子基金,使得我们能较好地构思传记的框架,从而最终能筹集到主要的经费。感谢迪布纳基金(Dibner Fund)给我们提供了二三年级的研究生助手。我们还要感谢阿尔弗雷德·E·斯隆基金会(Alfred E. Sloan Foundation)和UIUC高级研究中心对霍德森第七年的工作给予支持;还要感谢约翰·西蒙·古根海姆基金会(John Simon Guggenheim Memorial Foundation)给霍德森颁发的奖学金,使得她可以在2000年和2001年本书的收尾工作时全身心地投入到对巴丁的生平和科学工作的研究中去。

许多同事和朋友在关键时刻帮助我们。我们特别感谢伊利诺伊大学物理系[本书刚开始撰写时由安德森(Ansel Anderson)任系主任,之后由坎贝尔(David Campbell)和沙利文(Jeremiah Sullivan)先后继任],他们为我们提供了一个家。他们

不断鼓励我们，给我们提出建设性的批评意见，并提供了无数次的帮助。十分感谢巴丁历史委员会的成员给予我们鼓励。他们包括安德森、贝姆（Gordon Baym）、博雷利（Raymond Borelli）、坎贝尔、派因斯（David Pines）以及斯利克特（Charles Slichter），正是他们的鼓励使得这个项目变得如此生动。我们感谢贝姆为我们做了许多巴丁所从事的物理研究的技术解释。说起我们得到的非义务的行政支持，我们感谢现在或曾经在物理系工作过的老师，特别感谢博雷利、基恩（Steve Keen）、奈尔（Steve Knell）、克里斯图纳斯（Joy Kristunas）、拉森（Greg Larson）、莱斯纳（Barbara Leisner）、麦克达菲（Rebecca McDuffee）、凯·纽曼（Mary Kay Newman）、奥斯腾多夫（Mary Ostendorf）、威廉姆斯（Robert Williams）以及赖特（Carolyn Wright）。

我们感谢历史系的支持[我们开始此项目时，斯图尔特（Charles Stewart）任系主任，之后由巴雷特（James Barrett）和弗里切（Peter Fritzsche）继任]，他们允许霍德森腾出教学工作时间为本书出力。我们还要感谢历史系的行政人员和一般工作人员，尤其要感谢科尔克拉修（Sandy Colclasure）、希克斯（Stanley Hicks）以及奥威克（Aprel Orwick）的耐心和不懈的支持。

我们感谢在这些年中帮助过我们研究工作的研究生和本科生，他们帮我们进行采访并转录，收集各种资料并进行分类，对稿件进行编辑，确定参考书目。他们包括卡特（Everitt J. Carter）、德里宾（Andrew Dribin）、埃利奇里格伊特（Fernando Irving Elichirigoity）、福勒（Kristine Fowler）、利莉（Tonya Lillie）、麦克法兰（Cathleen McFarland）、内利根（James Nelligan）、劳斯（Steven Rouse）、赖维克（Nicole Ryavec）、桑迪富特（Glenn Sandiford）、舒巴（Derek Shouba）、蒂尔曼（Joseph Till-

man)以及温策尔(Patricia Wenzel)。利莉不仅帮助我们收集并处理采访资料,还帮助我们确认资料来源并输入资料。此外,在约翰·巴丁晚年整理自己的科学文献时,她还担任过他的助手。她后来同物理系和大学的档案馆一起合作,让那些研究者可以读到巴丁的论文。

我们感谢贾德森(Horace Judson)和赖尔登(Michael Riordan)在本书的关键阶段所做的编辑工作,还要感谢威廉·巴丁、贝姆、塔克(John Tucker)、格吕纳(George Grüner)、哈隆雅克(Nick Holonyak)、赫夫(Howard R. Huff)、米勒(Arthur I. Miller)、塞茨(Fred Seitz)以及其他帮助阅读稿件并提供有益评论的人。感谢巴雷特(Jenny Barrett)与平托(Firmino Pinto)从一次可怕的电脑崩溃中挽救了电子文本。感谢哈佛大学、威斯康星大学、明尼苏达大学、美国电话电报公司、海军地面武器中心以及伊利诺伊大学所有帮助我们确认资料的档案人员。我们要特别感谢伊利诺伊大学的档案管理员布里奇福特(Maynard Brichford)、马厄(William Maher)以及他们的助手,他们帮助我们检索了巴丁的科学论文。

感谢许多为我们提供信件、剪报、照片、其他文献材料以及牺牲自己的时间接受录音采访的个人。遗憾的是,简和格雷塔克(Greytak)没有活着看到这本书的出版;没有她们的洞察力和支持,我们不敢想象能完成这本传记。我们希望对塞茨、哈隆雅克和比尔·巴丁(Bill Bardeen)表示最深切的感激。他们接受了无数次的采访,提供了无数的史实指导以及材料。感谢约瑟夫·亨利出版社(Joseph Henry Press)的编辑罗宾斯(Jeffrey Robbins)英明的建议、鼓励,特别是他的幽默感。

最后要说的是,还要感谢我们深爱的人——莉莲的女

儿卡罗尔(Carol)和儿子贝姆(Michael Baym)、她的丈夫加勒特(Peter Garrett)以及维基的丈夫海勒姆·戴奇(Hiram Daitch)——他们不仅给我们提供了完成这项工作所需的时间和情感支持,还提供了艺术、文学和计算机技术方面的支持。

莉莲·霍德森
于厄巴纳,伊利诺伊州
维基·戴奇
于坎特伯雷,新罕布什尔州
2002 年 5 月

前言

约翰·巴丁于1991年1月突然去世，几周内，为他写一本传记的念头在伊利诺伊大学产生了。大学的物理学家们想方设法保存这位深受爱戴的同事所留下的宝贵遗产。物理史学家莉莲受推举进行口述史访问。这起先是一项荣誉，后来却成了莉莲心甘情愿去做的事情。

几个月后，维基加入了莉莲的工作。维基是给予我们的调查以帮助的十几位历史系研究生中的第一个。她自始至终都参与其中，即便在2000年完成了博士学位之后也是如此。随着传记篇章逐渐成形并在众人之间反复传阅，个人创作的印记逐渐消退，这部作品变成了一项集体的创作。这样的合著在1991年是始料未及的。

原先的计划是做重点放在巴丁的科学贡献上的学术传记。考虑到巴丁从事的物理学研究工作比较复杂，我们经常问自己，我们是不是完成这项艰巨任务的合适人选？经过7年的撰写工作后，我们的工作受到了意外肯定。维基从巴丁留下的文稿中找到了一封布什曼（Jefferson Bushman）写给他的信。此信写于1989年5月，布什曼先生在信中要求巴丁同他合作撰写后者的传记。巴丁婉言谢绝了："我现在并没有写传记的计划，我想当我有时间做这件事的时候，莉莲·霍德森会完成它的。"我们当时开怀大笑。一如巴丁本人的性格，他没

有把这个计划告诉任何人。

我们对此感到高兴，但同时为丧失了一个重要机会而感到难过。如果我们能够更多地了解巴丁对自己的生活以及所从事科学的看法的话，那么我们的工作会受益良多。他或许会引导我们对他在物理学方面所作出的重大贡献进行全面的回顾。但最终，我们只能对他所从事的物理学工作的一小部分进行研究，其余的工作有待以后的史学家来解决。我们痛苦地意识到，这本书只能对巴丁的研究对象隔靴搔痒而已。

我们本应该了解巴丁希望此书能有什么功用。我们十分肯定，他会希望自己的传记能载入他晚年产生强烈兴趣的物理学史。我们相信他一定会为有如此多的读者而感到高兴——包括那些不是从事科学研究的人，因为巴丁关心社会、关心教育，尤其关心年轻人的教育。

对于其传记的第二个目标——解释真正的科学天才的含义，巴丁有可能一开始会感到畏缩。这个特别的目标很迟才出现在我们的工作中。在起草介绍的时候，我们发觉自己在努力解决作家张纯如*早些年在一个大众媒体中提出的问题：为什么这位有史以来第一个在同一领域两度获得诺贝尔奖的科学家，在大众心中只是“哪个约翰”呢？我们认为巴丁之所以不为人知，那是因为他并不符合大众心目中伟大科学家的形象。就此问题，我们会在第一章和最后一章中提出自己的观点。

我们想要了解天才的神话并刻画出巴丁与众不同的形象的努力，开启了几百年以来形成的有关天才和创造力文献的潘多拉魔盒。研究至今还未被书写的天才们的历史并找出大

---

* 张纯如(1968—2004)，别名 Iris Chang，美国华裔女作家。伊利诺伊大学厄巴纳分校新闻学学士、约翰·霍普金斯大学写作硕士，约翰·霍普金斯大学写作研习计划奖学金得主。曾担任美联社、《芝加哥论坛报》记者。著有《美国的华人：一部叙述史》、《中国飞弹之父——钱学森之谜》、《南京大屠杀》等。2004 年 11 月 9 日开枪自杀。——译者

众天才神话的根源，无疑会使人身心俱疲。或许对于这一主题最生动的诠释莫过于19世纪浪漫主义作家玛丽·雪莱(Mary Shelley)的《科学怪人》(Frankenstein)*了。天生具有神赐之力的弗兰肯斯坦博士是一个精神失常的科学家，独自致力于非现实领域问题的研究。他至今仍然是天才的样板。与之相比，巴丁就显得平淡无奇了。我们得知张纯如早先提出要为巴丁撰写传记的提议，遭到了巴丁过于普通、无法引起大多数读者的兴趣的阻力。这一点也不吃惊。但我们并不认同这样的观点。巴丁的生活为每个人带来了深刻的思考。

我们相信，让尽可能广泛的读者了解到真正的天才**和天才神话之间的区别是非常重要的。混淆这两种概念会损害拥有杰出创造力的年轻人前进的积极性。那些年轻人以及那些指导和支持过他们的人，需要了解是什么推动了创造性工作。巴丁的故事有助于使之明晰。因为按照自己主张做事的孩子能很容易地与巴丁建立真挚的关系，我们猜想他或许会认可我们撰写此书的第二个目标吧。

莉莲·霍德森
于厄巴纳，伊利诺伊州

维基·戴奇
于坎特伯雷，新罕布什尔州

---

* 又名《弗兰肯斯坦》，英国作家玛丽·雪莱(1797—1851)1818年发表的一部小说，被视为世界上第一部具备完整科幻小说特征的作品。它讲述的是一个名叫弗兰肯斯坦的科学家在实验室里创造了人、又反为其所害的故事。作品中的怪人，在某种意义上代表着正在发展和渗透人类社会的科学技术，而弗兰肯斯坦(Frankenstein)一词，在英语中已被赋予了一种特定的涵义：自食其果或作法自毙的人。由这个故事所创造的一些原型母题，如科技发展的负面效应、科学对伦理的挑战等，也被后来的科幻小说一再采用。——译者

** true genius，即本书英文原名。——译者

哲人石丛书

第一辑

当代科普名著系列

确定性的终结——时间、混沌与新自然法则 13.50 元
伊利亚·普利高津著　湛敏译

PCR 传奇——一个生物技术的故事 15.50 元
保罗·拉比诺著　朱玉贤译

虚实世界——计算机仿真如何改变科学的疆域 18.50 元
约翰·L·卡斯蒂著　王千祥等译

完美的对称——富勒烯的意外发现 27.50 元
吉姆·巴戈特著　李涛等译

超越时空——通过平行宇宙、时间卷曲和第十维度的科学之旅 28.50 元
加来道雄著　刘玉玺等译

欺骗时间——科学、性与衰老 23.30 元
罗杰·戈斯登著　刘学礼等译

失败的逻辑——事情因何出错，世间有无妙策 15.00 元
迪特里希·德尔纳著　王志刚译

技术的报复——墨菲法则和事与愿违 29.40 元
爱德华·特纳著　徐俊培等译

地外文明探秘——寻觅人类的太空之友 15.30 元
迈克尔·怀特著　黄群等译

生机勃勃的尘埃——地球生命的起源和进化 29.00 元
克里斯蒂安·德迪夫著　王玉山等译

大爆炸探秘——量子物理与宇宙学 25.00 元
约翰·格里宾著　卢炬甫译

暗淡蓝点——展望人类的太空家园 22.90 元
卡尔·萨根著　叶式烨等译

探求万物之理——混沌、夸克与拉普拉斯妖 20.20 元

罗杰·G·牛顿著　李香莲译

亚原子世界探秘——物质微观结构巡礼 18.40 元

艾萨克·阿西莫夫著　朱子延等译

终极抉择——威胁人类的灾难 29.00 元

艾萨克·阿西莫夫著　王鸣阳译

卡尔·萨根的宇宙——从行星探索到科学教育 28.40 元

耶范特·特齐安等主编　周惠民等译

激情澎湃——科学家的内心世界 22.50 元

刘易斯·沃尔珀特等著　柯欣瑞译

霸王龙和陨星坑——天体撞击如何导致物种灭绝 16.90 元

沃尔特·阿尔瓦雷斯著　马星垣等译

双螺旋探秘——量子物理学与生命 22.90 元

约翰·格里宾著　方玉珍等译

师从天才——一个科学王朝的崛起 19.80 元

罗伯特·卡尼格尔著　江载芬等译

分子探秘——影响日常生活的奇妙物质 22.50 元

约翰·埃姆斯利著　刘晓峰译

当代科技名家传记系列

迷人的科学风采——费恩曼传 23.30 元

约翰·格里宾等著　江向东译

推销银河系的人——博克传 22.90 元

戴维·H·利维著　何妙福译

一只会思想的萝卜——梅达沃自传 15.60 元

彼得·梅达沃著　袁开文等译

无与伦比的手——费尔迈伊自传 18.70 元

海尔特·弗尔迈伊著　朱进宁等译

无尽的前沿——布什传 37.70 元

G·帕斯卡尔·扎卡里著　周惠民等译

数字情种——埃尔德什传 21.00 元

保罗·霍夫曼著　米绪军等译

星云世界的水手——哈勃传 32.00 元

盖尔·E·克里斯琴森著　何妙福等译

美丽心灵——纳什传 38.80 元

西尔维娅·娜萨著　王尔山译

乱世学人——维格纳自传 24.00 元

尤金·P·维格纳等著　关洪译

当代科学思潮系列

大脑工作原理——脑活动、行为和认知的协同学研究 28.50 元

赫尔曼·哈肯著　郭治安等译

生物技术世纪——用基因重塑世界 21.90 元

杰里米·里夫金著　付立杰等译

从界面到网络空间——虚拟实在的形而上学 16.40 元

迈克尔·海姆著　金吾伦等译

隐秩序——适应性造就复杂性 14.60 元

约翰·H·霍兰著　周晓牧等译

何为科学真理——月亮在无人看它时是否在那儿 19.00 元

罗杰·G·牛顿著　武际可译

混沌与秩序——生物系统的复杂结构 22.90 元

弗里德里希·克拉默著　柯志阳等译

混沌七鉴——来自易学的永恒智慧 16.40 元

约翰·布里格斯等著　陈忠等译

病因何在——科学家如何解释疾病 23.50 元

保罗·萨加德著　刘学礼译

伊托邦——数字时代的城市生活 13.90 元

威廉·J·米切尔著　吴启迪等译

爱因斯坦奇迹年——改变物理学面貌的五篇论文 13.90 元

约翰·施塔赫尔主编　范岱年等译

第二辑

人生舞台——阿西莫夫自传 48.80 元
艾萨克·阿西莫夫著　黄群等译

人之书——人类基因组计划透视 23.00 元
沃尔特·博德默尔等著　顾鸣敏译

知无涯者——拉马努金传 33.30 元
罗伯特·卡尼格尔著　胡乐士等译

逻辑人生——哥德尔传 12.30 元
约翰·卡斯蒂等著　刘晓力等译

突破维数障碍——斯梅尔传 26.00 元
史蒂夫·巴特森著　邝仲平译

真科学——它是什么，它指什么 32.40 元
约翰·齐曼著　曾国屏等译

我思故我笑——哲学的幽默一面 14.40 元
约翰·艾伦·保罗斯著　徐向东译

共创未来——打造自由软件神话 25.60 元
彼得·韦纳著　王克迪等译

反物质——世界的终极镜像 16.60 元
戈登·弗雷泽著　江向东等译

奇异之美——盖尔曼传 29.80 元
乔治·约翰逊著　朱允伦等译

技术时代的人类心灵——工业社会的社会心理问题 14.80 元
阿诺德·盖伦著　何兆武等译

物理与人理——对高能物理学家社区的人类学考察 17.50 元
沙伦·特拉维克著　刘珺珺等译

无之书——万物由何而生 24.00 元
约翰·D·巴罗著　何妙福等译

恋爱中的爱因斯坦——科学罗曼史 37.00 元

丹尼斯·奥弗比著　冯承天等译

展演科学的艺术家——萨根传 51.00 元

凯伊·戴维森著　暴永宁译

科学哲学——当代进阶教程 20.00 元

亚历克斯·罗森堡著　刘华杰译

为世界而生——霍奇金传 30.00 元

乔治娜·费里著　王艳红等译

数学大师——从芝诺到庞加莱 46.50 元

E·T·贝尔著　徐源译

避孕药的是是非非——杰拉西自传 31.00 元

卡尔·杰拉西著　姚宁译

改变世界的方程——牛顿、爱因斯坦和相对论 21.00 元

哈拉尔德·费里奇著　邢志忠等译

"深蓝"揭秘——追寻人工智能圣杯之旅 25.00 元

许峰雄著　黄军英等译

新生态经济——使环境保护有利可图的探索 19.50 元

格蕾琴·C·戴利等著　郑晓光等译

脆弱的领地——复杂性与公有域 21.00 元

西蒙·莱文著　吴彤等译

孤独的科学之路——钱德拉塞卡传 36.00 元

卡迈什瓦尔·C·瓦利著　何妙福等译

科学的统治——开放社会的意识形态与未来 20.00 元

史蒂夫·富勒著　刘钝译

爱因斯坦恩怨史——德国科学的兴衰 26.50 元

弗里茨·斯特恩著　方在庆等译

科学革命——批判性的综合 16.00 元

史蒂文·夏平著　徐国强等译

早期希腊科学——从泰勒斯到亚里士多德 14.00 元

G·E·R·劳埃德著　孙小淳译

整体性与隐缠序——卷展中的宇宙与意识 21.00 元

戴维·玻姆著　洪定国等译

一种文化？——关于科学的对话 28.50 元

杰伊·A·拉宾格尔等主编　张增一等译

寻求哲人石——炼金术文化史 44.50 元

汉斯-魏尔纳·舒特著　李文潮等译

第三辑

哲人石——探寻金丹术的秘密 49.50 元

彼得·马歇尔著　赵万里等译

旷世奇才——巴丁传 39.50 元

莉莲·霍德森等著　文慧静等译

精神病学史——从收容院到百忧解 即出

爱德华·肖特著　韩健平等译

黄钟大吕——中国古代和 16 世纪声学成就 即出

程贞一著　王翼勋译

目录

致谢

前言

第一章　关于天才　1

第二章　根　9

第三章　成为一名工程师　33

第四章　研究生的天堂　53

第五章　多体理论的开始　77

第六章　学术生涯　97

第七章　国防工程学　115

第八章　晶体管　133

第九章　跟贝尔决裂　163

第十章　回家　189

第十一章　破解超导性之谜　217

第十二章　两个诺贝尔奖胜过一个一杆进洞　249

第十三章　涉足产业　273

第十四章　科学的公民　287

第十五章　钉扎、针和波　319

第十六章　最后的旅程　339

第十七章　后记：真正的天才及其培养　353

参考文献　371

注释　407

第一章

关于天才

约翰·巴丁(John Bardeen)缓慢地走在物理楼的走廊里,双臂奇怪地摆动着,仿佛在拍打空气。他似乎陷入了沉思。这是1956年11月1日,此时的他在伊利诺伊大学任物理学教授已经有5个年头了。

同他相关的任何事物都呈现出他的谦逊。他中等身材、体格健壮,有一头略显稀疏的黑发,戴着一副纯浅棕色边框的厚眼镜。他那温和亲切的容貌正好同他那不贵的蓝西服、纯白色衬衫以及色彩保守的领带相配,他总是把领带整齐地塞进皮带里。

他还在费力地消化早上的新闻:他和两位同事,威廉·肖克利(William Shockley)、沃尔特·布喇顿(Walter Brattain)共同获得了诺贝尔物理学奖。早上他正在煎鸡蛋做早餐,一听到这个消息,手中的平底煎锅掉到了地上,锅里的东西撒了厨房一地。

此次获奖是因为晶体管的发明,这一微型半导体设备把我们带入了现今所称的信息时代。1947年12月,美国电话电报公司(AT&T)的主要研发机构——贝尔电话实验室——的工作组共同发明了晶体管。当时公司一直想用一种更为廉价而可靠的技术来替代电话线路中的真空管放大器和继电器。

研究成果得到了世人的认同,巴丁对此感到很高兴,但同时也有所保留。多年后,他的好友和同事才逐渐了解到一些

真相。

其中一个原因缘自并未参与此项研究工作的半导体研究小组的领导肖克利。1945 年底，巴丁刚来贝尔实验室后不久，肖克利要他对硅放大器的特殊设计不起作用的原因进行研究。该设计方案是肖克利几个月前在自己的实验笔记本上草拟出来的。他运用了当时最好的量子力学理论，根据这些理论，他的设备应该可以放大信号，但却并未奏效。正是巴丁提出的解释——表面的电子可被限制在表面状态下——引导整个团队进行了长达两年的有关表面态的密集而硕果累累的研究，它最终带来了巴丁和布喇顿的后来被称为晶体管的发明。

发明问世之后，为了能够独立完成对第二代晶体管的设计，肖克利粗暴地把巴丁和布喇顿推到了一边。肖克利还修改了晶体管发明的故事，突出强调了自己的贡献，而对巴丁和布喇顿的作用轻描淡写。贝尔实验室至少一开始是站在肖克利这一边，这让巴丁深受打击。结果是肖克利本人而非巴丁和布喇顿因这项发明而受到广泛认可。即便在今天，一些大众杂志有时还会把此项发明归功于肖克利一人。[1]

造成这一错误的原因之一是肖克利所放射出的魅力。作为无声电影时代好莱坞高中的产物，[2] 他能说会道，在许多方面都具有一种古怪的性格特征，他喜欢把自己描述为具有神赐之力的天才。在后来的职业生涯中，肖克利沉醉于种族和智力相关的理论带给他的知名度。对此，巴丁很少公开表示愤慨，但那些了解他的人可以察觉到他对肖克利的蔑视，虽然巴丁还是对肖克利作为物理学家所具备的才能心存敬意。

此外，巴丁并不确定晶体管是否值得获取世界级最高物理学奖项。虽然他认同晶体管在技术方面的重要性，并对晶体管背后的物理学感兴趣，但他总体上把它当作一种有用的小发明，并非什么巨大的科学飞跃。1956 年，晶体管还没有

在通讯和商业领域引起革命，也没有宣告信息时代的到来。这一切在那个时代是难以想象的。巴丁还因在他的老师维格纳（Eugene Wigner）*和约翰·范弗莱克（John Van Vleck）之前获得诺贝尔奖而感觉有些尴尬。[3] 因为他敏锐地意识到他们在引导他的职业道路方面做了很多事。

从研究的角度来看，获得奖项的时机并不理想。巴丁确信，他和他的两位年轻同事——博士后库珀（Leon Cooper）和研究生施里弗（J. Robert Schrieffer）——很快就要为超导性提出一种理论。超导性是一种奇异的低温状态，所有的电阻在这种状态下都会完全消失。巴丁认为这样的理论才配得上诺贝尔奖，因为超导性是十年以来，甚至是20世纪20年代以来最重要的固态物理学问题。20世纪30年代末以来，他就一直在研究这个问题。当时他正领导着他的小团队发疯似地寻找答案。令他焦躁不安的是，他了解到其他一些能力极强的科学家，包括费恩曼（Richard Feynman）**也在探寻的途中。尽管1956年的诺贝尔奖颁奖典礼打断了他们的工作，巴丁还是在从斯德哥尔摩回来后的几个月内，和库珀、施里弗一起解决了这个难题。

今天，我们几乎无法想象没有晶体管的生活。这一发明在20世纪的最后四分之一时间中改变了整个社会。作为微芯片中的基本建筑模块，它已经成为现代电子技术的“神经元”[4]（肖克利1949年措辞）。半个世纪前还只是科幻小说素材的许多设备——从个人电脑、手机、自动取款机和微波炉，

---

* 参见《乱世学人——维格纳自传》，尤金·P·维格纳、安德鲁·桑顿著，关洪译，上海科技教育出版社，2001年。——译者

** 参见《迷人的科学风采——费恩曼传》，约翰·格里宾、玛丽·格里宾著，江向东译，上海科技教育出版社，2005年。——译者

一直到传真机和人造卫星——现在已经是司空见惯了。在这个工业化的世界里,每天都有数以十亿计的晶体管在我们每个人的生活中发挥着作用。

巴丁—库珀—施里弗(简称 BCS)超导理论在其他方面也具有重大意义。这一理论在描绘现在的多体系统、固体和液体量子力学的图景方面迈出了开创性的一步:这三者的活动状态是由电子和其他微小粒子的相互作用所决定的。这一理论同样加深了我们对核物理学、基本粒子物理学以及天体物理学的认识。举例来说,自发对称破缺的概念,为解释粒子的行为为什么仿佛有质量这一基本而又难以捉摸的问题奠定了基础。尽管超导体并未像晶体管那样对大多数人的日常生活产生广泛的影响,但超导材料已经开始进入几个重要的技术中,例如输电线和手机信号塔。其他的超导技术,如利用超导磁体来悬浮的商用高速列车还是将来的技术。

在竞争激烈的理论物理学世界中,BCS 理论成功地解决了长期以来困扰物理学家的一个难题。从 1911 年到 1957 年,全世界最好的理论家,包括费恩曼、爱因斯坦(Albert Einstein)、玻尔(Niels Bohr)、海森伯(Werner Heisenberg)、泡利(Wolfgang Pauli)以及朗道(Lev Landau)都曾试图解释超导电性,但都没有成功。布洛赫(Felix Bloch)曾这样半开玩笑地说:"任何超导理论都是不成立的。"[5] 这反映了许多研究者在超导性研究失败后的沮丧情绪。1972 年,在诺贝尔委员会授予巴丁、库珀、施里弗物理学奖的时候,有史以来首次有人在同一领域两次获得诺贝尔奖。[6]

如果单从晶体管的广泛运用来看,人们可能会说巴丁的物理学同爱因斯坦的一样改变了现代世界。然而每个小学生都知道爱因斯坦,但除了固态物理学家之外,很少有人听说过巴丁。《芝加哥论坛报》(Chicago Tribune)恰如其分地援引了

作家张纯如对巴丁的概括:“对科学家来说他是一个爱因斯坦,对于公众来说他是……哪个约翰?”[7] 为何“信息时代之父”[8] 如此不出名呢?

在公众的头脑中,“天才”这个词让人想到的是一个生来就具备超人才能的男性(很少是女性)。他无须受训。他的见识不是来自于一般的经历,而是魔术般地来自于某个地方。他精神失常,也许有点疯狂。他是一个独自进行研究的隐士,人际关系糟糕。弗兰肯斯坦博士(或称“疯狂教授”)就是一个典型,这位科学天才是一个众所周知的神话。

举例来说,1997 年风靡一时的电影《心灵捕手》(Good Will Hunting)描写了一个杰出的年轻数学家*。亨廷(Will Hunting)是麻省理工学院的一个没有受过正规教育、社会地位低下的看门人。他在值夜班时开小差,偷偷地解决了著名数学教授所提出的数学难题。亨廷在电影中被描绘成一个挑战世俗、反复无常、放荡不羁的人。他在孤独中工作,疏远正常的社会。难怪他在性格上会反复无常。

这种与巴丁几乎截然不同的天才概念,可以追溯到女神缪斯把创造力注入到人体之内的古代。在经历了中世纪的文艺复兴之后,超人以及天才的崇高品质在浪漫主义时期得到了充分显现。作家如歌德(Goethe)、柯勒律治(Samuel Taylor Coleridge)、华兹华斯(William Woodsworth)、爱伦·坡(Edgar Allan Poe)、珀西·雪莱(Percy Shelley)和《弗兰肯斯坦》的作者玛丽·雪莱,他们把天才描写成孤独的、精神失常的、未受过正规教育的人,往往先天就具有(而并非后天获得)某种创

* 美国米拉麦克斯公司 1997 年出品,曾获得奥斯卡最佳原创剧本奖及金球奖最佳原著剧本奖。——译者

造力。[9] 正如历史学家谢弗(Simon Schaffer)所描述的那样,与其说是邪恶化身还不如说是妖精,这些"先知先觉的人"[10]还具有某种孕育他们的令人敬畏的力量。在学者们确信天才只是一个空洞的概念[高尔顿(Francis Galton)曾经试图把天才和遗传联系在一起]之后很久,天才这一荒诞而富有传奇色彩的形象仍活在公众的头脑中。[11]

这一神话是危险的,因为它会摧毁那些希望变得杰出的人们的信心和热情。正如历史研究所表明的那样,这一传统形象不适用于真正的科学天才。[12]在诸多改变或开辟了新的物理领域的20世纪伟大物理学家中,费恩曼应该被称作是一位天才。但是在描写他的那本杰出传记《天才——理查德·费恩曼的生活和科学》(Genius: The Life and Science of Richard Feynman)中,格莱克(James Gleick)强调了费恩曼作为一个物理学家取得成功的偶然性,注意到"科学史并不是由个人发明的历史,而是多重的、重叠的、同时的发明史"。[13]尽管某些人在特定的领域比其他人要聪明些,但费恩曼自己说:"我们并不比他人聪明多少。"(他特别强调了这一点)

公众之所以会对天才产生混淆,部分原因是一些伟大科学家如爱因斯坦和费恩曼都喜欢拿自己的公众形象开玩笑,有时这样做贬低了他们所从事工作的重要性。公众更了解费恩曼的小手鼓表演,或他那怎样偶然地、像打开装满国家安全机密的保险箱一样轻而易举地解决科学难题的娱乐性神话,[14]而不怎么注意他的量子电动力学。同样,在镜头前伸出舌头的蓬头的爱因斯坦[15]吸引记者注意力的,更多的是他的怪癖和引起争论的政见,而不是他那革命性的物理学理论。

和费恩曼和爱因斯坦不同,巴丁的特殊才能并没有显著地粉碎或创造出新的物理学领域。但他的工作确实创造了解决问题的方法,并且给出了令人信服的实在的定义。作为一

个有创造力的科学家，他不太符合我们所熟悉的风靡世界的天才形象。

巴丁的公众（以及个人）形象完全不肆意放纵，不超凡脱俗，也不带任何神秘色彩。这个来自美国中西部、老爱抿着嘴的，是一个沉着而有条不紊的家庭男主人和朋友。你可能会在高尔夫球场或伊利诺伊大学的主场比赛时看到他，却不大可能看到他向记者夸夸其谈。他更愿意和家人们一起去野餐，或静静地在办公室工作。在私人生活中，巴丁毫无架子，看上去和常人无异。那或许就是记者们发现他很难写，甚至很难充分了解的原因吧。他们中的大多数都忽视他的存在。

巴丁不善于口头交流，这一点对他不利。他“很少说话，但是在他说话时，你真的有听的必要”[16]。一个好友曾这样告诫道。他说话很简洁，通常还带着人们很难理解甚至是听不清楚的颤音。一些学生称他为“细语的约翰”[17]，因为他总是低声授课，就像一个腹语者，他说话时很少张口。

巴丁的不善言辞，扩展到了情感表达方面。对各种花哨的东西都反感的他，在一些共事者眼里显得很“单调”[18]。只有好友和同事能够从他轻微的摇头或偶尔掺在话语中的长“S”音看出他的愤怒。[19]

即使他的话能够让人听清楚，其含义也往往让人困惑。当别人提问时，他往往会在思考中陷入恍惚。在长达数分钟的令人尴尬的持续沉默中，他的朋友往往会不知所措。

当同事或学生要求巴丁明确一种解释时，他通常会复述一句先前的话。某些人最终明白他的这种做法实际上是间接表达敬意：因为巴丁懂得不断改变自己的方式以便他人理解问题。据说巴丁曾在二战期间工作的海军军械实验室中，[20]不知疲倦地用各种方式阐明他的解释，直到小组的每一个成员都理解为止。最终，巴丁的一些学生发现同他交流“很轻

松”[21]。布雷(James Bray)在同巴丁的交流过程中亲历了这种长时间的沉默,他认为这“让人感觉很愉快、很有收获,也很轻松”。

巴丁在其他许多方面也和神秘的科学天才不同。举例来说,他绝非自学成才。他一生的很多时间都投入到艰辛的专业学习当中,并由此积累了传说中的百科全书般的物理知识。他从许多现代物理学的重要学科带头人那里学到了很多。他们中至少有5位成为诺贝尔奖的获得者——约翰·范弗莱克、维格纳、狄拉克(Paul A. M. Dirac)、布里奇曼(Percy W. Bridgman)、德拜(Peter Debye)。从这些导师的身上,巴丁学到了很多:如何去解决问题,如何识别那些时机已经成熟的问题,如何找到那些走在物理学前沿的同事。巴丁也很少像神秘的天才那样独自工作,他更乐意同他人合作,他通常是一个包括理论者和实验者在内的小团队的成员。问题的解决方法并非瞬间的灵感,他时常在许多问题上花费数年的时间,执着得就好像一条斗牛犬啃一块骨头。在缓慢地处理复杂问题时,他也不同于“典型”。在解决问题时,他不是把它看作一个整体,而是不断地把它们拆分成易于处理的各个部分。

这部传记所表现出的巴丁的形象和公众眼中的创造性天才截然不同,但却也许同大多数真实的天才有相似之处。这一形象将在全书中提及,并在最后一章作更充分的讨论。它们包括毅力、动力、热情、才能、信心、专注以及有效的问题解决方法。在许多有关创造力的有争议的著作中,教育学家、心理学家和其他学者经常会讨论这些性格特征。所有的这些性格特征都是可以培养的——这可以从巴丁的生命故事中得到印证。

第二章

根

10岁的约翰·巴丁喘着气在食品架上摇晃着,[1] 但最终还是摔了下来。在此之前,他正把注意力集中在再吃一块母亲午饭后放在架子顶部的新鲜蛋糕上。着地时听见"劈啪"一声,他知道自己有麻烦了。他的右手臂断了。

父母一边哄他不哭,一边照顾他那颤动的手臂,同时他们也把这一事件当作教育4个孩子的范例。"在刚吃完午饭肚子里还塞满蛋糕的时候就去偷吃,这一点是不可原谅的,"母亲埃尔希娅(Althea)这样写道,"这给全家人上了一堂很好的道德教育课。"[2]

这个平常很羞怯的孩子并不是有意要调皮,他只是一心把注意力集中在他感兴趣的事物上。埃尔希娅经常在给他祖父的信中这样评论他的决心:"约翰很执著,不愿放弃。"[3] 这种对计划和问题毫不动摇的专注将成为巴丁今后科学工作中的一个特点,也是他成功的原因之一。

巴丁家族的传统是努力工作和志存高远。这个美国家族的历史可以追溯到1638年从英国的约克郡移民到普利茅斯殖民地的一个名叫威廉·巴登(William Barden)的英国年轻人。[4] 巴登来到新大陆后的第一份工作是做波德曼(Thomas Boardman)的合同工,规定在7年里向他学习木工。但7个月后,还没完成合同,巴登就被调配给了巴克(John Barker),后

者是普利茅斯以北 10 英里的马斯菲尔德镇的地方官。巴登从巴克那里学会了砌砖,并在琼斯河经营摆渡服务。最后,巴登娶了巴克的女儿——比他小很多的黛博拉(Deborah)。他们在马萨诸塞州的米德尔波罗造房子,生了 13 个孩子。房子至今尚存。而他们的后代则散布整个美洲大陆。

约翰·巴丁是巴登—巴丁家族的第 10 代孩子,其青年时代受到了 3 场伟大运动的影响:[5]19、20 世纪之交横扫美国的进步主义运动、1900 年至 1920 年间美国工业实验室的兴起,以及 20 世纪 20 年代至 30 年代美国物理学的成熟。对巴丁所参与的工业研究和物理学的讨论将稍后进行,但他家庭的进步主义理念塑造了他的价值观,因此在此有必要简要地分析一下这些运动。即使巴丁的家庭理念不曾对他产生影响,只要是在麦迪逊长大,他就不太可能不吸收进步主义思想,因为那时的麦迪逊是进步主义运动的中心*。

到底是什么构成了 19 世纪 90 年代到 20 世纪 20 年代间的进步主义运动?进步主义是否有足够的凝聚力,可以称之为一场运动?历史学家们对此存在很大的分歧。但是他们大致上都认同 19 世纪末到 20 世纪初这段开放期,它催生了许多有关个人与社会以及公民和政府间的关系应该如何的特定观点。

那个时代的改革者认为,应该由政府或私人企业来应对新工业经济所产生的灾难和问题。当时,讨论这些问题的计划和议程之多,几乎可以和自诩为进步主义者的人数相媲美。为了促成这样或那样的变化,形形色色的活动家组成了无数

---

* 麦迪逊大街(Madison Avenue),纽约的一条街名,主要的广告公司、公共关系事务所均云集于此,成为美国广告业的中心。麦迪逊大街因而也成了美国广告业及其典型手法等的代名词。——译者

的国家级、州级或地方级组织:国家制造商协会、美国劳工联合会、国家童工委员会、美国土木工程师协会、国家保护协会、基督教妇女禁酒联合会以及上百个更多的组织。这些组织向专家求助以解决社会问题,一个结果就是诸如工程学、医学和法律等领域的一波专业化。这些机构或组织自发制定了培训、职守和道德的标准。一批新的科学界和政界精英已经为建设一个更美好的美国作好了准备。

1848 年,威斯康星大学在威斯康星州的首府麦迪逊建立,它位于州大街的尽头。州大街沿着一条长达半英里、夹在该地区著名的门多塔湖和蒙诺那湖之间的地谷延伸。校园自北扩展至拥抱较大的门多塔湖的南岸。到 19 世纪 80 年代,迅速发展的大学已经成为表达人们称之为"威斯康星理念"的哲学体系的中心。这种从未被明确定义或正规化的哲学体系,要求人们把专业领域的研究应用到当今的政治、经济和社会问题中去。

1874 年,成为威斯康星大学校长的巴斯科姆(Joan Bascom)草拟了最初一个版本的威斯康星理念。[6] 他建议把大学的人才和资源用于社会福利事业。举例来说,他倡议把研究成果应用到解决州政府和行政部门的日常问题中去。

巴斯科姆的学生拉·福利特(Robert M. La Follette)普及了其导师的理念。1900 年他当上州长又成为美国参议员后,"斗志旺盛的鲍勃"——拉·福利特以其华丽的雄辩在国内赢得了声望[7]:因他的口才,他与当地主张进步主义的共和党成员一起,在肃查政治体系、进行并改善威斯康星乃至全国的社会福利的尝试中,同强大的垄断组织和政府腐败作斗争。

另一个受到巴斯科姆教育和政府理念影响的学生是范海斯(Charles Van Hise)。[8] 范海斯是一个受过训练的地质学家,

专注于矿物工程学研究。1903 年,他在拉·福利特的支持下成为威斯康星大学的校长。正是这位范海斯,将约翰·巴丁的父亲查尔斯·拉塞尔·巴丁(Charles Russell Bardeen)带进了威斯康星大学。

范海斯力求让大学的学术成果反映那些赞成政治民主和分享公共财富的公民的利益和需求。他的座右铭是"大学的边界就是州的边界"[9]。该大学进行的研究促进了乳业和农业的发展,也催生了保护州自然资源的项目。范海斯或许夸大了大学对政府的影响力,但是他所鼓吹的这种关系的现实性,足以使之成为陈词滥调的套语,如"专家受差遣,不差遣"、"服务性大学"、"把科学的方法应用于立法"以及"知识的民主化"等。[10]

在范海斯为威斯康星大学制定的计划中,建立一所医学院是其中一项。1903 年即将成为校长之际,他出差到东海岸去物色能够担当此任的合适人选。他在约翰·霍普金斯大学找到了查尔斯·拉塞尔·巴丁。[11]作为一位 32 岁的解剖学副教授,巴丁已经因其解剖学方面的研究和教学而在霍普金斯大学享有盛誉。范海斯许诺让他的影响力超越科学社区,这位年轻的医生被他的许诺打动了。

巴丁的父亲查尔斯·威廉·巴丁(Charles William Bardeen)——巴丁家族的后人们都称其为 C. W.——是一个持进步主义观点的教育家,他认为社会福利事业是个人可以追求的最高理想。C. W. 于 1847 年出生于马萨诸塞州的一个废奴主义家庭,14 岁时离开学校参加内战,在军队里充当一名鼓手。然而他并不擅长打鼓,[12]因此余下的时间里一直是横笛吹奏手。后来他重返校园并最终在耶鲁大学毕业,之后又投身于改善美国教育系统的事业。1874 年,C. W. 建立了自己的出版公司——校刊出版公司。他在《校刊》(School Bulle-

tin)杂志从事编辑和发行工作达 50 年之久,[13]这一刊物成了强调高质量教育重要性的论坛之一。他还在全国教育协会和美国教育出版协会担任领导人。C. W. 在教育界所取得的学术声誉,让他成为了美国科学促进会、美国地理学会和美国社会科学协会的会员。

在后来的岁月里,查尔斯父子频繁通信。他们在信中全面讨论有关教育、工作或生活的价值观和哲学问题。在查尔斯·拉塞尔 45 岁生日时,C. W. 思考道:"没有价值的生活使人衰老。"[14]他写道:"最大的幸福莫过于做一些自己喜欢却又略在自己能力之上的事情。只要能够坚持,我就不认为会感觉到变老。"他把爱和工作看作是幸福生活的基石,"你和我都是非常幸运的"。

教育、努力工作和有意义生活的价值是查尔斯·拉塞尔童年时代的主题。他于 1871 年出生在密歇根州喀拉马如市。1874 年全家搬迁至查尔斯度过童年的纽约州的"雪城"锡拉丘兹。C. W. 家所有的孩子,包括查尔斯在内,在雪城完成了高中课程之后,被送往德国莱比锡的泰西曼学校学习一年。查尔斯进入泰西曼中学时,已经通过了哈佛大学的拉丁语、高级希腊语和几何考试,他希望在莱比锡以更高的规格完成学业。年少的他认为自己"是一个还不错的学者,较之于记忆,更擅长理性思考,有点机械性驼背(原文如此)"[15]。他还为自己的运动天赋感到自豪。在莱比锡时,查尔斯写信给父亲:"就我看来,存在的真正快乐就是为了所爱的人工作,或与所爱的人朝着一个共同目标前进。"[16]

1893 年,查尔斯从哈佛毕业,之后进入约翰·霍普金斯大学新成立的医学院招收的第一个班。当时的教学设施不足,[17]授课也马虎,第一个班有半数学生都转到了其他学校。查尔斯继续留在那里,直到 1897 年,他因为姓氏以"Ba"开头

而成为霍普金斯医学院的第一个毕业生。[18]他决定留在霍普金斯医学院,在那里他很快晋升为副教授,同时负责教学和进行博士后研究。他写信给父亲 C. W.,说他的目标是"过一种充实的生活"以及"使你给予我的教育发挥其价值"[19]。

因此,他很快就接受了范海斯的邀请,在麦迪逊成立一所新的医学院。[20]1904 年初一个寒冷的日子,查尔斯乘上了去麦迪逊的火车,去接受解剖学教授的职位。约翰·霍普金斯医学院的一个男校友在西北火车站接他。两位医生坐着有轨电车到了州大街的尽头,然后爬上巴斯科姆山去和范海斯校长会面。[21]接下来的几年里,查尔斯一边教授解剖学,[22]一边和范海斯一起,说服校董事会和州立法机构为威斯康星的两年医学计划提供资金。

在查尔斯即将结束在麦迪逊第一年的工作时,他的生活又增添了新的乐趣。他开始追求生活在芝加哥的一位自立的职业女性。埃尔希娅·哈默(Althea Harmer)不到 30 岁,容貌典雅,披着一头乌黑的长发,有时她把它往后梳成讲究的法国式盘发。从照片上看,她身材苗条,脖子颀长,脸庞略显忧郁。她那精致的外表掩盖了她的冒险精神、高智商以及坚定的信念。查尔斯完全被她迷住了。

埃尔希娅已经同宾夕法尼亚东部的保守家庭脱离关系,开创自己的独立生活。她起先在纽约的普瑞特艺术学院、后又在芝加哥学习艺术。她的母亲很早就死于肺炎,父亲反对她找工作。[23]加利福尼亚的一个亲戚亚历山大·弗朗西斯·哈默(Alexander Francis Harmer)对埃尔希娅来说是一个莫大的鼓励,因为他也很早离家出走,[24]追求自己的艺术生涯。

埃尔希娅一直在杜威(John Dewey)创办的进步主义实验学校教授家政学,以此糊口。历史学家蒙哥马利(Scott Montgomery)称杜威是"美国历史上最敏感的伟大改革家"。[25]学校

的两位教师，梅修（Katherine Mayhew）和爱德华兹（Anna Edwards）后来出版了一部这所芝加哥大学实验学校的校史，[26]说学校的目的是“和孩子们一起，设计出一种比当前最好的教育体系所能提供的更有创造力的教学体验”。[27]

杜威的实验学校从芝加哥大学招收教师，其中包括杜威自己。当时他是哲学系、心理学系和教育学系的负责人，在为梅修和爱德华兹的书写序时，杜威这样评论道：

> 本书描写了其工作的学校被这样一种愿望所激励着，那就是从管理、专业的选择、学习和教学的方法以及风纪中，在发展学生个人的能力和满足学生需要的同时，找到学校成为一个合作性社团的方法。[28]

杜威在科学教学方面的思想可能影响了埃尔希娅。[29]他反对死记硬背各种事实、思想和结构，认为创造性的科学思维与灵感有着内在的联系。由此，杜威学校的科学教育的一个重要目标就是增强学生的能动性。

杜威认为，孩子们学习科学知识必须依靠“孩子的自身探索。他们首先发现问题，然后学会解决问题”[30]。他还强调通过“合作”的方法来学习。他觉得团队合作不仅可以培养科学的思维方式，还能很好地训练一个人过一种富有成效和责任感的人生。他教育孩子用科学的方法合作解决问题，希望借此培养出一代愿意通过合作把这些原则运用到解决社会问题上的成人。据学校的文献记载：“社会福利的本质就是培养能够理智进行社会行为的个人。”[31]

埃尔希娅鼓励学生找出他们自己的问题，并寻找创造性的答案。她强调要在真实而具体的情况下解决问题。在一门有关纺织工业发展的课程中，她设计了动手实践的实验，孩子们从中分析各种纤维，并学会使用简单的梳子、纺锤和其他早期纺织业工具。以他们自己对于这些材料的实际经验为基

础，他们可得出有关各种材料和工具的质量和实用方法的结论。用她的话来说：

> 这一方法同样涉及判断力的训练。思考能力和思想方法是所有的再发明和再发现的一部分。思想并不会为了产生而产生，它本身并非目的。它源自于解决问题的需要，这体现在：我们会考虑解决困难的最佳途径，因此就产生了计划——在脑中树立所要达到的目标并决定必要的步骤。工作中所使用的工具和方法似乎总是一方面取决于材料的多少，另一方面则取决于要得到的结果。有了这些既定条件，求取第三项就像几何题一样符合逻辑。此外，它还有比较具体这个好处，可以让建设性的想象力发挥作用。[32]

在埃尔希娅结束杜威学校任期的数十年之后，她的儿子约翰成为举世闻名的解决问题的高手，他采用一种建立在解决实际困难基础上的、以实验为手段的合作方法，使其目标具体化，成就直观化，然后“发挥建设性想象力的作用”[33]。

1904 年，即杜威创办的学校和芝加哥学院合并（它由芝加哥大学教育学院管理）两年后，杜威和大学校长闹翻了。在管理层冲突日益加剧时，“杜威派”开始感觉在学校里受到排挤。那年，杜威离开学校到哥伦比亚大学，埃尔希娅也就失业了。

于是，这个单身女子开始了一段不同寻常的冒险经历。她开始经营小规模的室内装潢业务。她在男性统治的世界中奋斗，这尤其体现在努力从顾客那里收取费用上。正如查尔斯和他父亲所说的那样，埃尔希娅第一年的生意“不赢不亏”。“她白手起家，且因为是一种崭新的行当，必须靠自己来获得市场而起步缓慢。要是有第二年的话，她一定会取得成功的。”[34]

根据巴丁家族的一个故事，埃尔希娅和查尔斯是在装潢

的过程中认识的。[35]在给威斯康星大学教师俱乐部做装修时，她和查尔斯合作过。1905 年春，他来到芝加哥，尽可能频繁地见她。“我每多见一次埃尔希娅，就越是相信自己赢了大奖。”[36]埃尔希娅接受了他的求爱后，[37]查尔斯写信给 C. W. 说。1905 年 8 月 6 日，他们在芝加哥举行了非宗教式的婚礼。[38]后来，他们坐火车去麦迪逊，过起了安宁的两人定居生活。

没有证据表明埃尔希娅试图继续她在麦迪逊的生意。在查尔斯的全力支持下，她倾尽全力为两人营造一个温馨的家。她用东方地毯和其他华丽的饰品装点他们的第一套小公寓。查尔斯告诉父亲，他们的目标是“有一个格外美丽的家庭，无须很多东西来装饰，只是每一样东西都要很美丽”[39]。然而，埃尔希娅又开始了她的艺术课。她开始活跃于麦迪逊的艺术世界，[40]帮助组织一些展览，偶尔举办一些讲座。因为早年专修日本艺术，所以她特别喜欢在麦迪逊州立历史图书馆组织日本木版画的展览并进行讲演。

查尔斯继承了为公众福利服务的家族传统，继续在大学工作。[41]他以一种特有的自律投入到研究当中，并建立了医药学校。威斯康星大学医学院成立于 1907 年，他被任命为院长。

后来，他在当地创立了一家规模不大的大学医院，医学院的学生无须转到其他学校就可以在那里完成临床学习。但直到 1925 年，查尔斯才成功地建立了一家设施齐全的教学性医院。[42]政策上这所医院需要反应迟缓的威斯康星立法机关的支持。1906 年初，查尔斯写信给 C. W. :“政策阻碍了这个城市的发展。”[43]他指的是为该市的医院募捐建造一幢新大楼一事。他被迫在“富人害怕穷人们征收他们太多的税，而穷人根本没有能力纳税的情况下”向政府申请资金。

查尔斯经常思考在改善自己的医学院的同时，如何改善

美国人的健康和教育。他告诫学生在医院里要把病人放在首位，强调医院作为医生、护士和其他健康护理职业人员论坛的重要性。他还强调了临床护理以及主动关心公共卫生在疾病防治中的价值，竭力反对损害病人利益的医学商业化。[44]

身为教授的查尔斯一直被学生和同事认为是固执己见、寡言少语，甚至是没脾气的。克拉克(Paul Clark)后来在威斯康星医学院校史上写道，查尔斯"可能外表沉着冷静，但内心热情似火，为了自己的理想整理材料、拉拢支持者"[45]。通常学生并不把他看作是一个好老师。大多数学生依赖于教学助理，直到考试都很少同查尔斯接触。但一个同他关系密切的解剖系同事坚持认为："他以一种非正式的、通常是笨拙的方式，成功地在课堂和实验室引导学生理解要点。我相信他用自己对这一学科的极大兴趣激发了学生。"[46]他还补充说，查尔斯把学生们看作是成人，并允许他们管理自己的事情。"他的这种做法使他们比现行教育体制下的学生更优秀，并且我肯定他们在以后的人生中也会更出色。"

埃尔希娅和查尔斯之间似乎话不多，至少在公众场合是如此。在给 C. W. 的一封信中，埃尔希娅提及，她的小姑"认为我们并不算很恩爱，但觉得查尔斯人好，或许适合我的性格"[47]。他们的婚姻看起来确实很幸福，因为他们有很强的共同价值观和人生目标。查尔斯在婚后几个月写信给父亲："埃尔希娅特别深情、忠实和无私。她既能干又聪明，没有几个女人能像她那样，既是好帮手，又是好妻子。"[48]

巴丁家族的女性被要求既要照顾家庭又要抚养孩子。查尔斯写信给父亲，谈及他一个未婚的妹妹时说："尽管一个健康的女人不生养孩子是不正常的，但在如今的社会，这种女性似乎越来越多。我想长此以往，许多女性必须树立无私的爱情观。毕竟她们还是可以抚养孩子的。"[49]

埃尔希娅逐渐从丈夫手中接管了一项工作，那就是给 C. W. 写信。她是独生子女，加之已与家庭断绝关系，现在她很高兴能成为一个紧密的大家庭的一份子。在刚开始给 C. W. 的一封信中，她说查尔斯曾告诉她“你是他最好的朋友”[50]。她说自己也希望“能够成为你的一个朋友，直到我真正地成为查尔斯的家庭的一部分之后，我才认为自己完全进入了人生的新阶段”。

1906 年 4 月，埃尔希娅早产下一对双胞胎。[51]他们以查尔斯祖父的名字给小男孩取名为威廉（William），给另一个早夭的男孩取名为普林斯（Prince）。他们为夭折的婴儿感到悲伤，并把他们的爱和精力全部给了体重不足、虚弱多病的威廉。医生建议埃尔希娅在孩子刚生下来的几周里，坚持每小时喂一次奶。孩子出生后几个月，她精疲力尽。[52]他们想方设法找一个临时的保姆或女仆，却没有成功。查尔斯放弃“空闲时间呆在家里，而埃尔希娅则外出呼吸新鲜空气和锻炼身体”[53]。他写信给父亲：“如果一个女人在生孩子后既没有旧识又没有亲戚可依靠，处境就会十分艰难。她必须悉心照料孩子，直到孩子长大一些可以托付给女佣，孩子患疝气或生些小病时，有经验的母亲可以从容应对，而她却无处寻求建议。”

随着这个新生命的到来，巴丁的公寓显得局促起来。[54]1907 年 5 月，他们搬到了门多塔路一幢风景如画的小房子里，与门多塔湖仅几户人家之隔。从这座温馨的房子往外，沿着不规则的湖岸，码头一直延伸到西边的野餐了望台。查尔斯的大学办公室离这里只有几步之遥。

1908 年 5 月 23 日，威廉降生后仅两年，埃尔希娅和查尔斯有了第二个孩子，十磅重的约翰。他很快就成了全家的中心，查尔斯也变得特别喜欢约翰。查尔斯写信告诉父亲，约翰

得到的照顾比哥哥威廉“少很多”[55]。埃尔希娅在信中说:“查尔斯对约翰的关爱溢于言表。”[56]她担心查尔斯会宠坏了孩子。威廉兴高采烈地把新出生的弟弟当作玩伴。“威廉生性慷慨大度,从来都不会显出一丝嫉妒,”埃尔希娅写信给她的公公说,“很明显约翰受到了相当多的关注。但无论约翰做什么,威廉不仅还是一样开心,还会要我们注意约翰新学会的花样。”查尔斯感到自己在一个“日益亲密”的家庭中“受到了祝福”。[57]

埃尔希娅在给 C. W. 的信中经常提及约翰。约翰开始蹒跚学步的时候,她就在信中说这个男孩“聪明得令人生畏”。她描述约翰如何很快地想出打开圣诞礼物的办法,怎样给每个人看,而不是马上去找下一份。

到 1910 年春天,巴丁家的房子已经住不下了。于是他们买下了隔壁门多塔路 23 号的灰泥墙房子。[58]房子有一个起居室、一个餐厅、一个厨房、一个楼下的书房和五间楼上的卧室。到夏天时,正门外的玻璃门廊和葡萄藤凉亭成了一个静坐和读书的好去处。藏书室足够大,可供身为系主任的巴丁偶尔举行研讨会。每个人都有自己的私密空间,甚至连女佣都在阁楼拥有自己的房间。住家的女佣搬走后,查尔斯把阁楼改装成了游戏室,[59]供自己和孩子们使用。他用木工工具做了一个举重用长凳,还有一个练习击球用的悬吊高尔夫球。

生下约翰后,巴丁夫妇很快又有了两个孩子:1910 年 10 月 13 日出生的海伦(Helen)以及 1912 年 4 月 10 日出生的托马斯(Thomas)。怀孕和生产对于埃尔希娅来说变得越来越艰难,她的健康状况也受到了影响。在海伦出生之后,她在医院里又住了一周,但是她保持了乐观的精神状态,并写信告诉 C. W.,尽管“在头五天里很不舒服”,但现在她的身体已经好

很多了。“在一次必要的手术之后——我恢复得很快。每天坐起来的时间都在增加，并开始下床走动了。”[60]托马斯出生后，“我被迫在手术室呆了近24个小时，不能动弹。”[61]她写信告诉C. W.，“你写给我的信件胜于任何补品，它让我意识到这都是为了一个崇高的目的。直到我又有了一个孩子时我才意识到了这点。”

埃尔希娅在医院里恢复身体时，查尔斯也在学习抚养孩子的技巧。他发现快4岁的约翰难以管教。埃尔希娅为查尔斯对约翰如此惊愕而感到好笑，因为约翰一直都是他的掌上明珠。她在给C. W.的信中说查尔斯一直“纵容约翰”[62]，“查尔斯为了让约翰听话，不得不早晚都打他的屁股”。她向C. W.吐露心声：“我很高兴这种情况发生了，因为我担心他会由于溺爱约翰而宠坏了他。”

查尔斯并不是一个“抱抱亲亲”[63]的父亲，但他充满爱心，并总是尊重孩子。他经常邀请他们中的一个在傍晚时分外出散步。在对待孩子的问题上，他也不乏幽默。一天，巴丁家的男孩们和邻家的朋友一起，惹恼了正在附近的门多塔路铺设混凝土人行道的工人。查尔斯过来严厉地呵斥了淘气的孩子们。站在边上的一位母亲说：“啊呀！巴丁医生，我以为你喜欢小孩呢。”他马上答复道：“我对他们的爱是抽象的，而不是具体的。”[64]

埃尔希娅给C. W.的信上说，自从约翰上学后，就一直在大多数的课程上名列前茅，这表现出“他非凡的智商”[65]。九岁时，他已经跳级并赶上大他两岁的威廉，尽管威廉在同龄人中也是佼佼者。跳级无疑为约翰提供了更多的挑战机会，但是他后来自嘲地说自己“还没学会拼写单词”[66]。

约翰不到五岁时，查尔斯写信给C. W.说，这个男孩“表现出算术方面的天赋”[67]。在埃尔希娅的帮助下，约翰在数学

方面突飞猛进。8岁就学完了三年级的数学,[68]接下来的夏天掌握了四年级和五年级的课程,秋季的时候就掌握了六、七和八年级的学习材料。11岁的夏天,他同时交错地学习两门数学课程。"这样每门功课他只需要一半的时间。"但他父亲查尔斯写信告诉C. W. 说:"他只是侥幸把课程学得很好。"[69]之后查尔斯夸耀说,对一个成人都很难解决的问题,约翰总能找到捷径。埃尔希娅写信告诉C. W.:"约翰无疑是个数学天才。"[70]

约翰年纪相对较小,这点对他在学校交朋友产生了不利影响。尽管他更喜欢高级课程作业,但他受到了大他四五岁的同学的冷落,因为他们认为他太小,不适合参加他们的活动。不过他后来告诉采访者说,这恰恰给了他更多的时间来学习功课。[71]放学或周末的时候,他会在邻居家的同龄孩子中寻找玩伴。[72]他儿时的一个朋友记得他们一起度过的快乐时光:集邮,画门多塔湖的地图,傍晚时玩Run、Sheep、Run和Sardines的游戏。[73]约翰和比尔(Bill)都是劲头十足的集邮迷,并建立了他们自己的邮票交易"行"——四湖邮票公司。[74]和弟弟妹妹玩时,约翰有时会运用他的绘画技巧,为他们的玩偶屋制作纸娃娃和家具。埃尔希娅认为约翰的举动就他的年龄而言是成熟的,这让她相信"在社交方面,他是沉默寡言的,但他是以一种很像成人的沉着稳重、彬彬有礼的方式待人接物"[75]。

约翰和他的兄弟姐妹以及其他的邻家孩子一起热衷于科技。13岁时,他因为阅读了《创造性的化学》(Creative Chemistry)一书而对化学产生了兴趣。[76]此书描述一战时,美国的有机化学家是如何在德国的染料供应被切断时学会制造人工染料的。查尔斯很想培养儿子的科学兴趣,[77]于是从俄亥俄州的美国试剂公司买来了少量有机染料和其他的化工药品,供

约翰在地下实验室做试验。约翰曾尴尬地笑着告诉一个采访者:“我对一些材料进行染色,并做了一些把染料注射到鸡蛋里面的实验。我很想看看染了色的小鸡是怎样孵出来的。”[78]

20世纪20年代,约翰和他的许多好友被无线电的魔力所吸引。他们在户外花费了无数小时,接听由晶体检波接收机探测到的、新奇的电磁波所带来的声音。约翰用“从廉价商店里买来的电线,装燕麦片的盒子和草编手提箱以及晶体”[79],制造了自己的晶体检波接收机和接收器。他小心地把铜线绕在燕麦片盒上做成一个调谐线圈,整个装置(附有一副耳机)放在一只旧箱子里面。他会在夜间拿出这台收音机,希望听到从芝加哥传来的音乐。这需要很大的耐心,因为只有不断地拿电线戳方铅矿晶体才能偶尔触到一个“热点”,接收到微弱的信号。“有些男孩甚至把真空管接到他们的放大器中,但是我还从未这么做过。”[80]他描述道。

巴丁和他的朋友黑姆斯(John Hames)在童子军的旗语比赛中获得了第一名。两个男孩都是能手,他们被邀请为麦迪逊的美国未来的农场主作演示。他们走上大学的山顶,给他们发了信息:“我们在这里,上来吧。”

约翰的哥哥比尔生性开朗,他也参加了比赛并示范了旗语,[81]就是使用旗帜来代表莫尔斯电码中的点和划。约翰和比尔依旧关系很好。两个人形成了这样一种关系,不善言辞的约翰有时候会让比尔代他说话。后来,约翰也与妻子及几个好朋友建立了类似的关系。

约翰和比尔在同一年跳级进入了威斯康星大学附中的七、八合并年级——约翰从三年级,威廉从五年级。

此中学建立于1911年9月,初衷是建立一所培训中学教师以及尝试教育中的进步思想的实验学校。就它的办学理念

和组织形式来说，该学校有些像杜威的实验学校，尽可能加快学生的学习进度以保持课程的挑战性。学校的一个目标是“在他们升到九年级之前把中学的学习方法和课程介绍给他们”[82]。第四学期安排在夏天，[83]这可以让那些缺课或者落后的学生赶上进度。学校也允许最优秀的学生在三年里完成高中课程。

埃尔希娅尽全力为孩子们安排学习计划，让每个男孩都追求自己的兴趣爱好，避免可能的敌对竞争。他们在一起学习数学、英语和地理，但是“在其他课程上，她为他们选择不同的课程，以给威廉一种摆脱约翰的自由感”[84]。

与此同时，查尔斯·威廉——巴丁家族的族长——也开始把他的经验和思想传授给他的孙子们。C. W. 在约翰十岁生日的时候，送了他一本《横笛吹奏手的战争日记》(A Little Fifer's War Diary)，[85]这是一本自传性的回忆录，内容与他在内战时期度过的少年时代有关。C. W. 出生于一个坚定的废奴主义家庭，他把内战看作是一个纠正奴隶制罪恶的机会。不过，他也把内战看作是一次享受冒险的机会。他不顾母亲的反对，14 岁就离家参加了联邦军。

此书包括了年轻的 C. W. 在内战时期写下的日记条目。45 年后，他在这些日记中加了评论。回顾往昔，C. W. 认为自己以前曲解了真理，并把自己形容为一个“自以为是、自吹自擂、固执己见、桀傲不驯、莽撞无礼，虽然不懒散但也三心二意”的人。这个“完全让人讨厌”[86]的年轻人参加了内战，经历了最血腥的战争，包括弗雷德里克斯堡战役、钱瑟勒斯维尔战役、葛底斯堡战役，斯波特塞尔维那亚战役和荒原战役。但是他安然无恙，之后还生养了 5 个孩子。在书的前半部分，C. W. 记录下了他抚养孩子的理念：

我亲爱的约翰，很高兴能经常看见你们这些孩子，并

看到你们成长。你们的少年时代和我的很不一样，你们的机会要比我多得多。记住：所有的机会中最崇高的就是服务他人。[87]

多年以后，约翰为家庭成员保存了好几本此书复本。1975 年，他送了一本给他的侄女，因为她的年纪和查尔斯·威廉当年离开费区堡中学参加联邦军时的年纪相当。约翰告诉她，他祖父的一生总是“激励着我”[88]。他发现祖父书里的话“比当时他写的时候更有效”。

C. W. 在晚年继续冒险。[89]他有时会离开在锡拉丘兹的家，独自去欧洲或非洲旅行。他后来在《校刊》上写下了他的经历，描写他所参加的音乐会和演出，如伦敦萨沃伊剧院的吉尔伯特和沙利文的轻歌剧*，或者他的自行车环英国和德国旅行。在一次突尼斯的长途旅行中，他拍下了许多当地人有趣的照片。

C. W. 经常拜访麦迪逊的巴丁一家，他带去许多礼物，尤其是在圣诞期间，这为他赢得了埃尔希娅和孩子们的爱戴。在一封信中，埃尔希娅感谢他在她生日时赠送毛皮大衣，她写道：“我一直想要毛皮大衣，事实上我从记事以来还未拥有过一件。”[90]有一个圣诞节，C. W. 送给孩子们特别可爱的玩具，查尔斯和埃尔希娅开玩笑，说她“比孩子们更喜欢这些玩具”[91]。

甜蜜和慷慨在这个家庭中与严肃的家庭价值观合二为一，这包括工作服务、社会职责和精打细算。查尔斯每个月都捐款给美国的法国战争孤儿救济会，这在社会良知方面为约

---

* Gilbert & Sullivan，沙利文（作曲家）与吉尔伯特（剧作家）的合作团体（1871—1896），1875 年两人与剧院经理杜利·卡特（D'oyly Carte）合作成功后，组成卡特歌剧演出公司，该公司垄断伦敦舞台达 50 年之久。——译者

翰树立了人生的榜样。[92]约翰的节俭意识很早就表现出来了。一战时期的某一天，埃尔希娅写信给 C. W.：

> 一次约翰打开储蓄罐，付给父亲 10 美元，以购买战争债券。并且快要凑齐下一个 10 美元了，这样他就差不多付清了 50 美元战争债券的一半。他在学习方面和在金钱方面一样具有精打细算的意识。他不会在哪门课上不及格，就像他不会浪费买 50 美元债券的机会一样。[93]

巴丁用金钱来鼓励孩子们干家务。他给孩子们零花钱以换取他们履行家庭职责。至少有一阵子他们还遵循了唱诗班指挥的传统："做得不好就扣五到十美分。"[94]埃尔希娅怀疑，圣公会唱诗班指挥提供的小额金钱诱惑，是约翰和比尔继续参加少年唱诗班的动机。她总结道，货币体系的优缺点"使得约翰敢于反对各种不平等。有一天他凭着多年来积累的智慧，十分认真地对我说：'我认为一天吃两顿就足够了。'然而没有人比约翰更喜爱食物了"[95]。

约翰和威廉参加了许多体育活动，从教会联赛球队到游泳和跳水比赛。巴丁的家和门多塔湖只有几步之遥，所以孩子们学游泳很方便。夏天时孩子们会在湖里嬉戏和游泳，有时候他们从街道尽头的码头跳到水里。约翰不到十岁就学会从 20 英尺高的平台跳进水里，并且如埃尔希娅在给 C. W. 的信中所说，"他能够在花式跳水中做出特技动作。"[96]在约翰读一年级的那个暑假，在父亲的帮助下，查尔斯买了一艘带小马达的帆船。在湖上进行短途乘船游览是他和孩子快乐的源泉。[97]查尔斯的姐姐伯莎（Bertha）来了一趟麦迪逊之后，对"查尔斯在为人父方面的进步感到极为吃惊"[98]，并说他已经好得不能再好了。

冬日里的寒冷天气几乎不能减少他们户外运动的次数。滑冰和在结冰的湖面上划冰船成为巴丁全家整个冬季的运

动。到了春天,孩子们竞相比试谁最早跳入冰冷的湖面。在一个春天的早晨,住在湖边小屋的一个联谊会的人被窗外的嬉笑声吵醒了。透过窗子,他看到了巴丁家的三个孩子:约翰、海伦和汤姆,"他们穿着针织的羊毛泳衣,踩着冰冷的鹅卵石,相互怂恿对方跳进冰冷的水中。"最后三个人都跳进了湖中。"我看着他们就直打哆嗦。"[99]

埃尔希娅一有机会就同查尔斯一起打高尔夫球。有一个夏季每天都打高尔夫球,一直坚持到8月底。[100]她成功地把平均杆数从75杆减少到了55杆*。到1910年夏,查尔斯已经养成了一个习惯,"几乎每天下午"[101]都打一轮高尔夫。对他来说,这是放松身心、陷入沉思的时间——有时候会发生一些可笑的事件。据一个家庭故事中说,查尔斯从高尔夫球场驾车回家,路过一家杂货铺买烟,然后就步行回家了。当晚他找不到车子,于是报警说车子被偷了。车子很快就在杂货铺门前找到了——查尔斯忘在那里了。[102]

夫妇俩把他们对高尔夫球的兴趣传给了孩子们。约翰很小的时候就跟着父母去高尔夫球场,在未到打球年龄前给他母亲当球童。他一到可以挥杆的年纪就开始学习这项运动。[103]同父亲和祖父一样,成人后的约翰把儿时对高尔夫的兴趣发展成对高尔夫的热情。[104]

约翰九岁时,他父亲写信告诉C. W.说,埃尔希娅患了癌症。查尔斯在一封平常的家书中提到这个消息,专门写了一段话。凭借着外科医生训练出来的客观,写下了这个事实:

> 冬天时,我们发现埃尔希娅的乳腺有一点增生,最后看来,最好的办法就是进行我所说的根治手术,完全切除乳腺以及周围的组织,以防止肿瘤的扩散。3周前杰克

---

* 当时9洞的高尔夫球比18洞的球场更普遍,也有12洞的球场。——译者

逊医生(Jackson)施行了手术,现在埃尔希娅又在家了。做了这么大的手术后,她的状况可想而知。还要过一段时间她才能抬起右臂以及写信。这是不幸,但如果它一定要降临的话,及时地加以控制是一件好事情。[105]

埃尔希娅从1918年2月的大手术中恢复得很快。但不到一年,增生再次出现,她只好进行第二次外科手术,接着进行了X射线治疗。查尔斯在自己的研究中使用过X射线,他或许比任何人都清楚,埃尔希娅已经在这场生命的战斗中失利。[106]

1895年发现的X射线在20世纪已经被用于诊断。但在很长的一段时期之后,医疗研究者才把放射疗法作为癌症的标准疗法。[107]查尔斯尽其所能在医疗界拉关系,[108]但与同行们的讨论只是加强了这个事实:药物在癌症病人的治疗中只能起很小的作用。当时最好的专业技术就是大胆地切除表面的和乳腺的肿瘤,并在治疗中谨慎地使用X射线。激素疗法、化疗、乳房X射线照片、巴氏(子宫颈抹片)试验以及激光治疗都是闻所未闻的技术。医生们对于使用射线来治疗一般的癌症尚无信心。医生们已经知道,射线本身也会在某些情况下引发癌症。[109]

对于巴丁一家来说,1918年到1920年是一个从希望到绝望的转变期。每次埃尔希娅从手术和X射线剧烈的影响中恢复过来,不是长了新的小瘤,就是又得了其他的病。当时,美国45岁以上的妇女中,每八人中就有一个死于癌症,[110]埃尔希娅的存活机会不被看好。

一战之后的1919年3月,一次肆虐全国的重度流感[111]暴发,家里大部分人都染上了流感。在埃尔希娅、威廉、海伦和汤姆都住进了校医院之后,这个平时熙熙攘攘的家庭现在变得异常寂静。约翰和查尔斯第一次有相当多的时间单独相

处。查尔斯写信给 C. W. 说，他“比往常更频繁地看到约翰，发现他是一个很好的伙伴。他每晚都用做代数和几何题来自娱自乐，看起来也的确很有天分”。[112]当家庭的其他成员遭受疾病的折磨时，有序而可测的数学世界对于约翰来说一定是一个天堂。

全家人逐渐从流感中恢复了健康，但是埃尔希娅的身体状况继续恶化。[113]随着疾病带给她越来越多的压力，她一定也知道自己正在逐步衰弱。放疗的副作用加重了她的痛苦。但她还是不屈地为自己的生活增添色彩，在死前不到一年的时间里，她还担任麦迪逊一家刚刚成立的园艺俱乐部的主席。

她开始花费大量的时间外出，不是去离她很近的密尔沃基市的私人医生那里，就是去芝加哥接受其他治疗。在 1919 年炎热的夏季，埃尔希娅的朋友玛丽·莫里斯（Mary Morris）到密尔沃基的医院看望她。莫里斯写信给查尔斯说，埃尔希娅“看起来一点不像生病的样子，一直保持着可爱的微笑”。玛丽承认从未看到过“埃尔希娅在难受的时刻所表露出来的那种自制和坚毅。[114]她让我们充满了敬意”。在她生命的最后一年，埃尔希娅几乎不间断地重复经受可怕而痛苦的外科手术和 X 射线治疗，让她在好几周内都感到衰竭和不适。查尔斯担心她的恶心可能是由于“歇斯底里和想家”所引起的，但是芝加哥的一名医生认为这更有可能是由“相当大剂量的 X 射线照射”[115]引发的。给埃尔希娅看病的密尔沃基市的医生也否认恶心是由于心理上的虚弱造成的，他说“她并不是那样的女士，至少现在看来不是”[116]。

随着埃尔希娅的生病和频繁的离家，巴丁家变得一团糟。查尔斯需要一个管家，但却找不到一个既愿意又有能力照看好 4 个孩子、一幢大房子以及生病的妻子的人。这项工作需

要钢铁般的意志。[117]

1920 年 4 月 10 日，埃尔希娅刚刚接受了放射治疗，从芝加哥回来。她想回门多塔路和家人呆在一起。前一天，查尔斯写信告诉他的父亲说，她可能最多只能活一年了。他和埃尔希娅的医生都没有告诉她这个事实，“尽管她显然有时也会对此表示怀疑”[118]。家里没有人能够好好照料她。她被安置在大学医院的一间病房里，这样查尔斯和孩子们可以很方便地去探望她。对约翰来说，“医院就在大学和家之间，这样从学校回家的路上我就可以去看她了。”[119]

治疗并不能有效地抑制癌症，也让埃尔希娅很不舒服，以至于难以进食。她的体力逐渐衰退。C. W. 给她带来了一些酒，这是他偷藏起来的，以备禁酒时的不时之需。她努力地啜了一口，“她说酒很可口，”[120]查尔斯写道，“她很感激你送来了酒。”此时癌细胞已经侵入了她的肺部，已经没有恢复的希望了。

4 月 19 日傍晚，约翰顺便去探望母亲。“我觉得那天她看起来气色不错，心情愉快，”他回忆道，“第二天听到她去世的消息时，我惊呆了。我尚未意识到她病得那么重。”[121]她享年 47 岁。那时约翰快 12 岁了。查尔斯几天后写信给他的父亲：“她和比自己力量大得多的病魔作了最勇敢的搏斗。她有许多异乎寻常的禀赋，伴随她走到生命尽头的令人惊叹的勇气是其中最重要的一个。”[122]

第二天，4 月 21 日，埃尔希娅的讣告登载在《麦迪逊民主报》(Madison Democrat) 上，上面还登载了一篇匿名的颂词，歌颂“她对同胞有着真挚的情感，无时无刻准备为他人牺牲时间和劳力。这一切让她的一生快乐而充实”[123]。这篇文章强调了艺术在她生命中所扮演的角色。“她从所有的艺术作品中感受生命的跳动，她认为，最自私、最脆弱的人也可以在

艺术作品所蕴含的正确引导下达到更高的层次。”

查尔斯感觉自己处于一种绝望的境地。在追悼妻子时，他突然为一种强烈的现实责任感所包围。他身兼管理者、教师和研究者的积极生活，极大地依赖于埃尔希娅的家务管理和对孩子的抚养。他那系主任的工作和不间断的医疗研究占用了他大部分的时间。一年前，48 岁生日时，他写信给父亲说，他“花了 12 到 15 个小时”[124]完成了一篇关于“成长时期的身高和体重的比例”的论文。

埃尔希娅刚一去世，查尔斯的姐姐伯莎就到他家帮助照顾孩子、料理家务。她的到来给全家一次暂时的休整。[125]放暑假时，查尔斯把孩子们送到各个亲戚和朋友那里——汤姆和海伦送到了雪城的 C. W. 那里，约翰送到他的叔叔（查尔斯的哥哥）在密歇根的家。“我们就这样度过了夏天。”[126]

对约翰来说，埃尔希娅一直是关爱和安宁的源泉。他的世界里有较他年长的伙伴，有家长寄予的厚望，而埃尔希娅帮助他在他的世界里找寻方向。他的青少年时代不得不在没有她的情况下度过了。

第三章

成为一名工程师

那年夏天，孩子们不在时，查尔斯就向他的秘书露丝·黑姆斯（Ruth Hames）献殷勤。孩子们早在拜访父亲的办公室时就认识了露丝，而且她还是约翰参加童子军旗语比赛合作伙伴的姐姐。28岁的露丝比查尔斯小20岁。“我还一直在玩高尔夫球，但有时不玩高尔夫，而是同露丝一起骑摩托车兜风。”[1] 查尔斯于8月底写信给C. W.：“露丝和我将在10月6日结婚。”

露丝很耐心地努力改善着这个家庭的混乱状态。[2] 比尔、约翰和海伦平静地接受了她的出现。但是埃尔希娅去世时年仅8岁的汤姆却十分憎恶露丝，[3] 尤其是当查尔斯和露丝结婚不到一年就生下了他同父异母的妹妹安（Ann）时，两人之间变得更加难以相处。当汤姆的玩笑开得过火的时候，约翰总是出来充当安的“救世主”[4]。

埃尔希娅去世后的第二年，约翰在大学附中的成绩，尤其是法语成绩下降了。后来他宣称自己没有语言方面的天赋，但是在1919年时，埃尔希娅曾写信告诉C. W.，约翰的法语水平“领先于全班”[5]。在埃尔希娅去世后一年，约翰的法语老师写信告诉查尔斯，尽管约翰“现在并没有不及格，但是这一年我感觉到，呆在这个班级他并不能发挥最大的学习能力”。

从巴丁的高中成绩看不出他今后的伟大成就。在大学附

中,他得到更多的是“好”和“中等”而不是“优秀”[6],甚至在某些数学课中也是如此。但是成绩单并没有空白的地方让教师写评语,所以他的成绩单也反映不出他要比同龄人超前三到五年这样一个事实。

查尔斯认为大学附中培养了约翰的数学才能。他告诉C. W. :“只要学生有能力,他就可以在任何科目上以最快的速度前进,这里也不存在困难而快速的升级体系。”[7] 他认为如果约翰就读普通中学,那么他“不仅要比现在落后好几年(这本身不是什么严重的问题),而且普通的教学方式会僵化他的思维,使他无法得到好的心智训练”。

约翰七年级的数学老师沃尔特·W·哈特(Walter W. Hart)让约翰认识到自己在数学方面的才能。“他看到我对数学如此感兴趣,就给了我许多额外的作业和指导。”[8] 哈特同时也在威斯康星大学教育系任教,他编著的数学课本系列《身边的数学》(Mathematics in Daily Use)颇受欢迎,[9]50年长盛不衰。

有一次,哈特注意到这个年纪最小的学生把注意力放在课堂讨论之外。约翰“坐在靠门那排位子的最前面……完全在做个人的事情”[10]。当哈特问约翰在做什么的时候,他说自己“正在一张纸上做一道题,难度比班级正在讨论的例题超前得多”。哈特允许约翰坐在教室的后面,按照自己的进度解决书上的问题。一些同学就此事质问他时,他请班上的其他同学“管好自己的事”。哈特把这件事说成是“得到过批准的走神”。后来,巴丁总是深情地回忆起哈特。1962年他写信给哈特:“你是第一个激发了我对数学的兴趣的老师,我向您表示最诚挚的感谢。”[11]

即使在埃尔希娅去世的打击下,约翰还是在13岁时完成了大学附中的所有课程。但是由于他“对这么年轻就毕业感

到有点心虚”，所以他和比尔决定去麦迪逊中心中学再读两年，学完那些附中没有开设的数学、科学和文学课程。约翰满15岁、比尔满17岁时，他俩就在麦迪逊中心中学完成了他们感兴趣的所有课程。此时的他们再也没有理由延期读大学了。1923年秋，两人同时进入了威斯康星大学的新生班。

住在家里的约翰想成为一个“大学生”，也许为了看上去年长一些，他开始抽烟，他的父辈们将香烟称之为“棺材钉”[12]。

运动让约翰在社交方面取得进步。尽管他的年龄和身材都相对较小，但是他在大二、大三和大四的时候都参加了校游泳队。他还参加了校水球队，并赢得了校名的首字母标志。大三的时候，《威斯康星大学獾州人年鉴》(Wisconsin Badger Yearbook)提及他“在200米蛙泳比赛中出色地赢得了第一”[13]。年鉴中游泳队的照片向我们展示了一个体格健壮的年轻人放松地站在游泳池边。

约翰大二时加入了捷塔—普赛大学生联谊会*。查尔斯不欣赏联谊会的嬉闹，拒绝为约翰支付会费。约翰通过暑期打工和玩扑克牌或台球赚钱。[14]他发现自己在打台球方面很有天赋，并成为了开仑三颗星台球**比赛的冠军。[15]他那不以为然的举止很可能激起了那些毫无戒心的学生的斗志，结果后者总是惊讶地发现他们落败。他赚不到足够的钱支付食宿费，所以只好继续住在家里，[16]偶尔也在家里吃上一顿。

从很大程度上说，捷塔—普赛联谊会是个交友会而不是学术会。联谊会也许深深吸引了巴丁。学校不会“因为行为或道德上的缘故找捷塔—普赛的麻烦”[17]，男生教导主任如是

---

* 美国大学生联谊会以希腊字母命名：捷塔(Zeta)(Zζ)；普赛(Psi)(Ψψ)。——译者

** 一种不以进球计分的、比赛母球控制能力的难度规则。——译者

说。但他不得不承认“他们算不上很好的学生”。约翰的成绩也并不突出。他的大学成绩报告单[18]显示他的分数分布于“差”和“优秀”之间。他的朋友们也并不记得他是一个在学习上花很多时间的人,尽管他比联谊会里面的大多数成员要优秀。[19]

被朋友们称为“达奇”的奥斯特豪特(Walter Osterhoudt)是派—喀帕—阿尔法*联谊会的会员。派—喀帕—阿尔法联谊会位于门多塔湖畔,从巴丁家沿街往下走就可以到达。当达奇和约翰一起上工程学的课时,奥斯特豪特感觉约翰上课“只是走进教室和走出教室”[20]。“我以为他从不学习。”约翰也并不总是在上课时学习。“他不必像我们一样重复单调而繁重的工作。”奥斯特豪特确实记得巴丁的一些老师们对他的学习表现留有深刻的印象。

巴丁认识许多派—喀帕—阿尔法联谊会的学生,因为他和他的兄弟姐妹们经常在派—喀屋后面的水里和码头上玩。在大学时代,他同几个派—喀帕—阿尔法的朋友一起喝酒打闹是很正常的事情,[21]他们中的几个一度追求过约翰的妹妹海伦。

奥斯特豪特还记得1928年夏天派—喀帕—阿尔法联谊会的一次冒险经历,当时巴丁也参加了活动。有人(派—喀帕—阿尔法联谊会怀疑是另一个与之竞争的联谊会的成员)打电话通知警察,投诉派—喀小屋派对吵闹。警察对联谊会进行了突袭,用敞篷车把狂欢者送到了市政厅。他们在那里作了笔录。这些肇事者被关在醉汉拘留所过夜。但是他们被关进去后,一个医学专业的预科生发现,房间中间一个仰卧的老人并不是在熟睡,而是已经死了。吓坏了的学生发生了骚

---

* 派(Pi)(Ππ);喀帕(Kappa)(Kκ);阿尔法(Alpha)(Aα)。——译者

动，并成功把自己解救回家，虽然仍心有余悸。[22]

巴丁在大学时代的另外一个事件揭示了他在青年时代是如何体验世界的。17 岁时，当他骑车冲向大学大道的时候，前面的一辆车子掉落一根车轴，约翰猛地撞了上去。结果冲力把他扔到了汽车的挡风玻璃上，身上留下了一些瘀伤和划痕，看上去比生命受到威胁更吓人。他满脸是血地跑到校医院，但是医生和护士们似乎都有更重要的事在忙，没有马上过来替他疗伤的打算。他的脸上写满了恐惧，他一边跺脚，一边声明："我爸爸是医学系的主任，我需要服务！"[23]

数学依旧是巴丁最喜欢的科目。他喜欢解谜。但他也坚信自己不想最终成为"一个大学教授"[24]。他的朋友大多是当地商人的孩子，所以对他们和巴丁来说，搞研究是相当乏味的。[25]他决定主修电子工程学，因为他"听说那门课要用到大量的数学"[26]，而且他知道工程师赚的钱比数学家多。但是在他跟随哈特进行了富有挑战性的学习之后，巴丁对解析几何和工程学课程中用到的其他数学科目感到厌烦。于是他开始自学微积分。

巴丁在大学里找到了认可他的数学才能并鼓励他的导师——个子不高、圆脸、为人和蔼的韦弗（Warren Weaver），[27]后者后来成了洛克菲勒基金会资助的科学项目的负责人。在一项独立数学研究中，他在有关边界值问题的科目和微分方程课上指导巴丁。在韦弗的课程中，巴丁发现了一种构建数学理论和数据之间关系的运算方法。韦弗仅仅把理论看作是由更基本的观测事实产生的类推。在记述韦弗电动力学课的笔记本的第一页，巴丁写道："在涉及一组物理现象的具体理论中，在观察事实和有条理的数学结构这一逻辑结果之间表现出一种类推。这种类推构成了理论。"[28]

1906 年到 1929 年间，爱德华·范弗莱克（Edward Van

Vleck)担任威斯康星大学的数学教授。他也是巴丁的导师。这个"威风、整洁而缄默"[29]的教授骑车经过校园时令人生畏。"他的红胡子飘在前面,燕尾服后摆飘在后面。"爱德华曾在德国求学,是一个从欧洲引进了先进的数学研究方法的美国学术小团体中的一员。[30]他以偏爱优等生并最大限度地挖掘优等生的潜力而声名远播。他不仅以自己的学识和教学,还以其在美国数学协会的领导地位影响了数学界。

但是,对巴丁来说,爱德华·范弗莱克或韦弗对他的重要性远不及爱德华的儿子物理学家约翰·范弗莱克。比巴丁大9岁的约翰·范弗莱克在1928年秋天到威斯康星大学执教,引进了现代量子物理。"大学在应用数学方面实力很强",巴丁回忆道,"但是直到范弗莱克到来之后才开始重视量子物理。"[31]

同巴丁一样,约翰·范弗莱克也是在麦迪逊长大的,他出生于1899年。哈佛大学的第一位理论物理学家肯布尔(Edwin C. Kemble)指导了他的有关氦原子能量计算的博士论文。作为早期的对比氢更为复杂的原子进行的研究,范弗莱克的论文为了解更重的原子、分子和以后的固体奠定了基础。在早期的"老的量子理论"的工作中,范弗莱克把1925年前的量子概念应用到了传统的物理问题当中。

范弗莱克同哈佛大学的实验主义者布里奇曼在毕业课题上的合作使他对固体结构和磁产生了兴趣。他以其关键性的论文《电极化和磁化系数的理论》(The Theory of Electric and Magnetic Susceptibilities,1932)[32]为顺磁性和铁磁性研究领域奠定了坚实的基础。这篇文章对经典物理理论的缺点和量子力学的优缺点进行了仔细的考察。

范弗莱克在威斯康星大学一门两学期的新课程"物理212"中教授量子力学。巴丁在1928/1929学年选修了这门课

程。作为“美国史无前例的课程之一”[33]，这门课程使巴丁第一次真正地了解了量子力学。他觉得量子力学很有趣。

始于1925—1926年欧洲的量子力学，主要研究原子和原子核现象，这是一个经典物理学止步不前的领域。量子力学这一革命性的理论动摇了包括力学、电学、磁学、光学和热力学以及其他经典物理学领域的基础，也解决了诸如光是粒子还是波的争论。光被看作是一种具有波粒二象性的特殊物理现象。衡量原子和原子核大小的方法改变了人们对光的传统认识。

新理论的最大变化在于抛弃了严格的因果关系。在新的理论框架中，粒子及其属性由概率法则支配。它们是由一种被称之为波函数的数学概念来确定的。要确定某种物理属性——譬如一个物体的质量或动量——就必须通过一个波动方程来求得波函数。通过求得波函数的振辐面积，可以获得所求属性取特定值的概率计算方法。

巴丁还选修了另一门研究课程，这门课以范弗莱克于1926年编著的教科书《量子原理和线状谱》(Quantum Principles and Line Spectra)[34]为研究基础。课本和课程都传达着一个正在经历革命性改变的前沿领域。毫无疑问，新旧世界正发生着撞击。范弗莱克讨论的工具之一是“对应原理”，这是一种把传统物理学领域的已知理论和新领域的未知理论联系起来的启发式方法：在交叠的领域中两种物理学，应该保持一致。数十年之后，巴丁应用了类似的过渡性原则来研究金属中相互作用的电子气。

范弗莱克鼓励巴丁认真考虑是否把物理学作为职业。尽管“物理学吸引了我的兴趣”[35]，但是巴丁尚未准备好投身于物理学界。似乎“投身于物理学界和数学界的唯一机会就是在大学教书——我想那是我最不愿意做的事情”![36]然而，为

了达到研究生院的要求，他学了一年德语。他应该改变主意了。之后，他还参加了研究生水平的物理学课程。

著名的荷兰理论物理学家德拜在麦迪逊呆了一个学期。巴丁选修了他“十分有激发性”[37]的统计力学和许多现代物理学的研究课程。他觉得德拜是一个“杰出的老师”：上课生动活泼，“条理清晰”。巴丁特别欣赏德拜愿意将自己正在做的有关 X 射线和电子的偶极矩和衍射的研究展示给学生。德拜的研究在量子力学领域处于领先地位，巴丁对此感到特别兴奋。

巴丁在威斯康星大学物理系的另一个导师是狄拉克，当时他 27 岁，是量子力学的创始者之一。他于 1929 年夏天在麦迪逊呆了 6 周。同巴丁一样，狄拉克从学生时代起就热爱数学，但却选择了工程师的道路。当他未能如愿成为一名工程师时，先后在布里斯托尔大学和剑桥大学学习了数学的研究生课程。狄拉克在麦迪逊的授课内容包括了他后来出版的经典教科书《量子力学原则》(The Principles of Quantum Mechanics)[38]中的大部分内容。巴丁对狄拉克的“优雅的形式主义”有深刻的印象，但同时他又感觉“还有很多东西仍然是谜”[39]。他在这门课上从没有得过 A。

巴丁求学期间，在麦迪逊任教过的其他一些欧洲知名理论物理学家有海森伯和索末菲(Arnold Sommerfeld)[40]。在索末菲这位伟大的物理学家开创金属量子理论后不久，巴丁就去听了他有关金属电子的讲演。“我听了他的演讲，但当时并没有受激励进入那个领域。”[41]巴丁以后将会改变这一想法。

由于巴丁比他的同学们要小得多，他毫不犹豫地选修了一些额外的课程，以拓展必修课之外的领域。他可以抽出一个学期的时间来工作，于是 1926 年秋，他延长了暑期的工作

时间——这是取得工程学学位的必要条件。他在西方电气公司检测开发部工作，职责“包括为某些关系到公司利益的项目开发检测方法”。巴丁认为这份工作很重要。“我还年轻，并不急着毕业。”[42]他一直呆到了圣诞节。

由于巴丁选修了额外的课程，又在西方电气公司工作，所以拖延了一年才取得电子工程学学士学位。尽管如此，1928年6月毕业时，他才20岁。[43]由于那时他已经完成了一些硕士课程的作业，所以他决定先取得硕士学位。1928年至1929年，他成为了彼得斯（Leo J. Peters）的研究助手，[44]从而取得了接受指导的机会。彼得斯是巴丁的硕士论文导师，他是一个文静、和善的人，在电子工程学领域深受尊敬。他在童年时曾遭受过雷击，后遗症就是不得不透过厚厚的镜片来观察这个世界。[45]

彼得斯对石油的电子勘探这一新兴领域很感兴趣，[46]这是地球物理学的一个分支，把地质状况与石油储备联系了起来。电子勘探的主要问题是解决地壳电子常数的测变化与地壳下矿物质的关系。当时，地质勘探还只是一门技术，彼得斯希望能使之成为一门科学。

20世纪上半叶的一本海湾石油公司的畅销书记录了老式的石油勘探方法：“把鼻子埋进一捧黑土中嗅石油的味道，搞得满鼻子的泥。”[47]“研究小溪和水坑以寻找油苗和气泡，擦着火柴来检验气泡是否会燃烧，或者用脚来摩擦地面以寻找石腊垢。”而另一方面，新的勘探者则使用先进仪器进行测量：用地磁仪测量磁场的变化，用重力仪测量重力的差别，用地震仪测量通过地下爆破引发的微型人工地震。因为汽车和其他技术对石油的需求量不断增长，海湾石油公司等企业在地质勘探上投入了巨资。

在硕士论文中，巴丁构思了一个课题，该课题模拟石油存

在的情况下可能遇到的各种情形。在一篇他和彼得斯合著、发表于1936年的基于其理论的文章中，巴丁讨论了如何“根据该地区的地质状况和其他数据，将传导性图转化成该地区的地下结构图或矿物含量图”[48]。此法先要在某个合适的地点发出一股电流，或者在某个特定的区域建立变化的磁场以产生电流。下一步就是测量地表的电流量。把这些测量数据输入到基于已有地质数据的运算中，就可借助经典的电磁理论来弄清地表下的矿物。

1929年春，巴丁完成了硕士论文，带着换专业的想法，他试修了“物理，最好是去欧洲进一步深造”。他申请了英国剑桥大学三一学院的物理研究生资格。[49]彼得斯在一封热情洋溢的推荐信中说：“在分析能力方面，巴丁先生超越了我所知的任何一名学生。他以一种巧妙而独特的方式来处理难题。”[50]韦弗把巴丁说成是一个“独立性很强的年轻人，能最出色地完成自己感兴趣的工作，偶尔会忽视那些不感兴趣的东西。”[51]他还说，威斯康星数学系认为巴丁是“我们多年来能找到的最有能力的人选”。韦弗个人认为“巴丁很有可能通过这次机会被证实为天才”。

范弗莱克也支持巴丁申请三一学院，他写了一封信给曾负责狄拉克的研究生学业的物理学家福勒（Ralph H. Fowler）。“巴丁先生是一个不一般的学生，无疑是我所遇见过的最优秀的两三个学生中的一个。他正在上我的量子力学课；他掌握这课的速度是如此之快，以致有时会因为我讲得太慢而感到无聊，而且他不必全神贯注就可以轻易地领先于班里的其他人。”[52]福勒把范弗莱克的信转交给一位资深导师，并附上了一张手写的便条，把范弗莱克说成是一个“具有欧洲水准、判断力很强的人”[53]。但是巴丁还是没能获得学习资格。

他不知不觉地开始了下一年度的研究生学习。彼得斯离

开麦迪逊去匹兹堡工作时，巴丁在1929/1930学期担任了威斯康星工程系主任贝内特(Edward Bennett)的研究助手。在贝内特的提议下，巴丁开始从事无线电波长段的电磁波衍射和天线的设计。计算要靠传统电磁学理论。起先巴丁对于这些研究充满热情，因为它们可以进行预测。巴丁在贝内特课程的笔记中写道："学习各门学科的主要目的，是利用本学科所研究的现象来进行预测。"[54]

贝内特为"巴丁对自己能力的谨慎相信"[55]所打动，希望他能够在威斯康星大学进一步深造。但是巴丁对天线的兴趣日渐减退。他在选修其他数学课程时发现，他可以选修的高级课程只有兰格(Rudolph Langer)的微分方程和解析函数。巴丁并不觉得这些课特别有趣，[56]离开的时间到了。

1929年秋，美国电话电报公司招聘工程师研究波传播和天线设计。公司的招聘人员弗赖伊(Thornton Fry)[57]在听说了巴丁在天线方面的工作后同他联系，打算给他这份工作。但是这一职位很快就化为泡影，因为美国陷入了大萧条。到1930年春，美国电话电报公司同许多其他公司一样，暂停了新员工的招聘。

很快新的机会又来了，匹兹堡的海湾石油公司为巴丁提供了一份地球物理学家的工作。这份工作邀请可能是彼得斯促成的，因为他刚跳槽去了这家公司。彼得斯怂恿巴丁接受公司的职位。对约翰来说，作出决定并不困难。这不仅仅是因为海湾公司是当时美国仅有的几家有能力招聘的企业之一，而且巴丁觉得这份工作要比天体设计有趣得多。"这是地球物理学刚刚起步的日子，"巴丁后来回忆道，"即使是在萧条的年代，石油公司依旧是比较繁荣的。人们为了开车不得不买汽油。"[58]数年之后巴丁说："即使当时可以在美国电话电报公司和海湾石油公司之间进行选择，我无论如何也都会

选择海湾石油公司。”

1930 年夏，巴丁驱车前往匹兹堡，美丽的阿巴拉契亚连绵的山丘向他表示欢迎。青翠的乡村掩盖了当地农民难挨的贫困，这些农民不断地同遍布岩石的土壤作斗争。煤矿工人和钢铁工人危险的工作环境也被这美丽的景色所掩盖。

当匹兹堡的钢铁厂和其他重工业让巴丁意识到他已经进入这个城市时，他注意到了令人窒息的烟云正飘浮在建筑物的上方。他直奔奥克兰克的拉夫特大街，那里是匹兹堡大学校舍所在地。然后他找到了海湾研究实验室。当时，这些实验室设在一幢现代的三层钢筋混凝土建筑里，顶楼的窗户还用青铜进行了装饰。这幢结实的房子是一年前刚建成的。巴丁找到了彼得斯，后者把他介绍给了几个同事。

巴丁在找到公寓前需要一个临时的住处。找房子需要时间，因为住得起的房源非常紧张。海湾公司的另一个新雇员主动给约翰提供了一个宿舍的床位。“他当时又累又脏，衣服皱巴巴的，没地方睡觉。我在卡内基理工学院拿到理学学士学位后在海湾公司找到新工作。当时住在理工学院的恩格尔·布雷希特宿舍，我邀请约翰同我一起去那里住。夏天时那里有空床位。”[59]

巴丁满怀感激地接受了床位。恩格尔·布雷希特宿舍是卡内基学院七个男生宿舍之一。[60]房间小而简朴，大约 8 英尺宽、14 英尺长。每个人有一张床、一个衣柜、一张桌子和几把椅子。每一层楼都有公用的盥洗设施。

巴丁在恩格尔·布雷希特宿舍呆了很短的一段时间后，搬到了东区的工人住宅区，住进了一幢大小适中的红砖公寓。[61]在那里住了两年后，他又搬到了好一些的离匹兹堡大学和卡内基学院不太远的山间公寓。

根据传说,海湾石油公司是靠得克萨斯一口盲目开采的油井发家的。1901 年 1 月 10 日该油井开始产油,“由于石油喷发过于猛烈,钻井装置都被毁了,原油在周边的乡村形成了一个油湖。”[62]钻井者和两个勘探者从匹兹堡的梅隆父子银行借了 30 万美元,合伙成立了 J·M·古费石油公司。

1907 年,梅隆银行买断了古费公司,一年后成立了海湾石油公司。威廉·L·梅隆(William L. Mellon)是银行家兄弟安德鲁·W·梅隆(Andrew L. Mellon)和理查德·B·梅隆(Richard L. Mellon)的侄子,他成了新海湾石油公司的总裁。他想要创建一家整合“从陆地和海洋的油田开掘到在加油站注满顾客油箱等所有事务”[63]的公司。1913 年,海湾石油公司创建了世界上第一家免下车的加油站。

到了 20 世纪 20 年代,公司开始在研究上投入资金。实验室以“当地质学家的经验和知识与物理学家的方法相结合时”[64]才最有可能发现并开采出石油为依据,开始物色最出色的科学家。很快,管理层就意识到:要留住那些最好的科学家,就必须为他们提供可与大学相媲美的工作环境。

海湾石油公司的招聘策略成功地吸引了那些最好和最聪明的科学家。[65]1925 年,地质学家希尔德(K. C. Heald)从耶鲁大学来到海湾石油公司,经协商获得一个管理基础研究的职位。希尔德又吸引了当时在美国标准局工作的物理学家富特(Paul D. Foote)来公司工作。公司允许最终成为公司研究部副主管的富特同时拥有在匹兹堡梅隆学院的研究职位。两年后,地球物理学家埃克哈特(E. A. Eckhardt)加入了研究所;1929 年彼得斯也加入了进来。这样,以科学家赫勒尔德(K. C. Heald)、富特、埃克哈特和彼得斯为研究核心,海湾研究实验室成立了。公司通过积极的用人策略,不断聘用有发展潜力的年轻科学家和工程师。研究部的成员从 1928 年的 28 人

扩展到20世纪50年代早期的1700人。

海湾石油公司的地质学家使用不断改良的测量设备，记录下了每个钻孔的地球物理属性，无论是否钻出油。巴丁和其他的科学家一起，通过这些记录计算出在某个特定位置找到石油的可能性。尽管巴丁主要负责研究电磁勘探和解释磁性勘探结果，但他也研究电子、重力以及地震学的勘探方法。他回忆道："正是在地球物理学发展的初期，许多新想法产生了，许多新的物理理念加入了进来。"[66]很快，他便负责一个超过15个人的团队。几年之内，他发现工作中所遇到的问题既有趣又富于挑战性。

在磁场勘探的工作中，"我们从矿区和试验中获取数据，然后加以解释。"[67]巴丁解释道。但是他对这份工作本身不可靠的基础感到担心。"可能有人认为引起磁化的岩石被均一地磁化了，因此可计算出是什么物质结构产生了可从地表测量到的磁场。"他非常清楚地认识到"均一磁化论的假设肯定是没有根据的"。

巴丁也研究电子勘探，通过测量电阻率的变化可以得到石油储量的信息。基本的假设是"电阻率随着岩层平面的变化而变化"[68]。在1932年的《物理》(Physics)上，巴丁和彼得斯在一篇文章中警告说，通过这种电子测量得到的数据不适用于2000英尺以上的深度。彼得斯在后来的一篇论文中更详细地描述了这一理论，[69]该论文获得了1949年地球探测物理学家协会最佳论文奖。

巴丁通过参与一些轻松的社交活动来调节他的工作，但仅限于一些便宜的消遣，如打保龄球。起先，他并不知道从门多塔湖来的派—卡帕—阿尔法联谊会的朋友达奇·奥斯特豪特也被海湾实验室录用了。一开始奥斯特豪特拒绝了埃克哈特开出的150美元的月薪，他觉得太少。一个月

后，埃克哈特再次邀请奥斯特豪特，问他是否知道巴丁刚接受了一个月薪175美元的职位。“你觉得自己有比年轻的巴丁强的地方吗？”[70]奥斯特豪特讨价还价，将月薪提到了160美元。

达奇和约翰在工作时几乎碰不到面。“约翰在实验楼背侧的一个小房间里研究磁学。我在二楼的地震探测部工作。”[71]不久，奥斯特豪特的大部分时间都耗在到很远的地方勘测石油上。但每当他从油田回来，两个朋友就聚在一起喝啤酒。

到海湾石油公司的第三年，巴丁发觉自己又处在了一个十字路口。他勇敢地面对了自己越来越强烈的信念：“如果我准备从事地质学研究，那么我就需要学习更多的地质学知识。”[72]地质学从未像数学或理论物理学那样强烈地引起过他的兴趣。不知是通过富特还是鲁阿克（Arthur Ruark）——这两人均同时在海湾石油公司和匹兹堡大学供职，巴丁了解到大学会定期举行关于现代物理学的讨论会。他决定去参加。“因为这占用的是他日常工作之余的个人时间。”

讨论会是由鲁阿克和哈钦森（Elmer Hutchinson）组织的，“最多由八到十人参加，参加者通常是来自于匹兹堡大学和卡内基理工学院的教师和研究生，”[73]关注的是现有的一些研究课题。会议有时由一个固定的成员主持，偶尔也会邀请外地来访的学者主持。巴丁觉得讨论会的交流比公司的工程师工作更令人兴奋。[74]

巴丁很快意识到，更换职业并从事数学或物理等方面的研究需要进一步的深造。他一心想去普林斯顿大学读研究生，“因为几年前，那里刚刚成立了非常好的数学系和高等研

究院。”[75]他认为:“我自己赚钱养活自己,所以可以选择自己想去的学校。”1932 年深秋,约翰同父亲查尔斯讨论了自己的计划。他告诉父亲自己“觉得大学生活并没那么糟糕”[76],他对学习数学感兴趣。12 月,查尔斯写信给普林斯顿研究院的首任院长弗莱克斯纳(Abraham Flexner),很高兴地告诉他自己的儿子约翰决定在“动脉硬化”之前“尝试一些更高深的东西”[77]。于是弗莱克斯纳把巴丁介绍给了新研究院第一批任命者中的数学家维布伦(Oswald Veblen)。在巴丁的申请过程中,维布伦的介入很可能是多余的,因为巴丁的成绩和推荐信都相当出色。而且,即使是像普林斯顿这样的名牌学校在当时也招生不足。后来巴丁说,假如普林斯顿拒绝了他的申请,他可能继续留在海湾石油公司。这是一种不太可能的假设。[78]

巴丁请对他影响最大的威斯康星大学教授约翰·范弗莱克和韦弗为自己给普林斯顿大学写推荐信。范弗莱克认为巴丁“是一个能力出众的学生”[79],而且“不必费力就名列前茅”。他评价这位以前的学生“和许多国家研究院的成员相比,在数学物理学方面有某种天生的才能”。巴丁的“个性很好”,范弗莱克写道,“尽管有点沉默寡言。”

任职于洛克菲勒基金会的韦弗当时说,作为一种“惯例”[80],他是应该回避写推荐信的。但他要为巴丁破一次例,因为自己“从未遇到过我可以如此热情而毫无保留地为普林斯顿研究生院的数学团体推荐的学生”。他还告诫道,从书面记录中很难评估巴丁“真正进步的情况”。“他很谨慎,以至于经常未能向老师汇报那些他已经完成的工作,”韦弗写道。每次向巴丁提问时,巴丁显然不但解决了问题,而且还是用“出奇简单而成熟的方法”。韦弗说他“强烈地感觉到巴丁是我见过的能力最强的学生”。他还提到巴丁“有点害羞,不

是特别善于交流”，但他在“社交方面依然具有吸引力”。

普林斯顿大学数学系录取了巴丁，并让他在1933年秋入学[81]，但没有提供财政支持，这使巴丁作出离开公司的决定变得复杂了。他还不到25岁，但回到学校是一种冒险。“1933年的就业机会很少。我在海湾石油公司有一份好工作。如果辞职回到学校，我就不知道是否再能找到一份好工作。”

1933年春，他得出结论：不应该（实际上是不能够）“再抗拒”踩着父亲留下的学术脚印前进。[82]同他那在同样的年纪冒险脱离家庭去学习艺术的母亲一样，约翰决定听从自己的爱好。

“我辞去了工作，不知道是否还能够找到另一份工作。”[83]至于学费，他可以从1924年8月去世的祖父C. W.留下的遗产中取出他那一小部分；[84]祖父死时距77岁生日仅差一周。祖父直到生命的最后一刻还在积极努力地工作。约翰在匹兹堡的生活很节俭，这也让他存下了额外的一笔钱。[85]因此，“我可以放手一搏。”[86]

彼得斯和埃克哈特不愿失去巴丁这个伙伴。当时海湾研究所已准备迁至距艾里格尼河八英里的哈马维勒一座大一些的实验室里。[87]埃克哈特请求奥斯特豪特“在顺便去看巴丁的时候劝说他留下来”[88]。

达奇发现约翰很坚决。“巴丁把自己的椅子转了一圈，指了指他那块很旧的小黑板。”[89]他答道：“我厌倦了这样的生活：整天坐在这间小办公室里面，盯着同一块讨厌的黑板和墙壁。我要回到学校去读博士。”他看着奥斯特豪特：“为什么不和我一起去？”但是达奇拒绝了。他热爱地质勘探，他在海湾石油公司继续工作了18年。

巴丁到达普林斯顿大学时，一些世界顶尖的数学家和理论物理学家也将到达或已经打算去那里任教。1933年3月，

希特勒(Hitler)掌权,在德国工作的犹太物理学家和数学家突然都失去了他们的职位[90]。他们中的许多人移民到了英国和美国。有几人最终来到了普林斯顿。当巴丁听说爱因斯坦已经接受普林斯顿新创的高等研究院的终身教授一职时,他想自己或许可能师从爱因斯坦!

离开匹兹堡的前夜,巴丁参加了在公司同事布鲁斯·雷莱恩(Bruce Reline)的寓所举行的一个小型晚宴。他在那里遇见了26岁的简·马克斯韦尔(Jane Maxwell)。[91]简身材娇小、口齿伶俐。她从布鲁斯及其妻子玛丽·玛格丽特(Mary Margaret)那里租了一个房间。简和玛格丽特从小在故乡宾西法尼亚州的华盛顿一起长大,那里距匹兹堡西南26英里。她们两家相识多年。简在卡内基理工学院的女子大学执教,同时也在匹兹堡大学攻读动物学硕士。布鲁斯那天告诉简,他希望她能留下来吃晚饭,约翰·巴丁会出席。"我觉得你应该见见他。"[92]布鲁斯说。

雷莱恩的撮合有很多好处。简和约翰的父亲都是医学博士——简的父亲在宾夕法尼亚的华盛顿工作。和埃尔希娅一样,简的母亲伊丽莎白("贝丝")·帕特森·马克斯韦尔(Elizabeth "Bess" Patterson Maxwell)[93]在婚前也当过老师及校长。同埃尔希娅一样,贝丝也放弃了自己的事业相夫教子。同约翰一样,简也有过不幸的童年经历。母亲因关节炎而身体虚弱,作为五个孩子中最大的一个,她承担起了照顾其他孩子的责任。

尽管要承担额外的责任,简的学习仍然非常好。从华盛顿私立女子学校毕业之后,她最先是在韦尔斯利学院学历史。但不久她就写信给家里:"我真正感兴趣的是科学,我决定要去研究它。"[94]她决定学医,但同约翰的妹妹海伦一样,她无法

说服父亲允许她成为一个内科医生。她甚至不能说服父亲让自己像海伦那样去读护士学校。因此，简获得了本科学位后便来到匹兹堡继续攻读动物学硕士。[95]她在卡内基理工学院上班，以此养活自己。她先后担任了实验室助手和教师的职位。周末她经常回去探望相亲相爱的家人。

在雷莱恩小小的厨房里，约翰和简坐在长方形桌的一边。布鲁斯和玛格丽特坐在另一边。简用目光偷偷打量约翰。一个衣着整洁、体格健壮的25岁的年轻人，他眼神热切、笑容儒雅。尽管他不爱说话，但是对她而言，他显然是才华横溢的。他那体贴入微的举止、不加修饰的智慧和从容的自信深深吸引了她。[96]

反过来，约翰也被简的热情和活力打动了。她带着一种超然的幽默感，对自己的生活和观点侃侃而谈。她眼里的某些神情、她的自信，抑或是她那一丝哀伤完完全全地捕获了巴丁的心。离开之前，巴丁不揣冒昧地快速紧握了一下简的手，[97]这一举动正好足够让她明白他的心思：他想同她进一步交往。

很快他就要去一个数英里之外的地方了。在驱车东行的长路中，他的思绪总是回到他在雷莱恩家遇到的那位性格活泼的生物学家身上。在他穿过了阿巴拉契亚山脉布满森林的山顶后，他就有了回匹兹堡一趟的计划，或许是在那里过圣诞节。

第四章

研究生的天堂

巴丁到达普林斯顿大学时，天色已经黑了，[1] 但校园并不显得荒凉。在这夏天的深夜，校园里依然灯火通明。时不时会有一闪而过的自行车灯光，那是一名学生从图书馆或实验室晚自习回来。

往西驶离主区半英里之后，巴丁在研究生院停了下来，他将在这里度过接下来的两年。他驻足欣赏了一会儿克拉姆（Ralph Adams Cram）设计的这幢哥特式建筑。物理系的一名学生菲力浦·摩尔斯（Philip Morse）把这一精心设计的建筑称为“经院哲学的化身”[2]。无数的怪兽装饰和通道体现出了一种历史和文化感。入口边上的钟楼在月光下显得怪诞而美丽。

第二天早上，巴丁直奔数学系的所在地范氏大楼。注册后，他走进隔壁的帕默物理实验室。系主任特罗布里奇（Adams Trowbridge）拉住斯坦福大学毕业的二年级研究生弗莱德·塞茨（Fred Seitz）说：“这是一个新生，你可以带他去吃午餐吗？”[3] 塞茨欣然答应。

塞茨和巴丁建立了终生的友谊。约翰把自己有关石油勘探的工作告诉给了弗莱德。弗莱德感到兴趣盎然。[4] 他认为约翰所说的用电磁来勘探石油的方法比自己所知的声波法更为有效。他还觉得巴丁看起来比实际年龄成熟。塞茨认为这可能是因为巴丁在“公司工作”期间独立生活了 3 年的缘故。

因为巴丁已经在威斯康星上了两年的研究生工程学课程，所以在1932年春季学期刚进入普林斯顿时，他比塞茨学得更深一些。[5]

巴丁和塞茨一起走进研究生院的正规食堂。他俩和其他6名学生一起坐在一张长餐桌前。塞茨和他们都认识。他估计整个大学大概只有约150名研究生。[6]

桌子对面坐着一个同学，“他非常担心不能通过初试。他正处在考试期间，非常忧虑，”[7] 塞茨回忆道。持续好几天的“初试”是普林斯顿的研究生的主要难关，它直接关系到能否进入论文撰写阶段。这项考验包括非常严格的笔试和由专门委员会举行的数轮高密度的口试。“这家伙看着约翰和我说：‘他知道他将要面对的是什么吗？你不认为你应该把这些告诉他吗？’”[8]

塞茨给巴丁解释了研究生院的一些“家规”。每天的晚饭都在大厅里进行，系主任总要在饭前用拉丁语进行感恩祷告。他告诉约翰需要买一件正式的黑色学院礼服，以便在吃饭的时候穿，并且告诉他可以从快要毕业的学生那里低价买到一件。这些礼服在传递过程中变得又脏又破。“个个都是破布，”塞茨回忆道，“我们把它们当作围兜。”[9]

当巴丁记下塞茨的另一条指示——上课要系领带，他僵硬地点了点头[10]。普林斯顿的校风显然不同于他在门多塔湖港区所见到的那种不拘的风格。巴丁认为需要花一段时间去适应普林斯顿的规矩，其实他大可不必这么做。和塞茨一样，他很快就会发现“无关紧要”[11]。爱因斯坦更不会客气地接受这些礼节，他和妻子埃尔莎（Elsa）于一个月后到达普林斯顿。

弗莱克斯纳曾考虑把高等研究院作为学者们的避难所。[12]它成立的初衷是把那些具有创造性的学术界人士从平

常的压力下解放出来，从而可以促进深层次的研究和思考。研究院任命的第一位数学老师维布伦建议弗莱克斯纳从建立数学领域的教师队伍着手。于是，弗莱克斯纳聘用了外尔（Hermann Weyl），他的工作使得量子力学得以建立在坚实的数学理论基础之上。爱因斯坦紧接着接受了终身教授一职，把研究院送上了世界级的学术舞台。物理学家朗之万（Paul Langevin）把爱因斯坦到普林斯顿这一引起世界轰动的举动比作将梵蒂冈迁至新大陆。[13]

同17世纪80年代移居到普林斯顿的贵格会教徒一样，爱因斯坦一家非常喜欢小镇的自然环境：森林繁茂，溪流淙淙。“这里是一个有着奇妙树木的大公园，”[14]埃尔莎·爱因斯坦写信给欧洲的朋友。然而阿尔伯特却哀叹普林斯顿社区假斯文的氛围以及这片知识分子领土上各种无休止的繁文缛节。他把普林斯顿描述成一个“古怪、拘礼的小村庄，它属于那些踩着高跷的微不足道的神化人物。”[15]他非常怀念柏林的咖啡馆，知识分子们可以在几个小时里一边放松，一边交流深奥的思想。数学系的另一个欧洲人维格纳也对普林斯顿缺少“欧式咖啡馆”[16]而感到遗憾。巴丁并不在乎咖啡馆，但是很在意保龄球或桥牌之类的娱乐活动，参加这些活动在普林斯顿是很容易的。普林斯顿的朋友们都叫他约翰。他定期和室友柯蒂斯（Cassius Curtis）或罗伯特·布喇顿（Robert Brattain）一起玩保龄球。[17]同在麦迪逊时一样，约翰成功地利用社交娱乐强化与同事的联系。

巴丁同鲍勃·布喇顿（Bob Brattain）相处得很自在。布喇顿在巴丁进入数学系时进入了物理系。从小在华盛顿州的一个牧牛场长大的布喇顿对高雅文化并不感兴趣。他和巴丁一样喜欢各类娱乐活动。两人组队赢得了研究生保龄球锦标赛的冠军，随后又在单人赛中争夺冠军。

在桥牌比赛中，他们是“敌人”。巴丁的搭档约翰·范德史莱斯(John Vanderslice)——另一名数学系的研究生(布喇顿叫他史莱斯)，[18]是一名拥有国际排名的国际象棋棋手。有时，布喇顿会邀请巴丁一起去纽约城参加持续整个周末的桥牌耐力赛，该比赛经常由鲍勃的兄弟沃尔特(Walter)在他位于格林威治社区的公寓中主办。“我们会一直玩到所有人都困得想睡觉。然后睡上一会，醒来之后吃点东西就继续战斗。整个周末我们一直在玩桥牌。”[19]

巴丁和沃尔特·布喇顿很快变得投缘起来，后者是一名即将离职的实验物理学家，当时在曼哈顿南部的贝尔电话实验室(美国电话电报公司的研发部门)工作。沃尔特是贝尔实验室中少数几个意识到量子力学对于解决公司通信问题重要性的科学家之一。1931 年，当获悉欧洲著名的量子理论家索末菲将在安阿伯的密歇根大学暑期班上作理论物理学讲座时，沃尔特说服了贝尔实验室让他参加此讲座。讲座涉及索末菲在几年前新提出的有关金属的“半经典”电子理论。布喇顿认识到这一理论对于他自己的物理学问题以及贝尔实验室利益的重要性。回到贝尔实验室之后，布喇顿在一系列面向同事的讲座中总结了自己在密歇根学到的东西。[20]很快，巴丁在普林斯顿的学习中也见到了同样的材料。

巴丁和沃尔特当时并不知道，他们在 14 年之后将会合作发明一种改变世界的装置。但约翰确实知道他很乐意同沃尔特交往。他喜欢沃尔特的幽默感，以及他绘声绘色地讲述有关布喇顿家族开拓性传统的故事。沃尔特经常告诉巴丁，在上大学之前他如何整整一年“拿着来福枪在山间放牛，睡在我自己的帐篷里。我只是偶尔可以在周末见家人，实际上除了父母和兄弟姐妹之外，我没有见过其他人”[21]。

沃尔特和巴丁在个性上截然不同。以桥牌为例，两人都希望在比赛中取胜，但布喇顿打得很具攻击性，[22]而巴丁则运筹帷幄。尽管两人有各自的风格，但是他们的激情、价值观和兴趣却是相同的。那时，他们甚至研究同样的物理学问题。“沃尔特和我有一项共同的爱好，”巴丁后来写道，“那就是来自于金属量子理论的功函数理论。”[23]确定能量时需要除去金属表层的电子，功函数涉及所有与真空管相关的技术。

两人都认识约翰·范弗莱克，他们都是在后者的引导下接触量子力学的。[24]范弗莱克到麦迪逊之前曾在明尼苏达大学任职。沃尔特选修过他的量子理论课程。但在约翰和沃尔特毕生友谊的早期阶段，他们“实际上很少谈论物理学”[25]，巴丁回忆道，“更多的是一种社交上的相识。”

巴丁在普林斯顿最亲密的同事和朋友是塞茨，后者于1934年读完博士后，由于获得了普罗克特奖学金而在普林斯顿又呆了一年。他俩在后来的几年中因专业问题而频繁交往。1951年至1965年，他们在伊利诺伊大学的同一个系一起工作。

他在普林斯顿亲密程度仅次于塞茨的物理界朋友是科尼尔斯·赫林(Conyers Herring)。[26]1934年，也就是巴丁二年级时，赫林来到了普林斯顿。从堪萨斯大学毕业后，赫林在加利福尼亚理工学院学了一年的天文学。专业从天文学转到物理学后，他转学到了普林斯顿。巴丁和赫林以后也继续是朋友和同事。他们在20世纪30年代的哈佛大学以及40年代的贝尔实验室共事过。

巴丁在普林斯顿的另一个朋友是年轻的教师布利克尼(Walker Bleakney)。布利克尼和沃尔特·布喇顿同是明尼苏达大学的研究生，布喇顿有时会到普林斯顿探望布利克尼。

他们“和约翰一起组成了一个小集团”，塞茨回忆道，“他们的友谊非常深厚。”他们“在一起玩乐时亲密得像一窝贼”。他俩不仅一起打保龄球，还一起喝酒，他们“说同一种中西部的语言”[27]。

巴丁在普林斯顿的朋友还有化学家艾林（Henry Eyring）以及赫什菲尔德（Joseph Hirschfelder）。普林斯顿鼓励相关领域的同学相互交流，比如物理系和化学系，或者物理系和数学系。[28]物理系和数学系的学生定期在范氏大楼一起喝下午茶。（“下午四点半，”塞茨回忆道，“每个人，不管是走的还是拄拐杖的，[29]都会到所谓的活动室，花 20 分钟到半个小时聊天。”）

巴丁同时参加了大学和高等研究院的研讨会。高等研究院尽管在机构设置上同大学分离，但却设在范氏大楼里面。巴丁记得有几次研究院的讨论会成员包括爱因斯坦、冯·诺伊曼（John von Neumann）、维布伦以及外尔等名人。后来，他把研究院说成是团队合作的典范，它产生了“强烈的增效作用，取得了远远超过个人所能完成的成就”[30]。通过跨学科合作来促进和加强研究，这一理念对巴丁一生都有吸引力。

普林斯顿当时正逐步进入一个特殊的转变时期。课程的现代化给物理系带来了许多新教师，包括 1928 年进校的康登（Edward H. Condon）和罗伯逊（Howard P. Robertson）。普林斯顿大学在数学和物理学课程方面得到加强，是美国大学 20 世纪 20—30 年代机构扩张的一部分。这一全国性的发展趋势改变了美国的物理学，消除了美国和旧大陆科学中心之间的差距；这一差距曾吸引先前一代的年轻理论家如奥本海默（J. Robert Oppenheimer）或斯莱特（John Slater）去欧洲学习。当巴丁读研究生的时候，那个差距几乎已经消失了。[31]

在那些致力于建设美国物理学科的欧洲物理学家当中，有一位是著名的荷兰理论物理学家埃伦菲斯特（Paul Ehrenfest）。他向多所美国大学的物理系主任说明，同时聘用两位欧洲科学家的效果会更好，尤其是同时聘用两个专业相近的专家时，这样他们就可以一起讨论，而不会在美国这样一个“荒地”上感到孤独。1927 年，密歇根大学成功地进行了“埃伦菲斯特实验”，它同时也为古德斯米特（Samuel Goudsmit）和乌伦贝克（George Uhlenbeck）在物理系谋得了职位。

1930 年，普林斯顿大学也如法炮制，聘请了柏林的物理界和数学界的两位匈牙利籍成员，冯·诺伊曼和维格纳，两人是老朋友。为能吸引冯·诺伊曼，普林斯顿“不太情愿”[32]地接受了维格纳。他们在布达佩斯上小学时，冯·诺伊曼比维格纳低一个年级。在普林斯顿时，两位朋友在长时间的散步中进行深入的交谈，话题从大众文化一直到数学。

一年后，当他们的任期结束时，两人都非常高兴地接受了一份为期 5 年的新合同。合同条款规定他们共同在普林斯顿执教半年，另外半年可以选择在其他地方执教。维格纳接受了柏林工业大学的春季学期的聘任。[33]但 5 年的任期还没有结束，德国的情况对于犹太物理学家来说就已变得非常危险，维格纳只好中止了柏林的聘任。巴丁后来写道，在普林斯顿所有的教授中，“最能激励他的就是这两位年轻的匈牙利人。”[34]

巴丁非常喜欢普林斯顿的有关量子力学和相对论的研讨会。他最喜欢的是冯·诺伊曼。冯·诺伊曼在巴丁就读于普林斯顿的第一学年时提出了“算子理论”。讨论的是希尔伯特空间：函数的无限多维的空间。在普林斯顿的第二年，巴丁旁听了狄拉克长达一年的量子电动力学课程，这比他在威斯

康星大学时的课程更进一步。1935 年春，罗伯逊关于广义相对论和宇宙学的课程对巴丁产生了深远影响，[35]为后者后来开设有关相对论的课程奠定了基础。塞茨后来回忆道："罗伯逊的课简练极了。"[36]

巴丁觉得罗伯逊很容易沟通。后者"绝对是用社交的方式在系里形成友好氛围的那些人中的一员"，巴丁回忆道，他是"不会恐吓任何一个提出问题的人"[37]。赫林说罗伯逊在"啤酒派对上特别显眼"[38]，这和他"在广义相对论和宇宙学领域内的能力"不相上下。他的两名学生巴丁和赫林也作了同样的评价。赫林认为康登"和蔼可亲、平易近人"。康登"总是很善于用平易近人的物理方法解释一切"。巴丁、塞茨和赫林因对物理学理论的共同兴趣而组成了一个年轻物理学家的小团体，以随意的方式聚集在康登周围。他们通常在拿骚酒吧从下午一直呆到晚上，边喝啤酒边讨论。

巴丁参加了许多的专业讲座和讨论会。[39]他所遇到的一名杰出的访问学者是伦敦三一学院（1929 年巴丁未能在那里申请到学习资格）的福勒。其他在巴丁就学期间作讲座的人包括量子力学的波动力学表述的发明者薛定谔（Erwin Schrödinger）、采用分子束实验测量原子核无线电频谱的拉比（Isadore I. Rabi）。"即使这些讲座并不直接涉及他的工作领域，在大多数时间里"巴丁还是尽可能参加，因为他的目标是掌握"更多人们所关注问题的有关知识"[40]。他想要"了解人们所面临的主要障碍是什么"——简言之，成为一名伟大的物理学家意味着什么。他承认尽管许多演讲的主题"我无法理解"，但他对这些主题"逐渐有了头绪"。[41]

普林斯顿的研究生发现他们可以自由地追求自己的兴趣爱好。"研究生水平的课程很少，因此大多数学生都会修满。"[42]巴丁解释道。此外，学生们会和教授们一起工作，创建

专门的课程以拓展他们的事业。这里没有法定的要求，像家庭作业之类的日常负担都很小。塞茨把那时候的普林斯顿称为“研究生的天堂”[43]。

巴丁在物理学和数学之间徘徊。他认为自己在数学方面更有天赋，但却觉得物理学更为有趣。不管怎样，选择是不必要的，因为物理系和数学系的研究生都修同样的课程。读数学的巴丁和读物理学的塞茨的唯一区别就是预考的口试部分；甚至连预考的笔试部分都是相同的。[44]巴丁尽可能地跨两个领域。尽管他获得的是数学博士，但却选择物理学问题作为自己的论文内容。

巴丁发现“和爱因斯坦在一起工作的机会其实很少”[45]。这位伟大的科学家在数十年前已经完成了他的主要工作，现在把主要精力放在重新安置逃亡到美国的德国犹太物理学家。他的研究集中在两个不适合年轻研究者的难度极大的项目上：找出量子力学的不一致性以及为所有物理学科建立一种统一的理论。[46]

在寻找论文导师的过程中，巴丁首先找了康登，但是他发现康登所提出的建议均是为了填补当时他和肖特利（G. H. Shortley）合著的教科书《原子光谱理论》（The Theory of Atomic Spectra）[47]的空白。这对巴丁来说“不太有趣”[48]。塞茨与康登间也有过相似的经历，鉴于康登是“东海岸少数几个对量子力学有实际经验的人之一”，塞茨希望能够跟随康登做论文。塞茨发现康登“全神贯注”于他的教科书。为了表明其公正性，康登向塞茨解释他课本中的一些问题并非最佳的论文课题。他安排塞茨同维格纳一起工作。根据塞茨的回忆，康登告诉维格纳：“原子理论已经少人问津，我们应该转向固体的研究。”[49]维格纳答道：“是的，我已经这么想了。”

巴丁也同罗伯逊谈过从事相对论量子电动力学方面的研

究。在探索了罗伯逊建议他可以研究的几个方面的问题后，巴丁很快意识到这一深奥的研究领域尚不够成熟，不能取得进展。他觉得自己会经常受到相对论量子领域产生的“各种无限性”[50]的阻挠，因为单个的电子会跃迁至无限种状态。15年后，即1947年，施温格尔（Julian Schwinger）、费恩曼和朝永振一郎（Sin-itiro Tomonaga）[51]将开创出一种新方法，使用“重正化”理论来避免无限性。他们3人因这一贡献获得了1965年的诺贝尔奖。

维格纳提出的把量子力学应用到真正的（而非理想的）固体中的问题，就巴丁看来更为可行。巴丁相信固态研究将对世界产生巨大作用。

维格纳认为自己对固态物质的兴趣来自于一种奇怪的现象：每一种物质都有其独特的性质。为了向来访者说明这种有趣的现象，维格纳伸手去拿自己的钥匙，但起先没有找到。“尤金，它们可能在你的外套里，”[52]当时在场的塞茨提醒道。维格纳冲到大厅在外套里面找。他很快就抖着钥匙回来了。然后他举高钥匙，再让它们落在地上。他解释道：

> 如果我让钥匙落下的话，我根本不担心它们会碎裂。但是如果我让一个茶杯或玻璃杯落下的话，那么我估计它马上会破裂。这是一个可以察觉到的基本区别。如果要解释这些现象，很大程度上必须用到这样一个事实：不同的固体结构有着本质上的区别。[53]

维格纳想要了解导致这些结构差异的原因。小时候在自己家的制革店里制作皮革的经历使他对实际材料产生了兴趣。他宣称自己总是对那些处于领域分界线上的问题感兴趣。有关固体的问题，如为什么“晶体中的原子往往位于对称轴或对称平面上”[54]这一问题，解释就需要用到好几个相关学科的知识。研究固体时，他可以利用先前在7个领域里掌

握的知识:原子物理、量子力学、化学、化学工程、分子结构、弹性振动以及群论。

巴丁不知道仅比他大 6 岁的维格纳是否适合做他的导师。[55]他早就听到了有关维格纳对人严格的传闻,后者尤其希望学生们对量子力学有扎实的掌握。这对巴丁来说不是问题,因为他想精通那个领域。[56]他更关注的是维格纳的时间安排。维格纳只在秋季学期呆在普林斯顿,春季学期他仍呆在柏林。巴丁也担心自己是否能与维格纳进行有效的沟通。温文尔雅的维格纳不爱说话的程度不在巴丁之下。普林斯顿的一个学生认为,维格纳在"这样一个不拘礼节的社会中太彬彬有礼了"。维格纳在自己的办公室会请求他人允许自己脱掉外套。维格纳的传记作者桑顿(Andrew Szanton)描述了一次和维格纳之间的对话,很能说明问题。当一阵咳嗽声打断了对话的时候,维格纳道歉,"这是我的错,"他说,"但我不是有意的。"[57]

巴丁向塞茨打听他同维格纳打交道的经历。塞茨对维格纳持完全肯定的态度。他后来说,与维格纳一起工作是"我生命当中最棒的经历"[58]。不仅维格纳是塞茨完美的导师,两人还是亲密的朋友。1930 年刚到达普林斯顿的时候,维格纳感觉自己就像"离开了水的鱼一样"[59]。在两人长时间的散步漫谈时,塞茨尽力回答维格纳提出的有关美国习俗的问题,反过来他又向维格纳请教欧洲政治方面的问题。

巴丁决定把自己的命运交到维格纳手上,决不后悔。他发现自己只需偶尔同维格纳会面就可以跟上论文的进度了。维格纳告诉塞茨他"很少同巴丁交流"[60]。但是巴丁却记得维格纳总是想方设法用敏锐的提问来激励他。[61]更为重要的是,巴丁感到维格纳教了他找关键问题的技巧。"他看得出什么是根本的和重要的问题。"

巴丁还感到维格纳教会了他如何着手解决问题。第一步是分解问题，或者是把问题分解成范围较小的几个问题，或者是把它分解成包含此问题实质的几个更简单的问题。巴丁说，维格纳强调把问题分解为“最简单的问题，这样你可以在着手那些更为复杂的问题之前理解它们”[62]。换言之，“你把一个问题简化为纯粹的本质，它就包含了刚好可以解释问题的物理学原理。我觉得这一点很值得学习。”然而，塞茨和其他的一些同学后来指出，巴丁解决问题的方法至少在一个重要方面和维格纳是不同的：维格纳一般选择一种讲究的、“非常精妙的数学方法”[63]，巴丁则“横冲直撞”，使用一切可能奏效的方法。

后来，[64]巴丁偶尔会提到，他在贝尔实验室的领导，也即诺贝尔奖的共同获得者肖克利也经常使用同样的方法把问题简化成其本质。但对肖克利和巴丁同样了解的物理学家菲利普·安德森（Philip Anderson）则指出：肖克利相信简化问题的方法，但是如果最初的尝试不奏效的话，那么他有时就难以找到变通的方法。如果肖克利的“这种最简化方法不能奏效的话，那就只能如此了”。[65]安德森认为巴丁“除了才气之外还有恒心和判断力……他知道在一种方法无法奏效时去寻找更深层次的方法”。

维格纳“对于我试图研究一直举步不前的量子电动力学而感到高兴”[66]，巴丁回忆道。巴丁还没有来得及发表他的成果，他的研究就被取代了。[67]维格纳建议巴丁努力计算出金属的逸出功，那是一个电子从金属表面释放出来所必须外加的能量。工业界对这一问题非常感兴趣，因为减少灯丝的逸出功可以节省大量的电力。于是巴丁承担起了这一任务。

20世纪30年代早期，只有两个另外的研究生项目设有

量子固态理论的课程：一个是由斯莱特在马萨诸塞州的麻省理工学院负责的项目，另一个则是由约翰·E·伦纳德-琼斯（John E. Lennard-Jones）、莫特（Nevill Mott）和哈里·琼斯（Harry Jones）负责的在英国布利斯托尔大学的项目。由于麻省理工学院到普林斯顿只有一天的车程，所以维格纳和斯莱特的学生可以偶尔互访几天，[68]有时甚至一周。回顾普林斯顿大学、麻省理工学院和布利斯托尔大学在20世纪30年代固态理论的建立中所扮演的角色，巴丁认为“实际上所有后来派生的理论，都能以这样或那样的形式追溯到这三所大学”[69]。但普林斯顿“显然是最令人兴奋的地方”，他微笑着说。

一年后，赫林也决定跟随维格纳进行固体理论的研究。后来，维格纳告诉一个采访者：“科尼尔斯对固态物理学的了解比我遇到过的所有人都多。”[70]按塞茨、巴丁和赫林的先后顺序，维格纳指导的这三名研究生是最早一批自称为固态物理学家的理论物理学家。数年后，当维格纳对固态物理问题的那种具有感染力的热情燃尽时，塞茨、巴丁和赫林把他们长期的职业生涯奉献给了固态理论的研究。

1933年圣诞节休假的时候，巴丁按计划开车回到匹兹堡。一到匹兹堡，他就打电话给雷莱恩。简在那里。布鲁斯把手放在送话器边对简说：“是约翰·巴丁，我猜他想约你出去，但他忘了你的名字。”[71]这是简期待已久的时刻。约翰邀请简去参加一个除夕聚会。但她早先在城的另一边和别人有约。为了促成这段罗曼史，布鲁斯主动提出[72]接她回来，以赶上和巴丁的约会。

之后，巴丁不得不匆匆赶回普林斯顿。他开始找借口去匹兹堡。当彼得斯和埃克哈特邀请他暑期在海湾石油公司工

作时，[73]他欣然接受了。但1934年夏季约翰和简呆在一起的时间少得可怜，[74]因为简已准备为在马萨诸塞州海岸的伍兹赫尔海洋生物研究实验室工作。

当约翰得知弟弟汤姆准备与相爱已久的女友珍妮特·史密斯(Janet Smith)结婚时，他建议汤姆到海湾石油公司来应聘。他认为汤姆受聘的机会很大。同约翰不同，汤姆一直是一个优等生，在威斯康星大学获得了各种荣誉。[75]传闻汤姆在一次期末考试中因为不知道标准推导过程而给出了自己的推导。[76]和约翰一样，汤姆也参加了校游泳队，并一度担任队长。他曾经是学生运动管理委员会的主席。尽管汤姆继续在威斯康星攻读电子工程学的博士学位，但他对学校的教学计划并不完全满意。汤姆已经获得了硕士学位，加上哥哥的大力推荐，他毫无悬念地在海湾实验室获得了一个职位。他于1934年夏到达匹兹堡，在约翰离开前共同度过了几周。

汤姆的聪明才智使他立刻就成了海湾石油公司的宝贵资源。[77]在他工作的那些年里，他负责了海湾公司许多地震仪器的制造。到退休时，他已经值得骄傲地拥有了9项专利。公司最后晋升他为高级科学家，这一荣誉职位在待遇方面相当于高层管理人员。

约翰每次去匹兹堡探望汤姆时都去看简。住在麦迪逊的家人没有被约翰“探望汤姆”的幌子所欺骗。他们还取笑约翰一回家就会收到一位神秘女性朋友的来信。约翰的妹妹安回忆道：“他对这些信件不作任何评论，对整件事情也守口如瓶。”[78]

在匹兹堡时，约翰也会去看望以前的一些海湾公司的朋友，和他们一起消遣，有时甚至狂欢。[79]塞茨回忆起1934年6月他和巴丁通过预考之后的一次拜访。由于学习很认真，他们对笔试部分“准备得过于充分”，塞茨回忆道，他和巴丁一

直学习到他们“认为考试绝对没问题为止”[80]。当时和他们一起参加考试的化学系维格纳的学生赫什菲尔德“会跑来问一些古怪的问题,于是我们重新拿起课本学习”。

然而,口试部分却是一个考验。由多名教授组成的委员会向他们提出的问题的确考验他们理解力的极限。罗伯逊“会不断提升横杆的高度,直到你失足为止”[81],塞茨回忆道。巴丁的问题凸显了他的弱项:他难以用言语表达推论的每一步过程。在一个问题中,罗伯逊让约翰解释“磁极存在条件下的电动力学是怎样的”。巴丁给出了正确的答案,但当被问及论点的细节时却结巴起来。“我太依赖我的直觉,不能给出一个令人信服的论证。”[82]他通过了预考,但却永远也不能忘却自己在阐述一个重要问题时的笨拙和由此产生的尴尬。

之后,塞茨坐巴丁的车去芝加哥度假。在经过匹兹堡的时候,他们受到了“热烈而隆重”[83]的欢迎。他们被安排在卡内基理工学院对面的工程系联谊会的宿舍。后来,塞茨称周六晚上联谊会是“为约翰举行的盛大晚会”:

> 一经我们的鼓动,巴丁就成了吵闹聚会的生命和灵魂。那晚我难得看见巴丁少有地一改以往的冷静,这一表现是他以后的朋友中很少有人会再次经历的。可以补充的是,在我被人抬上床休息后很久巴丁才离开。[84]

巴丁意识到他必须掌握大量已有的关于固体物理学的知识。他必须了解金属中的电子是如何相互作用并与晶格发生作用的。这是他一生都关注的课题。回到普林斯顿后,他睡进了图书馆,查找一切可以找到的有关逸出功的资料。维格纳鼓励所有的学生积极查找本专业资料,他说:“就我个人经验而言,没有人能以更快的速度通晓一个复杂的科目。”[85]巴丁养成每天花时间在图书馆的习惯,这丰富了他解决问题的

“军火库”。数年下来，他积累了大量的固态物理学知识。

他必须确定要回溯多久前的文献。自从文明产生以来，铁匠、陶工、珠宝匠和其他工匠一直在研究物质的属性。[86]艺术家和建设者也同样很了解他们所使用的材料。但直到19世纪末，依旧没有一个解答许多基本问题的理论框架：为何金属和绝缘体的导热性及导电性相差那么大？

矛盾的是，正如冶金学家和技术史学家西里尔·斯坦利·史密斯（Cyril Stanley Smith）曾经说过的，热衷于解释真实材料的物理学家们都被迫在一段时间里离开这个领域。在1905年到1933年的约30年时间里，他们苦苦思考的是一些较为抽象的问题，如理想材料、较为简单的金属模型、绝缘体等。这是维格纳解决复杂问题方法——先把复杂问题简单化——的真实例子。从假设出发，物理学家们可以找到问题的实质，然后找出处理真实材料的各种属性和状态的基本方法。

巴丁意识到他必须集中精力于这30年间的研究成果。这些研究成果留下了许多有待解决的问题——这是一个已经作好发展准备的领域。他也意识到自己正站在研究的前沿。[87]自从1900年量子概念诞生以来，研究固体的物理学家就一直把他们的工作限定在理想材料上。这一研究范围的缩小使他们取得了巨大的进展，尤其是1925年量子力学诞生后的7年间。这一新的力学为研究原子、分子和固体提供了工具。但到1933年为止——直到维格纳和塞茨的研究之前——这一理论仍不能解决真实固体的问题。正如西里尔·史密斯所写的：“这个问题比过去已知的所有物理学问题要复杂得多。”[88]维格纳和康登最早认识到这是处理真实固体的实际问题的机会，比如研究钠或铜之类材料的结构、内聚性、可塑性、分子扩散性、强度、导电性和磁性。这是人类有史以

来首次超越理想材料的问题，转而进入真实世界。维格纳把这个机会提供给了他的第一批研究生。

爱因斯坦在1905年研究过的光电效应在某些方面和逸出功的问题有相似之处。爱因斯坦曾以光子的形式计算过从金属表面逸出一个电子所需要的能量。通过对光电效应的探究，他以普朗克（Max Planck）革命性的量子——一种构成电磁能量的最小单位——为形式，为观察各种形式的辐射铺平了道路。爱因斯坦因为解决了这一问题——而不是他的相对论——而获得了1921年的诺贝尔奖。

另一个对巴丁来说十分重要的模型是爱因斯坦在1907年计算比热的方法。通过使用量子概念，爱因斯坦求得了使1克物质升高1摄氏度所需的热量。为了理解什么是金属的晶体结构，我们只需追溯到1912年，当时冯·劳厄（Max von Laue）[89]、弗雷德里克（Walther Friederich）和尼普（Paul Knipping）在慕尼黑用实验证明晶体的X射线衍射。他们的研究首次向世人展示了金属内部令人惊诧的晶体结构。

巴丁意识到他需要彻底理解量子理论的框架，这样他和他的同辈们才可能建构关于真实固体的理论。统计学方法是至关重要的，因为各种固体包含大量的原子——每立方厘米超过10^{21}个。到1926年底，科学家们可以获得两个不同的量子统计法：费米—狄拉克统计法和玻色—爱因斯坦统计法。费米—狄拉克的统计法适用于电子这类遵循泡利不相容原理（泡利于1925年提出的电子排布法则）的粒子，泡利不相容原理解释了原子中电子壳层的闭合现象，它指出：相同的两个后来被称为“费米子”的粒子不可能占据同一种量子状态。另一个统计法则适用于不符合泡利原理的“玻色子”，这是一种如同光子或X射线的辐射粒子。

1926年，泡利开始用实验者们正在研究的一种现象——

金属的弱顺磁性——的量子力学计算以发展固体的量子理论。他将之作为一个测试案例来解决最基本的问题:两种量子统计法中的哪一种可以描述物质?他手中掌握了有关顺磁性的大量数据。他用费米—狄拉克和玻色—爱因斯坦两种方法来计算。他发现费米—狄拉克统计法是有效的,而玻色—爱因斯坦统计法则不。

这一简单的胜利表明,需要重新研究现行的以传统的麦克斯韦—玻尔兹曼(Maxwell-Boltzmann)统计法为基础的金属理论表述。泡利看到这样做的好处,但是他同时也意识到这样的计算会非常棘手。他因为讨厌使用近似值的方法来建构符合真实现象的理论而转变了方向,同时警告学生不要去研究他所谓的"没有价值的物理"[90]——他警告说是"不应涉足的"领域。幸运的是,维格纳、塞茨和巴丁都不认同泡利的看法。

索末菲曾经是泡利在慕尼黑的教授,布喇顿也曾于1931年听过他在密歇根开设的讲座。他认为固态物理学之所以美丽,是因为它所研究的问题是真实的。在其1927年的经典算法中,索末菲在接手泡利的项目后建构了一个"半经典"的固体量子理论。不完全使用基于薛定谔波动方程之上的量子力学方法,并只在修改经典的理论时用到了所必需的费米—狄拉克统计法,他得以着手一大类先前无法解决的问题。但是索末菲的理论为何有效仍是一个谜,因为这个理论所基于的是一个不真实的假设:金属中的电子可以自由移动。这一问题将困扰巴丁多年。

海森伯的学生布洛赫1928年的优秀博士论文,为这一难题提供了不完整的答案。布洛赫发现,电子穿过一个完美晶体(其中的原子排布均匀)时会表现得仿佛是自由粒子。在此基础之上,他建构了一个被称为"能带论"的概念框架。正

如原子中的电子被限定在能级，金属中的电子也被限定在能带（扩展了的能）之中。包括布里渊（Léon Brillouin）和派尔斯（Rudolf Peierls）在内的一些物理学家详细阐述了布洛赫的理论。

巴丁尤其钦佩阿兰·威尔逊（Alan Wilson），后者于1931年，在布洛赫和派尔斯的理论研究和其他实验者所遇到的实际问题间架起了一座理论桥梁。威尔逊的壮举在于，[91]他汇总了当时可收集到的各种有关能带论的文章来解释金属和绝缘体之间的区别。他得出一个简单的结论：绝缘物体的能带被填满了；金属的能带则未被完全填满。在未被填满的能带中，电子可以自由移动并传输电流。

威尔逊的工作还澄清了幽灵般的概念“空穴”[92]，这是派尔斯在1928年首次提出的一个有关固体的概念。空穴是一个能带顶部无电子的状态（其他位置都被电子占据了），它在固体中表现得像一个带正电荷的粒子。固体中的空穴就像一个大型花园聚会中不断改变位置的空座位。客人们坐在不同的桌子前，当一张坐满了人的桌子边有一个客人挪到另一张桌子边的空位上时，她便在原来桌子旁留出了一个空位。当另一个人移到她腾出的座位上时，此人又在刚才坐的地方留出一个空位。这样不断重复，则对于一个直升飞机上的观察者来说，就仿佛是空位正在移动。就半导体和半金属而言，移动的空穴被视为正电荷，因为电子是带负电荷的。

威尔逊也解释了半导体，一种在特性上介于金属和绝缘体之间的材料的表现。半导体在20世纪30年代颇受争议，[93]有些物理学家认为它并不存在。威尔逊把它们描述成一种在被填满的最高能带和未被填满的最低能带之间有一段间隙的材料。在正常情况下，电子无法越过这条间隙。因此，这种材料就表现得像绝缘体一样。但是当以光或热的形式施

加能量之后，某些电子获得了足以越过这条间隙的能量。当一个电子进入了第一条无电子的能带时，导电性就形成了。20 世纪 40 年代，实验者发现可通过添加杂质（“掺杂”）创建浅能级，为电子提供垫脚石来增强导电性。[94]

巴丁意识到历史上鲜为人知的最激动人心的时刻即将发生——在普林斯顿！1933 年，塞茨的博士论文迈出了把固体量子理论运用到真实物质研究中的革命性的第一步。到那时为止，还没有人能够计算出任何真实物质的能带结构。维格纳和塞茨把研究重点集中在最简单的金属钠上面，[95]他们把钠晶体分解成和单个离子联系在一起的晶胞，假定每个晶胞内的电势都呈球对称。这一简化假设使他们可以用数学方法计算出真实金属的一些属性，比如内聚力、弹性常数、压缩系数、导热性、导电性以及各种光学属性。

对于巴丁而言，维格纳—塞茨的工作“看起来将会开辟一个新的时代”[96]。麻省理工学院的斯莱特以维格纳—塞茨方法为中心指导研究生，他对两人的论文评论道：“其中有如此多的近似值，以至于无法相信数值结果。然而他们首次给出了一种可用的估算真实晶体中的能带的方法。”[97]

十年内，这一最早用来计算金属属性的粗略方法引发出更好的方法。新的框架覆盖以前被看作是相互独立的多个领域，包括晶体学、导电性、半导体、铁电现象和磁学。把这些分支学科放在一起进行研究的学科被称为固态物理学。大多数科学领域都是从其他范围更大的领域中分离出来的，然而，固态物理却正如历史学家沃特（Spencer Weart）所指出的那样，是多个学科领域聚合的产物。[98]

到 1933 年，针对这一物理学新领域的评论性文章已经发表了十来篇。[99]其中最有见地的文章当属贝特和索末菲发表在 1933 年的《物理学手册》（Handbuch der Physik）上的一篇

里程碑式的文章，长达300多页。[100]大学里很快就出现了以固态物理为主题的研究生课程，最早之一是维格纳于1932年开设的“固态理论”[101]课，涉及许多主题，包括不同固体之间的区别、不同晶体之间的对称群、晶体生长状况以及近似法。塞茨于1934年为此课程准备了笔记。同年，他、巴丁和其他十几个学生都参加了这一期的课程。

巴丁意识到，为某种固体理论设计出最好的近似法本身就是一种技巧。当时尚不清楚怎样描绘固体内部的电子。它们应该被视为受缚于单个原子（或离子），还是说它们是一大群不属于任何离子的粒子呢？真相必定介于这两个极端之间。围绕这些问题产生了许多种近似方案。

研究电子之间或电子同离子之间的相互作用的努力，为一个被称作是“多体”理论的新领域奠定了基础。在“多体”理论的问题中，相互作用的描述相当关键，以至于一旦忽略，就会遗漏许多重要的观察现象。解决这些问题的技巧包括表述这些相互作用，并确定这一理论中应该包括哪些相互作用。这类问题将贯穿巴丁的整个职业生涯。

在他的论文计算中，巴丁首先需要为电子的相互作用设定一个可行的近似值。[102]他从哈特（Douglas Hartree）和福克（Vladimir Fock）倡导的方法出发，写下一个大致表述每个电子的波函数（每个电子自己的波函数）。接着他模拟了金属表面的电子分布，考虑了电子相互作用时产生的电子力。这是这个领域早期的一项壮举。到1935年春，他已准备写论文并同维格纳联名发表。

巴丁后来说：“维格纳实际上做了大部分的工作。”[103]但是维格纳却认为巴丁“按照自己的方式开始了工作，并且实际上是独立完成了这项工作”[104]。他还认为巴丁“无须夸大数学才能所起的作用，他其实依靠的是物理学思想，并且是用

一种非常原始的方法完成的”。

巴丁开始撰写自己的论文时意外地得知，1933 年刚成立的哈佛大学研究学会正考虑让他成为他们的第三级初级会员。这是一个千载难逢的机会。如果他能够获得有声誉的会员资格，那么他就可以在 3 年的时间里集中精力搞研究。哈佛大学是著名的物理学研究中心，邻近的麻省理工学院也是。但他首先必须接受哈佛研究学会的一群高级会员的面试。

举行这一令人生畏的面试是为了“从学术外的角度看一个人，他最好是一个有远见的人”[105]。巴丁在这场考验中结结巴巴。他的面试委员会[106]成员包括著名的哲学家和数学家怀特海（Alfred North Whitehead）、享誉国际的历史学家莫里森（Samuel Eliot Morison）以及一流的生物化学家亨德森（Lawrence J. Henderson）。“我被置于这群非常杰出的人面前，他们不断问我问题。我想自己是太害怕了，所以几乎说不出一句话。”[107]

当巴丁未能在面试中给评委们留下深刻印象时，约翰·范弗莱克走了进来。范弗莱克刚离开威斯康星大学到哈佛大学物理系任职。他的干预奏效了，巴丁于 1935 年秋正式成为会员。若干年后巴丁承认：“我敢肯定是范弗莱克把我弄了进去。”[108]

结果，巴丁就可以奢侈地在两个吸引人的奖学金间进行选择，因为普林斯顿大学也给他提供了 1935 至 1936 年的享有声誉的普罗克特奖学金。但因为哈佛所给予的要多很多（1500 美元外加哈佛洛威尔宿舍的住宿——连续 3 年），[109]因此他不难作出选择。“3 年的工作保障在那时是一个不小的影响因素。”另外一个考虑是，哈佛提供的是物理学奖学金，而普林斯顿则是数学奖学金。那时，“我显然已经准备朝物

理学的方向发展了。”[110]

成为哈佛研究学会初级会员需要博士学位。这对巴丁来说是不可能的。1935 年 5 月，他被紧急要求赶回麦迪逊的家。父亲查尔斯患了黄疸病且病情很重，已经来日无多了。两年前他的甲状腺因为癌变而被切除，现在癌细胞又卷土重来了。

6 月 12 日，也就是巴丁回家几周后，查尔斯去世。尸体解剖发现，一种很难被诊断出的胰腺癌已经扩散到了查尔斯的肝脏。[111]他被葬在埃尔希娅的旁边，[112]上面压了一块取自门多塔湖的圆石。

查尔斯·巴丁的讣告突出了约翰和他父亲的许多共同点。其中有一条说老巴丁的“消遣方式是同家人一起散步或野餐，与密友一起打高尔夫球，和一群朋友一起聊天或吃饭”[113]。尽管查尔斯“天生智慧超群”，但他和约翰一样“同情那些不那么有天赋的人”。巴丁家族这个主任去世后的第二天早上，一个门房说他“失去了一个好伙伴”。

查尔斯·巴丁晚年的回忆录详细谈及了他和儿子约翰之间的相似性。1957 年，哈罗德·布拉德利(Harold Bradley)在查尔斯·巴丁的医学院新落成时致辞说，他是一个“杰出的工作者”，是一个“极其厌恶公众喝彩和个人褒奖的人”。他把查尔斯比作是“一个安详的巨人，寡言少语、朴实、谦逊，总是避开夸奖和公众的赞许”[114]。克拉克后来在威斯康星医学院的院史中写道：“巴丁博士以一种有些咕哝的方式讲话，说话时嘴唇几乎不动；但他思路清晰，决定时毫不含糊。”他也认为查尔斯是“一个惊人的工作者，一个有耐心和宽容的人，朴素而睿智……缄默、百折不挠到近乎顽固的地步”[115]。作为院长，巴丁对教育的长久贡献在于建立了指导医师制度：[116]医学院的每个学生都可以同十几个经验丰富的开业医生之一

共事。

父亲下葬后几周里，约翰非常急切地想要完成他的论文。他一有时间就坐下来写论文，但还是未能在暑假完成艰巨的计算任务。不仅因为他无法集中精力，还因为维格纳当时正在欧洲，无法在秋季前审核通过他的论文。巴丁直到1936年1月才获得博士学位。哈佛大学允许他在作为初级会员的一个学期内完成博士论文，这也许是范弗莱克影响的另一个结果。[117]

在1935年那个漫长而艰难的夏天快要过去时，巴丁的继母、兄弟姐妹、阿姨、叔叔以及表亲都给了他安慰和决心，约翰动身前往哈佛。尽管他为未能及时完成论文而感到不安，但内心还是充满了兴奋之情。

第五章

多体理论的开始

一到坎布里奇，巴丁就直奔哈佛大学的杰斐逊实验室。那是一幢建于1883年的三层楼的砖结构建筑，也是美国大学中第一幢被设计用于研究和教学的物理楼。巴丁走上花岗岩砌成的楼梯并找到了系办公室，他在那里办理了一些手续。

然后他到学生宿舍综合楼——洛威尔之家登记，他将在那里度过接下来的3年。他从一个院子四周的一排连体砖房中找到了G楼。他走上三楼，进入了自己的新家：31号套房。他发现自己的卧室里配有一个烧柴的壁炉。现在天气还很热，根本不用考虑使用它。他打开窗户，让微风进入闷热的房间。

他决定到坎布里奇附近走走，放松一下。走了一个街区左右，他来到了查尔斯河边。他停下来，望着几艘划艇从河面划过。然后他走进哈佛大学另一个和洛威尔之家一样的宿舍综合楼——艾略特之家。他想去看看研究学会初级会员们每周一次正式聚餐的地方。粗略地兜了一圈之后，约翰回到寝室打开行李，把东西拿出来放好。

如果说普林斯顿是研究生的天堂的话，那么哈佛大学就是博士后的天堂，尤其对于研究学会的初级会员来说。1933年研究学会创立时，“初衷就是给予那些有前途的年轻学生以研究中‘为所欲为’的自由时间。”[1] 很快巴丁就意识到“这

里不存在行为规范”。他们可以从事任何自己认为有必要的工作，期间可使用哈佛所有的图书馆、实验室以及其他设施。巴丁将在此成长起来。

成立研究学会的更大目的是为“知识贵族”推荐前途无量的二三十岁的男性（后来扩展到女性）候选人。由研究学会的高级会员选拔出的“承诺在知识和思想上作出贡献”[2]的较年轻会员，被寄希望于政治、科学、文学或艺术领域晋升到领导者的位置。这里鼓励学科间的相互促进，因为较年长的会员们相信，对不断增长的学科边缘进行研究将带来益处。学会每年会选拔出七到八名初级会员。当巴丁进入研究学会的时候，那里已经有了 20 名左右的初级会员。

要不是研究学会为会员强制规定某些社交礼仪的话，巴丁很可能又像以前那样，把时间一分为二，花在物理和游戏上。研究学会要求初级会员经常一起吃午饭，并于每周一在艾略特之家和高级会员共进晚餐。巴丁认为这些聚餐“是一种殊荣和鼓励，尽管我在大部分时间里只是一个聆听者”[3]。按照惯例饮用雪利酒之后——也就是“一般性的学术讨论过后”[4]——大家在一张 U 形桌边坐下用餐。正餐的高潮部分是和某个杰出的嘉宾进行讨论，比如最高法院的法官或者闻名全国的诗人，他们都是某位高级会员邀请来的。巴丁后来反思道，这些客人对“会员产生了广泛的影响”[5]。

大多数的初级会员迟早会担任具有影响力的职位。和巴丁同班学习物理的 3 名会员中，有一个是研究宇宙线和核物理的格廷（Ivan Getting）[6]，他后来成为雷神公司工程研究副主管、海战研究小组主席以及加州航天公司的总裁。另一位是理论家菲斯克（Janms Fisk）[7]，他后来成了贝尔实验室的总裁。菲斯克后来也在多个高级科学委员会任职，包括艾森豪威尔（Dwight D. Eisenhower）的总统科学顾问委员会（PSAC），他

在委员会中以支持核试验禁令而出名。巴丁与菲斯克在PSAC的任期有重叠。之后菲斯克成为一名哈佛大学研究会的高级会员。

巴丁还同许多非物理学科的初级会员交朋友,[8] 其中有地球物理学家格里格斯(David Griggs),后来因成功证实高压状态下岩石的流动而出名。巴丁和格里格斯都对哈佛的物理学家布里奇曼的闻名世界的高压实验感兴趣。他的其他朋友还包括行为心理学家弗雷德里克·斯金纳(Burrhus Frederick Skinner),以及当时正在潜心研究数理逻辑的哲学家奎因(Willard Van Orman Quine)。巴丁的事业多次得到了哈佛研究学会初级会员朋友们的帮助,例如1945年菲斯克帮助他进入了贝尔实验室。[9]

巴丁同其他会员的交往不仅限于学术交流。数学家伯克霍夫(Garrett Birkhoff)在"1937年至1938年间,有几次借用了巴丁的车,租费是象征性的每个月3美元。当时我们不约而同地在威斯利追求未来的妻子"[10]。一天晚上,伯克霍夫"借用了约翰的车到波士顿捷科沃斯餐馆,同3位著名的朋友享用德式的晚餐:他们是冯·诺伊曼、乌拉姆(Stan Ulam)和德国前总理布吕宁(Heinrich Brüining)。由于车子前排只能坐3个人,因此乌拉姆只能坐在了车后的折叠加座上"。

学校并没有要求初级会员参与教学,但如果他们认为教学有助于加强自身的专业训练的话,那么学校会对此加以鼓励。巴丁决定开设广义相对论课程,课程内容主要是他在普林斯顿选修罗伯逊课程时所作的笔记,[11] 另外再辅以爱丁顿(Arthur Eddington)的权威著作《相对论的数学理论》(The Mathematical Theory of Relativity)中的一些资料。爱丁顿的科学价值观同物理学是什么的发展观点很一致。爱丁顿在书的

第一页写道："一般来说，物理学家都不会满足于相信：计算出来的数值与计算它的运算是一回事。"他作了以下解释：

> 为了获得各种物理量，我们进行了各种可行的运算并随之加以计算；根据我们能够掌控的不同程度，我们称这些操作为实验或观察。我们所得到的物理量主要是操作和计算的结果，所以我们可以称之为一个造物，是我们操作的产物。[12]

巴丁感觉在物理系里毫无拘束。他参加了各种研讨会，并埋头阅读物理学文献。他依旧保持着定期去图书馆查阅新论文的习惯。[13]后来巴丁不满足地反省道，那时"把这些论文都通读一遍还是有可能的"[14]。他重新翻阅了贝特和索末菲在1933年发表的关于固体量子理论的重要论文，回顾了固体理论中各种已经解决和有待解决的问题。

那时贝特已经定居美国。他是在希特勒掌权时期逃离德国到英国或美国的约100名德籍犹太物理学家之一。[15]在英国定居了两年后，贝特于1935移居美国，并在康奈尔大学接受了终身教授的职位。他是康奈尔大学日益发展的核物理学项目（当时发展最快的三个物理学分支之一，其他两个是固态物理学和量子电动力学）的核心人物。贝特—索末菲的文章（大部分是贝特完成的）所建立的基础理论为固态理论的研究生培训奠定了基础，现在贝特在核物理学领域起到了同样的作用，他在《现代物理评论》（The Reviews of Modern Physics）中发表了一系列阐述详尽的核物理学文章。这些文章被称作"贝特圣经"。

贝特在物理学上的这种朴实无华、讲求实际的作风吸引了巴丁。[16]贝特在发表的文章中所附的那些实验数据表让巴丁确信，他所表述的理论同观察数据是一致的。巴丁和贝特一样欣赏美国人参与团队研究的趋势。巴丁很乐意地接受了

贝特发出的访问康奈尔大学的邀请,在那里,这两名理论物理学家就固态理论应用于核物理学以计算重核的能级密度交换了意见。[17]

巴丁也很欣赏1936年发表于英国的两篇优秀的有关固体量子理论"风格和方法"的论文:莫特和哈里·琼斯的《金属和合金性质的理论》(Theory of the Properties of Metals and Alloys)以及阿兰·威尔逊的《金属理论》(The Theory of Metals)。这些论文的观点和他的观点一致。旨在解决实验者的需求,他们强调了"实验和理论之间的紧密联系"[18]。塞茨的《现代固体理论》(The Modern Theory of Solids)到1940年才发表。这是有关当代固态物理学的第一本综合性教科书,很快就被奉为经典。此书让固态物理成为一个独特的研究领域。[19]在接下来的几十年里,此书在全世界的物理系广为使用。

在坎布里奇的时候,巴丁和约翰·范弗莱克共同撰写了一篇关于估计固体内电子相互作用的方法——"紧束缚方法"[20]——的论文。"在哈佛,我和范弗莱克的交流多于他人。[21]他是那里最早对固体状态感兴趣的人,因此我愿意同他谈论工作,但基本上我独立完成大部分的工作。"

巴丁经常到麻省理工学院去和斯莱特及其学生进行交流,以致"若干年后斯莱特回忆起我时,把我当成了麻省理工学院的博士后"[22],巴丁说。斯莱特最早认识到维格纳—塞茨方法所产生的巨大机会。从1930年起,斯莱特担任麻省理工学院物理系的主任,他鼓励学生计算诸如锂、铜和氯化钠等材料的能带结构。尽管斯莱特也对引起维格纳兴趣的许多固体问题产生了兴趣,但他在处理这些问题时缺乏创造性。他自认为"属于平凡而实际的人"[23]。

1923年,斯莱特先于物理系的其他理论物理学家在哈佛

拿到物理学博士的学位。他跟随布里奇曼一起工作，想要解释他导师首创的测量高压状态下的固体的方法。布里奇曼把每平方厘米的压力从几千公斤增加到了十万公斤，成功改变了晶格内部原子的空间结构。[24]反过来，这也影响了材料的电、磁、热和光学特性，对此布里奇曼都仔细地测量过。

布里奇曼鼓励斯莱特把量子力学应用到数据计算当中，[25]尤其是解释碱金属卤化物（和普通盐同类的物质）的压缩率时。布里奇曼在前量子力学年代研究物理学，因此对当代物理学理论缺乏应用知识。斯莱特竭力对碱金属离子和卤素离子之间的电吸引作出解释，并假定了某种不明性质的排斥力。但他不能解释这些排斥力的来源。“我相信，1923 年的量子理论还不足以描述分子和固体的性质。”[26]他在欧洲的物理研究中心学习了一段时间之后，接受了麻省理工学院的邀请，成为物理系的主任。康普顿（Karl Compton）曾成功地建立普林斯顿的数学和物理项目，作为麻省理工学院当时的校长，他鼓励这些领域的进一步发展。

赫林花了两年时间（1937 ~ 1939）在麻省理工学院跟随斯莱特攻读博士后，这与巴丁在 1937 ~ 1938 年攻读博士的时间重叠。赫林在普林斯顿做学生时，斯莱特撰写物理学论文的速度给他留下了深刻的印象。斯莱特会说：“这里有一些需要计算的东西，”[27]然后就开始写方程式，“一阵唰唰过后，论文就完成了。”斯莱特在很短的时间内写出一篇关于一种近似方法的经典著作，该方法被称为增广平面波法。不幸的是，赫林很快就意识到斯莱特的观点同“自己的不同”。他并不欣赏斯莱特把重点放在“机械得出的”[28]成果上。

赫林同斯莱特在工作作风上相左，这在赫林计算畸变晶格的能量遇到困难时显露了出来。几周之后，斯莱特建议赫林放弃对这个问题的研究，去做一些“你可以完成的研究”，

而赫林宁愿“先把之前的研究工作完成了”[29]。和巴丁一样，他的方法也需要恒心。他在解决畸变晶格问题上的持续努力终于有了结果：他研究出一种更有效的近似方法，即得到普遍使用的正交化平面波法。“辛苦终于得到了回报。”

赫林于坎布里奇“在学术方面联系最密切的”[30]是巴丁而非斯莱特。赫林回忆道：“他（巴丁）进行的研究同我进行的非常相近。”[31]举例来说，巴丁当时正在计算各种碱金属的波函数，“我则想计算出铍的波函数，”赫林说，“我以前不时去哈佛同他谈论有关能带技术的问题，我从他身上学到了不少东西。”

在麻省理工学院时，巴丁还经常和斯莱特的一名趾高气扬的研究生肖克利进行交流，后者来自加州，跟随斯莱特完成了有关氯化钠的博士论文。巴丁在普林斯顿跟随维格纳学习时就已经见过肖克利。

塞茨和肖克利在那时是密友。1932 年 9 月，两人一起驱车进行了一次穿越美国大陆的值得纪念的旅行。两人都来自于加州的斯坦福大学，准备去东海岸读研究生——塞茨去普林斯顿大学，肖克利去麻省理工学院。塞茨发现肖克利“受到了当时好莱坞文化的强烈影响，幻想自己综合了费尔班克斯（Douglas Fairbanks）爵士、德拉蒙德（Bulldog Drummond）和科曼（Ronald Coleman）的特征”[32]。当塞茨发现肖克利在自己那辆 1929 年生产的迪索托牌敞篷汽车仪表板上的小储藏柜里备了一把上了膛的手枪时，他感觉有些不安：“我那时已经可以很熟练地使用步枪，但是在一把上了膛的手枪的陪伴下进行长途旅行，依旧让人感到不放心。”

旅行途中的一个晚上，肖克利朝着一群嗥叫的野狼开枪，让塞茨吓了一跳。因为遭遇暴雨，于是他们“在公路旁的斜坡上停了车”，“漫步于沙漠之中”。第二天早上，一个加油站

的服务员警告他们“有两个亡命之徒在本地区在逃”[33]，但他保证：“当地警察已经作好了防范准备。”

1935 年至 1936 年间，巴丁和肖克利都呆在坎布里奇，当时他俩经常接触。“我们去参加联合讨论会。我和他谈论他的工作。”[34]巴丁很欣赏肖克利敏锐的智慧、想象力和自信。两人有许多共同爱好，还会不厌其烦地讨论碱金属卤化物的波函数。他们还讨论了当时正在进行的表面态研究，巴丁在十年后诞生晶体管的研究中将用到它。

肖克利的表面态研究继续了若干年前苏联物理学家塔姆（Igor Tamm）的研究。塔姆的研究表明，在一个样品的表面切出周期性的结构时，就会产生“悬键”[35]，并产生表面态。肖克利的研究表明，当能带交错时，表面态也会产生。[36]

肖克利的理论需要在计算机上进行大量运算。[37]因为在这个过程中很容易产生错误，肖克利在过程中设置了各种检验方法，包括一种新颖的“空晶格测试”[38]，以检验所得出的近似值是否同自由电子的状况相一致。肖克利解释道，这是一种“让我们知道确切答案的例子”，一个架起未知和已知物理学之间桥梁的范例。

1936 年 3 月，也就是巴丁在哈佛的第二个学期，肖克利求得了一份令人羡慕的工作。[39]贝尔电话实验室的物理学研究主管凯利（Mervin J. Kelly）在著名的芝加哥大学物理学家密立根（Robert Millikan）的指导下获得了物理学博士的学位。凯利是少数几个认识到固态物理将为工业发展带来广阔发展前景的事业带头人之一。他在一次去麻省理工学院招聘时认识了肖克利。获悉肖克利正准备接受耶鲁大学的物理学讲师职位时，凯利迅速地以更优越的贝尔实验室的研究职位来吸引他。凯利向肖克利承诺：贝尔实验室将为他提供固态物理基础研究方面的自由。1936 年 7 月，肖克利前往贝尔实验室

工作。

赫林回忆道，肖克利在麻省理工学院留下了许多“故事”[40]。其中一个是讲肖克利狡猾地改接了电梯的电路，“以至于当你按了去底楼的按钮时，你会到达四楼；而当你按下去三楼的按钮时，你会到达底楼。然后他隐秘地对人们进行观察，看他们需要多久才能适应。”

在哈佛期间，布里奇曼或许是对巴丁影响最大的人。布里奇曼是范弗莱克、肖克利和斯莱特的共同学术“先祖”（肖克利的“父亲”是斯莱特，范弗莱克的“父亲”是肯布尔，而斯莱特和肯布尔的“父亲”是布里奇曼）。布里奇曼的信仰——对物理学而言是观测而非理论才是最重要的——给他的“子孙”们留下了深刻印象。[41]

众所周知，布里奇曼是一个孤独的研究者。他花费在实验室收集数据的时间要比在教室授课的时间多得多。到周末或暑期时，珀西（朋友们称他为彼得）会独自在新罕布什尔的家中忙于园艺或独自到山上徒步旅行。尽管他平时彬彬有礼且乐于助人，但人们都知道他“打心底里蔑视粗心或一厢情愿的想法”[42]。布里奇曼的一些同事注意到“他精益求精地改进测量方法”[43]。布里奇曼在实验室的节约风格给节俭的巴丁留下了深刻的印象。

布里奇曼的传记作者迈拉·沃尔特（Maila Walter）在谈到布里奇曼的研究基础时这样写道：“高压物理学这一新领域已经建立起来了。”[44]在读研究生的时候，布里奇曼就发明了一种重要工具，使他能对固体施加高压。在接下来的几十年里，他改进了设备，并对极端高压下的物质进行了无数次精确的测量。

20世纪20年代，布里奇曼曾希望他的学生斯莱特能够使用新的量子物理学来解释他的一些实验结果，但是量子理

论在当时尚未得到充分发展。10 年后,布里奇曼把一些他测得的有关碱金属卤化物的数据给巴丁看。巴丁对能够有机会研究这位实验大师未处理过的数据而感到兴奋,他承认布里奇曼的"工作效率非常之高"[45]。

巴丁同布里奇曼的合作为巴丁创造了一个理论家和实验家之间高效率合作的典范。他在接下来的岁月中尽可能创造同样的合作方式。两人经常在一起讨论测量技术和实验策略的细节问题。布里奇曼推测,22 千巴的压强就可以让铯产生相变。[46]然而在对这一假想进行试验之前,他需要配备一种更好的理论。他同巴丁讨论为何他希望通过高压把离子压缩得更为紧密,从而使铯由"体心"结构转变成更为紧密的"面心"结构。布里奇曼推测这种变化同某种原子力相关,但是他所掌握的量子理论尚不足以解释他的这种直觉。这对巴丁来说是一次在物理学界崭露头角的机会,他接受了这位杰出的长辈所提出的问题并设法加以解决。

巴丁构建了一个半经验理论,借此预测铯从体心结构转化成面心结构所需要的准确压强数。布里奇曼进行实验之后发现,改变了的压强同巴丁预测的压强数相吻合。巴丁自豪地说:"这是不通过实验就测算出结构变化的少数几个成功实例之一。"哈佛大学的物理学家普塞尔(Edward Purcell)说:"巴丁给布里奇曼留下了极其深刻的印象。第一次有人计算出布里奇曼通过收集数据想获得的东西。"[48]

通过另一次计算,巴丁使用原子的光谱数据扩展了他早年有关逸出功的理论,并计算出了锂和钠有关体积和压强的结合能函数。"我对于碱金属特别感兴趣,"[49]巴丁解释道,"因为在 45 千巴的变化范围内,压缩率会发生很大的变化,这可用维格纳—塞茨第一原理计算出来。"他欣然投入到冗长的计算中。"我们花了很多时间在台式计算机上进行计

算,这些任务现代的计算机可以在几分钟内完成。”他所得出的钠的计算结果“在整个压强范围内同实验结果完全吻合”。不幸的是,锂的计算结果却出现了偏差。虽然偏差不大,却很关键(压缩率约15%)。赫林后来发现,出现这一问题的主要原因是巴丁没有使用最后的电场数据,而是使用了一开始得出的数据。对此塞茨写了一篇论文,但并非针对巴丁本人。他后来开玩笑说:“约翰在这件事上一直对我耿耿于怀。”[50]

巴丁的同事没有一个记得他曾提到过[51]布里奇曼如今为人铭记的科学哲学——“操作主义”[52]。布里奇曼曾试图以此解释物理学家是如何获得科学知识并产生清晰的思维方式的。沃尔特把布里奇曼对科学意义的探究看成是他研究新兴量子物理学的方法。而对于这一新兴学科,布里奇曼在“学术和情感上都没有作好准备”。20世纪20年代至30年代,布里奇曼的有关操作主义的著述甚多;巴丁或多或少受到科学家们提出这一理念时的坚定信念的影响。

1927年,布里奇曼在他著名的专著《现代物理学的逻辑》(The Logic of Modern Physics)中写道:“这一理念同一套相应的运算方法一致。”[53]他认为以测量为本的运算方法是科学知识的真正基础;物理学概念仅仅是运算的边缘部分。[54]布里奇曼认为研究爱因斯坦得出相对论的方法,可以帮助学生认识到新理念的重要性以及提出新概念的必要性。他阐述道,爱因斯坦的著作揭示他从对运算基本的时间、长度和同时性概念出发,表述了狭义相对论。

布里奇曼在晚年时同样强调了理论的重要性——它帮助物理学家了解世界,并对社会作出贡献。这种对实用性的强调,[55]跟20世纪初的物理学家所培养起来的进步主义价值观相一致。

布里奇曼也对巴丁产生了潜移默化的重要影响。同巴丁的其他4个老师德拜、狄拉克、维格纳和约翰·范弗莱克一样,布里奇曼后来也获得了诺贝尔奖。1946年,布里奇曼因高压发生装置的发明和高压物理学的开拓性实验而成为哈佛大学首位获诺贝尔奖的教职人员。[1933年,狄拉克和薛定谔因量子力学理论的基础性研究而共同获得诺贝尔奖。1936年,德拜获得诺贝尔化学奖。在巴丁1956年首次获得诺贝尔奖的7年后,维格纳同迈耶(Maria Goeppert Mayer)以及詹森(J. Hans D. Jensen)因为把群论应用于原子核而获诺贝尔物理学奖。1977年,范弗莱克和菲利普·安德森以及莫特因为磁系统和无序系统的电子结构的研究而获得诺贝尔奖。]

在其对获得诺贝尔奖的科学家进行的经典研究中,社会学家朱克曼(Harriet Zuckerman)就获奖科学家导师及其获奖学生之间的关系进行了调查*。她认为那些注定要获得诺贝尔奖的人及其将成为诺贝尔奖得主的导师会直觉地彼此赏识。他们之间存在着一种互惠关系。导师们"选择性地招收"[56]那些具备获诺贝尔奖素质的学生,而学生们会"自发地"同导师们工作,这往往发生在某一方获得诺贝尔奖之前几年。根据这一解释,巴丁同"和诺贝尔奖绑在一起"的物理学家一起工作,他正在"适应社会需求"成为"科

* 时任哥伦比亚大学副教授的朱克曼于1976年完成了一部社会学专著《科学界的精英——美国的诺贝尔奖金获得者》。这在当时是"把诺贝尔奖金获得者作为集体来加以仔细研究的唯一著作,也是把诺贝尔奖本身作为一种标志、目的和制度来予以社会学分析的第一部著作"。它最重要的结论是:"从一开始就占优势的科学家就得到更多的机会去获得进一步的成绩和报酬。"正是这种"优势累积"效应的作用,"个人的成就与报偿交互递长,螺旋式上升,而且形成了一种等级森严的分层制度"。该书由周叶谦、冯世则翻译成中文(商务印书馆,1982年)。——译者

学精英阶级的一份子”。

在哈佛,巴丁继续解决他在论文计算中开始处理的问题——“多体”问题,其中电子间或电子同晶格之间的相互关系至关重要。他经常感到很沮丧,因为当时的物理学家尚无适当的工具来处理这些相互作用。实际上,他并不能解决他在哈佛面对的大多数问题。但不管怎样,他仍在努力着。约翰的哥哥比尔曾用他们小时候踢足球的例子来解释弟弟的这种精神:“约翰很执著,不愿轻易放弃。”[57]

巴丁在哈佛研究过的一个问题有关“费米面”的锐度。费米面是在动量空间里画出的一个两维分界面。这种构造限定了金属中电子可占据的物理状态。到20世纪50年代,对费米面的探索成为研究的热点,但在30年代却很少有物理学家能够认识到这个几何平面的重要性。贝特是一个例外,他在1933年同索末菲合著的《物理学手册》中讨论了费米面。“对我来说,[费米面]显然是很重要的,”贝特后来说,“它关系到它们到底是一个球面还是其他有趣的平面。”[58]

费米面的一个谜在于它的内部空间是饱和的,而其外部在基态下却是完全空的。这种被称为费米面“锐度”的令人困惑的属性于1934年在麻省理工学院发现,由奥布赖恩(Henry O'Bryan)和赫伯特·斯金纳(Herbert Skinner)测量轻金属的低能X射线发射光谱时发现。[59]人们原来以为,电子交换或相互作用以及有限温度引起的离子运动等多体效应会摧毁锐度,但实际上却没有。巴丁竭力想要对此作出解释,但却没有成功。他只是把问题用解释性的问题代替了:为何当温度下降时,费米面上的电子散射寿命会变长?

1951年,韦斯科普夫(Viktor Weisskopf)最终解答了这个锐度问题,他指出:近费米面粒子的寿命增加是遵循泡利不相容原理的结果。[60]直到1957年,[61]卢森格(Joaquin Luttinger)、

科恩(Walter Kohn)以及米格达尔(Arkady Migdal)用朗道的费米液体理论才完全把费米面的锐度问题解释清楚。

巴丁未能成功解决的另一个多体理论问题是有关核子的能级的。巴丁同菲伯格(Eugene Feenberg)一起合作(后者1933年时正在肯布尔的指导下攻读博士,当时恰好在普林斯顿进行博士后的研究工作),试图拓展他早先同贝特探讨的课题,即采用多体方法来计算重核(如铀)能级的密度。他也试图把维格纳早期关于同位旋的研究扩展到核子能级的对称效应,但是同样地,"就当时看来,计算量实在太大了。"[62]

同样,巴丁也未能解释"交换力"这一物理现象,它是两个粒子在交换位置时,由于量子力学波函数对称所导致的结果。这些力似乎把费米面上电子的计算速率增加到了无限大,这是采用数学方法明显异常的结果。他怀疑困难来自于电子相互作用长程作用公式的不正确。到1936年时,巴丁依旧未能理解更深层的含义,[63]也就是:电子间的相互作用被电子"屏蔽"了;这样一种体系中的电子会吸引正电荷,并带着它周围的正电荷云一起移动。结果,这种电荷(电子加上周围的正电荷云)显示出中性。这一计算结果并没有完全发表(只是一个摘要),但这一成果却为他今后的研究奠定了基础。

在哈佛时,巴丁还与这样一个问题作斗争:当屏蔽离子的电子出现时,如何看待晶体内部有移位的离子间的电力。他的简化假设——一个离子的未被屏蔽的电势随着晶体内的离子移动——和被人们广泛应用的近似方法"无规相近似"(简称RPA)[64]类似。然而,他再一次未能在这一问题上取得突破。

那么为何巴丁还把他在哈佛的日子描述成"对我的人生

最有影响的时光”呢?[65]或许是因为他越来越认识到那几年他的工作所提供的重要训练机会,训练了他坚持不懈地攻克物理学中挑战性的问题。通过同那些难题的斗争,他强化了自己作为一个理论物理学家应具备的技巧。

对超导性的解释是巴丁在哈佛未能成功解决的另一个问题。1911 年,伟大的荷兰实验物理学家昂内斯(Heike Kamerlingh Onnes)观察到在极低温度下,某些金属和合金会失去所有的电阻。在接下来的45 年中,几乎每一位从事物理学研究的理论家都力求解释这个令人困惑的效应。对这项研究的探索[66]工作类似于寻找圣杯*。

20 世纪 20 年代末 30 年代初,固体量子理论得到发展之后,理论物理学家被卷入了一股引发许多超导理论的研究风潮中。但这些理论均以失败告终。贝特在 1933 年与索末菲合著的《物理学手册》一书中,痛惜量子力学的研究方法不能应用于超导性研究:“现在只有几个直到现在都未能解答的假设,而且它们的有效性也未得到验证。”[67]但无论如何,贝特依然相信“尽管超导理论至今还不成功,但我认为在今天的量子力学知识的基础之上,它终究会得到解决”。

当时提出的所有超导理论都基于超导体电子结构的新奇假设。举例来说,布洛赫、朗道和弗兰科(Yakov Frenkel)假设超导体的基态拥有一种“自发的电流”,认为这就是这种状态下能量特别低的原因。然而,布洛赫的计算并未发现最低能态下的任何电流,这被人们称为“布洛赫超导体第一定理”。

---

* 圣杯(Holy Grail),即传说中耶稣在最后的晚餐时使用过的酒杯,耶稣死后,它被其门徒带到欧洲藏匿。早在中世纪,欧洲的骑士们就十分热衷于寻找圣杯。传说圣杯具有巨大的魔力,可以重建社会秩序,创建一个完美的国度。后来亦常指梦寐以求的东西。——译者

很快他又补充了第二定理:“任何一种超导理论都是可以被证伪的!”[68]第二定理的广泛接受,反映了那些未能在20世纪30年代解决超导理论的科学家们的沮丧心情。

玻尔和克洛尼格(Ralph Kronig)提出了另一个设想,他们认为超导体中的电子是呈链状或网状的。爱萨赛(Walter Elsasser)的理论建立在相对论电子的假设之上,而沙恒迈尔(Richard Schachenmeier)则认为传导电子和束缚电子之间存在着交换力。布里渊把超导性和在亚稳态下被捕获的电子联系起来。[69]所有这些理论都受到数据不完整和理论工具不适当的牵制。认识到自己能力的博士后巴丁,也情不自禁地投身于和那些未能成功揭开超导电性之谜的人的竞争中。

巴丁着手解决新的物理问题时的典型步骤,是为那些通过实验得出的理论找“感觉”。巴丁努力了解20世纪30年代末实验物理学家对超导性进行的观测,他曾看到过剑桥大学的物理学家大卫·勋伯格(David Shoenberg)新近出版的一本篇幅较短的专著,上面提出的一些想法和贝特的不谋而合:“尽管波动力学能对大多数金属现象作出一个令人满意的定性解释,但是从理论的角度来看,超导性还是一如既往地反常。”勋伯格写道,最近的一些实验“并未能实质性地改变这种状况”,但“至少说明了理论需要解释的问题”[70]。15年后,巴丁向他的博士后库珀推荐了这本已经再版的专著。

1933年,有关超导性的研究取得了突破,[71]弗里茨·伦敦(Fritz London)和海兹·伦敦(Heinz London)提出了很有预见性的推测,尽管并没有充分利用量子力学的手段。这时,巴丁是少数几名认识到这一理论重要性的科学家之一。伦敦兄弟[72]为了逃避希特勒的迫害而逃离德国,他们暂住在牛津,一起提出了一个超导理论以解释超导性的惊人结果:1933年迈斯纳(Walther Meissner)和奥克森菲尔德(Robert Ochsenfeld)

提出超导体排斥磁场。这一现象表明金属的正常状态和超导状态之间的转变是可逆的，因此它可以用热力学进行解释。

伦敦兄弟设计出两个方程，把超导体和电场及磁场联系了起来。迈斯纳和奥克森菲尔德所观察到的电阻消失可从第二个方程推导出。伦敦兄弟所认识到并在第二个方程中表达的是，与超导体的电场成正比的并非正常情况下的电流，而是随着时间变化的电流变化。如果没有电场，那么电流的变化为零，现存的电流将永远流动下去。[73]

“伦敦方程”和麦克斯韦有关电场和磁场的方程联系起来，就可得到实验所观测到的结果。举例来说，磁场穿透超导体的深度一旦处于10^{-6}和10^{-5}厘米之间，磁场就会以指数形式衰减。而且，表面附近的穿透层电流可以屏蔽外部磁场对内部的影响，这就是所谓的“迈斯纳效应”。伦敦兄弟的假设——稳定态下的超导电流会让正常电流（和超导电流并存，并符合通常的欧姆电阻定律）短路——解释了超导体是如何响应电磁波的。

为了把他们的理论归入到量子力学的框架里去，伦敦兄弟提出，这些基态波函数在磁场中具有“刚性”[74]。换言之，弱磁场对波函数不起作用。但是足够强的磁场则会让这一系统不再超导。这就好比敲桌子。如果敲击的力量不大，那么桌子因为结实而安然无恙。但是如果敲击的力量很大，那么桌子就会被击碎。

为什么波函数应该是刚性的呢？伦敦兄弟认为，这是因为在固体的电子结构中存在着能隙，一种介于量子力学基态能量和低能激发态之间的有限空隙。因为有这样一个空隙，所以就需要很多能量才能达到能量最低的激发态。巴丁认为这一能隙的观念是解释超导性的关键。

在哈佛，巴丁要面临的挑战不仅仅是物理学。尽管他认为自己同简之间的罗曼史进行得轰轰烈烈，但她却不这么认为。年近30的她想要知道自己和约翰是否能成为终身伴侣。除非两人能更经常地见面，否则他们如何下定决心呢？“每次我见到他，就对他多一分爱意”，但是“我见他的次数太少”[75]。约翰对婚姻避而不谈，这让她感到灰心。“在那个年代，结婚就意味着你要供养妻子，”[76]巴丁后来解释说。但他当时还没有那个条件。

简采取了行动。她再次安排了去马萨诸塞州伍兹赫尔的工作。在做有关黄蜂生殖方式的硕士论文期间，[77]她在1936年和1937年暑期有许多机会见约翰。她从波士顿写信回家：“周四晚上在‘路边客栈’吃晚饭，周五晚上去‘交响音乐厅’听流行音乐会，昨晚在T码头的‘蓝舰’餐馆吃晚饭，还去兜了风……约翰和我玩得很开心。”[78]那个周末过后，他们就驱车前往宾夕法尼亚见简的家人。[79]

当约翰还是回避对她作出承诺时，她采取了另一个步骤。“既然分离不能产生我所预期的效果，那么我决定到他身边去。”[80]1937年8月，她写信告诉家人，她“辞去了卡内基学院的工作”[81]，到马萨诸塞州韦尔斯利的达纳·霍尔女子学校任生物老师。简的家人知道约翰就住在坎布里奇附近。她声明说：“我去东部并不是因为约翰在附近。”她声称：“我并未考虑这一点，因为我不能确定他是否会成为一个好丈夫。”她自圆其说道，她在卡内基学院所能做的都已经做了，在马萨诸塞州她可以在拉德克利夫或韦尔斯利学习博士课程。“我不能放弃事业发展的所有机会，傻等着某个男人来发现我是一个贤妻良母。”但是她的家人并没有上当。

在达纳·霍尔女子学校接受面试时，校长海伦·库克（Helen Cooke）小姐问简是否有什么“计划”[82]。简推诿说没

有。她觉得没有必要把自己想同约翰结婚的愿望告诉别人，因为当时的社会反对已婚妇女外出工作。11 月，简在学校的同事们开始对“‘一个从坎布里奇过来的帅小伙子’[83]表现出了极大的兴趣，他不定期地来看我，在我不在时打来很多电话。”

简对约翰依旧持保留态度。“他真的很喜欢我，总是在想消遣时找我一起玩，但是他工作的时间比玩乐的时间多，物理是他的最爱。”与此同时，她决定“对此泰然处之”，因为“我看不出还有其他什么男人更适合我”[84]。

第六章

学术生涯

1938年5月，巴丁带简一起参加了研究学会组织的野餐，这让他的同事们感到吃惊；更让他们吃惊的是，他又咕哝着告诉同事他将把妻子带到明尼苏达。很少有同事知道他在热恋。[1] 达纳·霍尔女子学校的沃尔多(Waldo)小姐准许简请假两节课去参加研究学会的野餐。“这难道不说明她是一个大度的人吗?”简写信回复，“她完全赞同我的计划，且当我把事情说出来时，她很高兴。”[2] 即使是校长海伦·库克也对她“表示了祝福”，但是“没有沃尔多那么热心”。

简喜欢给那些聪明的少女们上生物课。几个月后，她高兴地从一个朋友那里得知，“她在达纳·霍尔女子学校的所有学生都在大学入学考试中获得了‘良’、‘优’或‘特优’的成绩。”[3] 即使是那些让她操尽了心的少女也考得很好。“让我感到高兴的是自己在她们身上付出的努力终于有了回报。”库克小姐和沃尔多小姐高度赞扬了“我在这一学年中所取得的成功，希望我能够为了达纳·霍尔女子学校的发展而留下来”。

约翰终于愿意对简作出婚姻的承诺了，这是因为他已经成功地和明尼苏达大学达成了协议。从1938年秋开始，他将成为那里的教师。明尼阿波利斯的这所政府赠地学院正在改革它的课程设置。物理学是其中一个改革对象。泰特(John Tate)是文理两科的主任，也是《物理学评论》(Physical Re-

view)的主编,曾指导过沃尔特·布喇顿博士的论文,最近他为物理系引进了布克塔(J. William Buchta)、约翰·H·威廉斯(John H. Williams)以及尼尔(Alfred O. C. Nier),指望把明尼苏达大学放置到核物理学的"地图上"[4],还希望在固态物理学领域也是如此。

约翰·范弗莱克现在是哈佛大学的正教授,他再次为巴丁写了一封推荐信。范弗莱克和明尼苏达有一种特殊关系,他曾于1926年至1928年在此执教。他把自己曾写给约翰斯·霍普金斯(Johns Hopkins)的信件复印件寄给布克塔,上面介绍了几位年轻的物理学家。关于巴丁,他说哈佛"对他的工作给予了高度评价,很想让他留校,但是财政状况很可能会使这一点成为泡影"[5]。

3月下旬,明尼苏达大学聘请巴丁为助理教授。[6] 2600美元的年薪比5年前他在海湾公司的收入要少,但是巴丁知道能够获得这样的薪金已经算是幸运的了。学术界的收入同工业界的收入是不能相提并论的。大多数大学还没有理论物理学家,于是他接受了这个职位。

明尼苏达大学还聘请了尼尔。他和巴丁都于1936年至1938年间在哈佛供职。在尼尔的回忆中,巴丁得知尼尔的薪水比自己高后有些恼火。出现这一状况的原因是尼尔在明尼苏达大学很出名,他是在那里完成研究生课题的。1938年秋,物理系有两个职位空缺,其中一个马上给了尼尔。当哈佛愿意为尼尔再提供一年资金时,[7] 明尼苏达大学开出了比一般略高的薪水。

约翰和简的婚礼计划提到了议事日程上。他们商议削减日常开支,并决定在约翰一学期结束后举行婚礼。7月,他同意去匹兹堡大学的暑期学校主讲金属物理学。[8] 在简家人居

住的宾夕法尼亚的华盛顿举行婚礼是合乎情理的。“婚期定于18号”,简在5月份写信给母亲,“除非约翰能够把婚礼安排在16号。那天他将结束所有的课程。”[9] 他们决定开车度蜜月。简写信给妹妹:“约翰昨天打电话给我,他刚买了一辆1937年生产的福特牌小轿车。”[10]

婚礼的一个关键问题是举行仪式的地点。简说:“我妈妈说如果我们能够在教堂举行婚礼,她会很高兴。”[11] 约翰答道:“如果你想在教堂举行婚礼,没问题,但是我不会去。”她忍住没有笑出声来,但是她认识到,在这点上他们是不可能达成一致的。

约翰和简在简家的客厅举行了结婚仪式,[12] 并遵循了简父母结婚时的习俗。简的父母J·R·马克斯韦尔(J. R. Maxwell)和贝丝·马克斯韦尔(Bess Maxwell)于1906年结婚后定居在宾夕法尼亚的华盛顿。简于1907年出生,接着就是两个妹妹贝蒂(Betty)和苏(Sue)以及弟弟吉姆(Jim)和山姆(Sam)的降生。马克斯韦尔医生在他家楼下的诊所为当地人看了14年的病。当他把诊所搬到了麦昆井大楼后,[13] 家里的巨大空间经常用作各种庆祝活动的场所,如简的婚礼。为了取悦丈母娘,约翰同意邀请德高望重的牧师利平科特(Lippencott)医生[14]——简的好朋友玛格利特的父亲——来主持婚礼。

只有少数几个朋友和家庭见证了1938年7月18日这个星期一举行的这场婚礼。这是阿巴拉契亚山脉的一个阴雨绵绵的夏季清晨,约翰的大多数家人都设法赶到了那里。露丝和安从麦迪逊开车过来,汤姆和珍妮特从匹兹堡赶来。约翰父亲的一些亲戚从纽约的锡拉丘兹赶来。简的所有家人都参加了婚礼。[15] 玛格丽特和雷莱恩也赶来庆祝他们撮合并期待已久的婚礼。

简没有穿“传统的婚纱”[16],她穿了一条普通的白裙子和

一件镶边的短上衣。约翰那十几岁的小妹妹很羡慕简走过时短上衣镶边晃动的样子。[17]只有简的姑姑玛格丽特拍下了仅有的几张照片。[18]

客厅的仪式完毕之后，大家都聚到餐厅和娱乐厅，准备吃午饭。简则跑到楼上去换旅行装。在夫妇俩准备驾车出发时，简的弟弟们在他们车上绑了铁罐头，约翰对此赞叹了几句。但是在简的印象中，“约翰根本不喜欢这些罐头。”[19]车刚离开他们的视线，约翰就把铁罐头给扔了。

新婚燕尔的巴丁夫妇驱车前往西南方向的麦迪逊，这样约翰可以让他的新娘看到他的家乡了。“我们一直开到俄亥俄州的坎顿，在第一个晚上挑选了当地最好的一个旅馆住了下来。”[20]第二天早上出发时，“露丝、安和她们的两个朋友将与我们同行，”简写道，“我们停下来聊了几句，并抱怨在蜜月中没有隐私！”简对约翰的家人印象很好，并很高兴自己能够成为其中的一员。

接下来，“他们的轮胎出了点问题，”[21]一个轮胎爆了，但是却没有合适的修理工具。简在给家人的信中写道：“我们从一个农场主那里借了一个千斤顶，费了很大劲才把它弄到车子底部。”简开始怀疑自己将来是否会成为家庭的“修理工”。后来，约翰常常因修理问题而备感沮丧，这总是让他大发雷霆，不过他是针对工具而不是人而生气。[22]“你可以想象，约翰相当生气，”简说，“最后我们不得不拦下另一辆福特车借一把扳手。”[23]最终他们到了一个城镇，“我们在那里买到了一个轮胎并修补了备用轮胎。然后我们跑遍了每一家福特汽配店，购买我们所缺少的工具。”

周三下午四点半左右，他们终于到达了麦迪逊——比露丝和安早到了一个半小时，后者就在离约翰和简住的酒店几个街区远的华沙酒店过夜。

第二天，约翰带着简到门多塔湖游泳。他们从福特车上卸下行李并把“东西放在露丝的地下室里和阁楼上”[24]。露丝把一些家庭影集给他们看。简找到了“约翰一些极可爱的照片”。

露丝没有雇女佣，所以总是忙于家务，因此这对年轻夫妇“全力帮助她”。因为没有时间把衣服送到洗衣店，简在露丝的帮助下自己洗衣服，“并拿我自己在蜜月期洗衣服、做针线活的事情开玩笑。约翰暗自感动，并为我的这种不计劳苦的精神感到自豪。”

周六晚上，约翰开车带简去威斯康星的校园兜风，他们同约翰的兄弟汤姆以及他的妻子珍妮特到学生们经常去的地方喝啤酒。汤姆夫妇刚在前一天带着女儿朱蒂(Judy)从匹兹堡赶来。

周日早上，新婚夫妇驱车前往翡翠湾探望他的兄弟“威利”(Willie)及其妻子夏洛特(Charlotte)。“他们杀了肥牛来款待我们，并带我们参观了小镇。”[25]从简的信中丝毫看不出她对蜜月中所做的差事感到不满，她流露出的是对同她一样爱家的约翰的欣赏。约翰坚持认为，简应该像她原先承诺的那样，经常写信回家。“他甚至威胁我，如果我不这么做，那么他就亲自写信给我的家人。”

拜访了翡翠湾后，他们驱车前往明尼阿波利斯的新家。“我们在这里遇到的所有人都很友好，”简写道，“我想我们会喜欢住在这里的。”[26]“同一个单元的另一位新娘”安·赫斯特里德(Ann Hustrulid)帮他们寻找新的公寓。当时的房产市场所能提供的房子都很紧俏，但他们还是在东南第七大街701号找到了一间公寓，离大学只有几步之遥。他们把房间整理了一下，以便一度完蜜月就可以住进去。

结婚8天后，简在柯蒂斯酒店宽敞的房间中写道：“我发

现和约翰呆在一起得到的快乐比原先梦想的要多得多。每天我都在他的身上找到一些可爱的新东西,感到自己能够成为他的妻子很幸福。"[27]

驱车西行的过程中,简为黄石公园的壮观景象感到惊奇。[28]他们在门多塔拜访了一个从事地质研究的朋友。此人曾和约翰在海湾公司共事过。在冰川国家公园,他们徒步行进了14英里,并约定以后再来这里度假。在路易斯湖,他们又徒步行进了14英里。为了省钱,他们自己做早餐。简写信告诉母亲,约翰"煮的咖啡很好喝,信不信由你"[29]。

偶尔休息时,简会写一些感谢卡,而约翰则撰写物理学论文。[30]但是约翰不愿意在路上作更多的停留。当简要求下车好好看看山花烂漫的山岗时,约翰说:"车里面不是也可以看吗?"[31]

约翰急于去温哥华看望妹妹海伦,她在耶鲁的护士学校感染了结核病,[32]当时住在医院里。(在护士学校)她遇见了医学院的学生唐纳德·比奇(Donald Beach),并同他结婚。海伦和唐纳德以及他们两岁的女儿格莱尼斯(Glenis)住在英属哥伦比亚的兰利牧场,后来海伦因为病重而只好呆在家里。

巴丁夫妇在比奇夫妇家里呆了几天。约翰和唐纳德一起钓鱼,新的妯娌相处得"很好"。但是简故意避让,好让约翰和海伦有时间"畅所欲言"[33]。已经无法继续工作的海伦拜托约翰帮她处理后事,以免她去世之后格莱尼斯得不到照顾。

海伦和格莱尼斯差不多有一年时间没有呆在一起了,因为医院不允许孩子探望母亲。因此,约翰、简和唐纳德带她俩外出兜风的两个小时对她们来说是一种特殊的待遇。"结核病对她来说是一场绝望的斗争,"简如此描述海伦的病情,"但是我们已经得到了令人鼓舞的消息,那就是人们确实可以从结核病中康复。但愿她能够成为其中的一员!"[34]

同海伦和唐纳德告别之后，巴丁夫妇朝西海岸的旧金山和约塞米蒂国家公园进发。他们“穿过旧金山的商业区，沿着江边走了四五英里”[35]，并“很高兴”地乘坐了有轨电车。简写信给家人，描绘了红杉林的壮观，他们呆在“树丛边上一个迷人的地方”。她和约翰已经成为了“相当不错的徒步旅行者，尽管我在爬坡的时候还有点落后。有时约翰还要拉我一把”。对于家书数量的减少，她表示抱歉：“我们整天都在赶路，约翰又要我整天和他呆在一起，这样到了晚上，我就没有时间和精力来写信了。”[36]

新婚夫妇前往明尼阿波利斯的新家前的最后一站是麦迪逊。他们行进 8000 英里，到了 24 个州以及两个加拿大的省。在麦迪逊，约翰和简“钻进地窖”[37]，找到了一些“属于约翰母亲的中国碟子”。他们带上了这些盘子以及家人的照片，小心地把盘子、照片以及结婚礼物打包，驱车前往明尼苏达。他们在麦迪逊又得到了几件结婚礼物，包括维格纳赠送的一块漂亮的蕾丝桌布。当约翰高兴地得知维格纳在小镇的时候，又多呆了一天。

1938 年 9 月 7 日，当他们回到明尼阿波利斯时，公寓已经为他们准备好了。不幸的是，用船从匹兹堡装运过来的一些日常用品还没有到达。[38]他们兑换了简的父亲给他们作为结婚礼物的一张几百美元的支票，购买了一些家具，包括他们终生使用的一套胡桃木的卧室家具。他们又花 20 美元买了六把椅子和一张二手的餐桌，约翰“自命不凡地把桌子重新磨平，并涂上漆”[39]。约翰从洛威尔宿舍带来的深红色窗帘经过修改后正好适合新窗子的大小，同简的小地毯也“正相配”。他们很高兴地发现无须动用“约翰的资本”；在那些结婚贺礼的帮助下，他们“用现金购买了一切”[40]。

很快他们便意识到需要一张婴儿床。两人都希望生个孩子。但是令人意外的是,简在蜜月的时候就怀孕了。当时约翰30岁,简31岁。简从旅行回来之后就"预感到了什么",因为她开始受到晨吐的折磨。"约翰像恋人一般在我起床前给我端来糖茶,还有他自己的早餐,这样我在早上就不用急着起来。"[41]

简很在意自己的形象,她对医生说:"不要让孩子在春季前降生。"[42]"人们一定会数日子,"她向妹妹吐露秘密,"因为孩子会早于我们结婚纪念日之前很久就降生。"到12月份时,她感到肚子日益变大,于是去买了几套孕妇装。一个月后,约翰开玩笑说她"将生一窝孩子"[43]。但医生说不会生一窝孩子。"我比我可爱的丈夫更习惯怀孕对体形造成的可怕影响。"

2月底,明尼苏达的新朋友意外地为她开了一个新生儿派对,这让简大为感动。"最奇妙的礼物"是两个朋友的丈夫制作的"可以用来存放婴儿衣服的大木抽屉"。[44]简告诉母亲,这抽屉"简直和贝蒂送给我的书《小衣服》(Tiny Garments)的形状一模一样。"她的朋友把它"漆成蓝色,边上则保留了木纹和木材原色,这看上去就仿佛是书页。抽屉的前面做成曲线状,就好像书脊;抽屉上方用黑字刻上了书名,并像真书的封面那样放上了孩子的照片"。

离开达纳·霍尔女子学校之前,简请求库克小姐为她写一封推荐信,[45]以便她可以找到另一份教师的工作。但是怀孕使这个计划化为泡影。与同时代的大多数妇女一样,简所考虑的职业规划同相夫教子的职责是冲突的。当一位匹兹堡大学的教授鼓励她继续在明尼苏达进行遗传学方面的研究时,她开玩笑说自己正在"从事自己的基因工程"[46]。同埃尔希娅和自己的母亲一样,简很快便承担起了家务和其他家庭责任,放弃了自己的教学和研究,以便丈夫可以全身心地投入

工作。

巴丁很快就融入了明尼苏达大学的学术圈。简经常在家里举办派对,招待客人。“我很喜欢做菜,不介意在上面花费大量的时间,”她写信给母亲,“但是我的确不喜欢打扫卫生。”[47]

约翰依旧不太擅长同他人交流。简写信告诉父母,他们遇见一对新婚夫妇,她希望“我们可以同他们进一步交往,因为约翰很主动地同他们交谈,这比较反常,约翰尤其不善于同不熟悉的人交谈”[48]。她开始扮演最早由约翰的兄弟比尔、后来由奥斯特豪特所扮演的角色,打破约翰同他人交流过程中的一些尴尬局面。

简与约翰的许多同事的妻子成了朋友。她最好的朋友包括维拉·威廉姆斯(Vera Williams)、安·赫斯特里德和弗洛伦斯·朗宝(Florence Rumbaugh)。朗宝夫妇和巴丁夫妇经常一起玩,相互开玩笑,相互支持。当丈夫们感染了流感之后,她们相互安慰,“通过电话传达问候,了解各自丈夫的病情。”简说:“约翰不愿吃药,但是他愿意呆在床上,这已经很不错了。”[49]

约翰再次通过运动和其他活动建立友谊。巴丁夫妇都喜欢打桥牌,这在学术圈内的夫妇中很流行。约翰还同其他的物理学家打桌球以及高尔夫球,有时在午休时玩。有一年,他获得了教职工桌球赛的冠军。[50]

一旦有人组织垒球赛,约翰总会参加。在物理系的春季野餐时,教工和研究生总要打一场垒球比赛。尼尔夸耀说,只要有巴丁、威廉斯和朗宝参加,教工就会赢,[51]这让比赛变得没有悬念。有一次,当教工对学生的比分达到“25 比 3(或近似于这个比分)的时候,比赛被叫停,我们相互交换队员,以使比赛更具竞争性”[52]。

物理系和化学系的年度比赛结果也好不到哪里去。20世纪30年代末，物理系主任布克塔恢复了两个系在每年联合会餐时的垒球友谊赛。他用一张签有物理系全体成员姓名的挑衅性的挑战书，向化学系发出挑战。化学系则把挑战书放在一个刺鼻的硫化氢试管里，以此作为回应。然而，化学系的垒球队中只有一人技艺高超。物理系则缺乏有水平的研究生运动员，最后只能是物理系的教工与化学系的研究生对垒。“我们当然战胜了他们。”[53]尼尔在50年后得意洋洋地说。

很快，巴丁就被当作物理系的明星运动员。[54]他那普通的身材和温和的举止很可能让对手麻痹大意，但他们很快就会发现，约翰对任何一项他参与的运动都具有超强的控制力，这种控制力甚至扩展到他的舌头。他可以默不做声，直到完全明确自己想要表达的内容；但他也可以随着情况的变化突然闭口，一言不发，或是忽然开口说起话来。尼尔说，在高尔夫比赛时，如果巴丁击了一个坏球，那么他会低声地咕哝；[55]当另一个高尔夫选手走上前时，他会马上停止咕哝。而当这个选手打完一杆之后，他又开始喋喋不休地抱怨起刚才的坏球来。

做一个全职教师对于巴丁来说是一个新的挑战，在开始时曾占去了他的大部分时间。他同时要讲授本科生和研究生的课程，开始就感觉这两方面的教学都具有挑战性。以前，他只是在哈佛大学研究会的时候讲授过相对论。他写信给简：“既然你是老师，那么请告诉我应该怎么做。”她提出了自己的建议：“把你知道的东西告诉他们。”[56]他知道自己同父亲一样，更擅长一对一的教学而不是大课。在明尼苏达大学，他曾经和几个博士生共事过，但时间都不长，没有帮助他们完成博士论文。

明尼苏达第一学年结束的时候，巴丁感到自己很幸运地“可以教授暑期班的课程，赚一些额外的收入”[57]。但是沉重

的教学任务，尤其是基础物理学课程让他筋疲力尽。简在8月时写信告诉母亲："约翰度过了艰难的一周。突然进入教学状态让他紧张不安，彻夜难眠。"[58]由于担心约翰会搞垮自己，简计划开车去麦迪逊做一次旅行。"显然，约翰应该从物理学和教学中摆脱出来。这个暑期班的工作非常累人。"为了让他放松下来，简"做了许多黑莓酱"[59]来满足约翰对甜食的嗜好。

很快简就知道"假期是用来搞研究的"[60]。假期是"唯一可以用来撰写那些要求出版的论文的时间"[61]，她告诉妹妹苏。经济状况依然很紧张，尤其是在1938年秋天，他们需要一笔巨额的额外费用[62]——他们刚刚组建了家庭，需要省下钱来抚养孩子。

约翰在明尼苏达大学的第一个计划就是补写他结婚前在匹兹堡演讲过的一篇论文。他先综述了量子力学产生之前金属物理学中存在的一些主要问题。"在索末菲、休斯顿(William Houston)、布洛赫、莫特和其他人把现代量子理论应用到这些问题之后，所有的困难都迎刃而解了。"[63]在回顾导电性的试验图时，他写道："传导性理论最重要的一点是要令人信服，必须解释金属和绝缘体之间的显著区别所在。"他还写道："德鲁德(Paul Drude)和洛伦兹(Hendrik Antoon Lorentz)的早期理论并没有试图详细阐述这些事实；他们只想给出传导性的机制。"

巴丁的论文讨论了索末菲关于传导性的半经典理论，并提到休斯顿对电子的平均自由程的估算是建立在索末菲的理论之上的。他还阐述了布洛赫的理论及其非凡的成果，即"一个完美的周期晶格是没有电阻的"。[64]他根据能带理论概括出金属和绝缘体之间的区别，并解释为何"在其他地方都被充满的能带上的'空穴'就像一个在负曲率区域的带正电

荷和正质量的粒子,而在能带底部的正曲率区域附近则像一个带正电荷和负质量的粒子。”

在进一步讨论传导性和电阻时,他求助于他的导师德拜和布里奇曼的著作。最后,他列出了这个热点领域里目前存在的一些问题,如铁磁金属的电阻和合金的电导率等。他认为目前的研究都不完善,并指出“布洛赫理论对一些现象甚至未能进行一种定性的解释”[65]。他的单子上还列有超导体和德哈斯(W. J. de Haas)以及他同事在莱顿的奇特发现:从试验图表上可以看出液氦温度下黄金的电阻与其温度比值的最小值。他带着一种深邃的洞察力指出:“在某些情况下,解释那些在很大程度上取决于电子相互作用或大量电子的合作运动时,有必要抛开布洛赫图景。”作为结论,他概括了自己的多体理论的研究计划,并在寄出文章之后投入研究。

简在1939年5月4日写道:“约翰早上醒来以及晚上到家后的第一句话就是‘有分娩前的阵痛吗?’”[66]整个春季,他都和她开玩笑说:“你会生个胖女孩。”[67]“但是他显然想要一个男孩。”简向母亲保证孩子一出生,他们就会发电报给她,“除非约翰因为当了爸爸而兴奋过度忘发电报。”她还准备了一个候补计划,[68]如果约翰忘记了,她就请一个朋友给母亲打电话。待产时,约翰在家里给家具上漆。“他的摇篮做得很不错,但是童车还需要改进一下——或许在我从医院回来的前一晚,约翰还在改装呢!”[69]

1939年5月9日,简用弟弟的名字为儿子取名为詹姆斯·马克斯韦尔·巴丁(James Maxwell Bardeen)——医生说儿子比预产期迟了4天出生,但是这比自己计算的日子要早。约翰和简对于吉米(Jimmy)的降生都感到高兴。他们是一对爱逗孩子玩的父母。在吉米6个月时,简写信告诉家人:“昨

晚他很开心。他趴在沙发上,两条手臂支起头和肩膀。他不停地前后摇摆并环顾四周。我一模仿他的样子,他就会不断重复这个动作。他教约翰也这么玩。约翰称他为'玩具熊'。"[70]一年半之后,在吉米已经可以拼单词的时候,约翰便开始教他牛顿定律。小男孩含糊不清地说着牛顿定律,成为巴丁物理系聚会的焦点。[71]约翰对孩子喜爱有加,经常在一些社交活动后逗孩子玩。[72]

即便是在吉米降生之后,简和约翰依旧保持着一种新婚夫妇般的关系。在简 33 岁生日的时候,简写信告诉母亲:"约翰和我出去玩了。"[73]他们在"市区里吃了晚饭",然后去看了皮诺曹的"首映日纪念"演出。几个月前,她还为约翰做了一个"装饰着肉桂色心形糖果"的情人节蛋糕。[74]当吉米 7 个月时,简写信给家人:"我们的爱意与日俱增,我真正了解到,约翰让我满意的程度超过了年轻女子所梦想得到的。"[75]

然而,约翰的沉默寡言和对物理学的痴迷使他们的关系出现了一道鸿沟,简很痛苦。她感觉自己因约翰喜爱物理学和高尔夫球而孤立,而这种隔阂并没有因为日益成熟的婚姻生活而有所减少。在明尼苏达大学,她曾一度想要学习高尔夫球,以便更好地接近约翰,但是为了照顾家庭和家人,她很快就放弃了。在他们的婚姻中,物理学依旧是约翰的"初恋"[76]。但是随着约翰对新科学领域的探索,简一如他原先家庭中的女性,成了他的精神支柱。

1940 年夏,巴丁一家显然需要更多的空间。简要给吉米搭建一个院子。他们在亚瑟东南大街 171 号租了一幢很小的带 3 个卧室的木屋。"房子不大,但是我们觉得很舒服。"她在 8 月写信告诉母亲。一块可供起居以及用餐的开放空间和一个室内的小厨房占了一楼的大部分。"壁橱很不错——几乎像房间一样大!"[77]他们还给自己买了一些便利品。"约翰

到市区给我买了一台很好的托尔牌洗衣机。”“你知道我们也买了新冰箱。”

他们原本打算买房子,而不是继续租借房子,但是美国有可能同德国开战,这让他们很犹豫。“于是我们决定最好再等等看,看看会发生什么,以免我们把所有的资金都投入到房产,到时候处于负债的状态,”简写信告诉母亲,“如果德国获胜——而且德国很有可能获胜——那么无疑美国会出现经济动荡。[78]”尽管缺钱,但是全家至少还能对付。“我们都认为量入为出比滥用我们的财富更为重要。”[79]简在 1939 年圣诞节时这样写信告诉家人。

简愿意“尽量省吃俭用”[80],这样就可以让约翰自费去参加物理界的一些重要会议。美国物理学会的会议“确实是一个重要的机会,因为它可以让约翰认识很多人,并让大家认识他,了解他的才华”。1940 年 3 月,当约翰坐飞机去华盛顿时,简说约翰“第一次坐飞机时兴奋得像个小男孩”[81]。他告诉简,在去华盛顿的旅途中天气“一路都很好”,而简那时正在明尼阿波利斯低于零度的寒冬中瑟瑟发抖。

巴丁一家开始把家庭的旅行和约翰的公务旅行连在一起。1940 年的晚春,他开车去匹兹堡参加美国物理学会的一次会议,[82]而简和吉米则先乘火车去宾夕法尼亚的华盛顿探望家人,然后一起驱车返回明尼阿波利斯。

如果巴丁不能参加某次会议,他就会请同事代为提交论文,[83]1940 年的圣诞节期间尼尔就这样帮过约翰。巴丁很感谢尼尔帮他把论文提交给在俄亥俄州哥伦比亚召开的美国科学促进会的会议,但他希望自己所在的物理系能够在教职工出差开会方面给予更多的支持。

尼尔是当时众多从事铀裂变研究的核物理学家之一,这一研究使原子弹的制造成为可能。[84]了解核裂变的科学家都

担心纳粹科学家会制造出原子弹。为此，我们就不难理解1940年底，科学家首先得从富含同位素^{238}U的天然铀中大量分离出含量很低的可裂变的同位素^{235}U。因为原子质量只差3，因此分离这些同位素极其困难。

分离同位素的几种可行办法之一是热扩散。[85]尼尔请巴丁帮助他建立一种解释扩散过程的理论。因为费米(Enrio Fermi)请尼尔为他在哥伦比亚大学的研究准备一些^{235}U，所以尼尔当时也在尝试一种电磁同位素分离法。费米建议尼尔在分离同位素时采用后者使用的质谱仪来获取^{235}U。尼尔获得了成功。他写道："2月29日，星期五下午，[86]我把一些用[镍箔包裹的样本]放进一封手写信里面，从明尼阿波利斯邮局寄出。"两天后，"约翰·邓宁(John Dunning)的一个长途电话"把他给吵醒了，前者在哥伦比亚的回旋加速器中用中子轰击尼尔的^{235}U样本。邓宁观察到"显然^{235}U是铀的慢中子裂变的主要原因"。

1940年5月5日，明尼阿波利斯《星刊》(Star-Journal)上的一篇文章标志着尼尔取得了成功。简把一份剪报寄给了母亲，她母亲曾经在明尼阿波利斯遇到过尼尔。"看起来就像是重要的年轻科学家的好莱坞版本，不是吗？他所从事的研究非常重要。"[87]

1940年和1941年，美国军队开始准备这场几乎不可避免要参加的战争。军事研究实验室征召了许多美国物理学家，这干扰了许多物理学家的家庭生活。没有被征召的教职人员则被分配一些额外的任务。1940年末简写信给母亲："约翰代替韦策尔(Will Wetzel)讲地球物理学课。因此他变得很忙碌。"[88]差不多与此同时，朗宝被征召到华盛顿特区的海军军械实验室(NOL)。他留下弗洛伦斯一个人照顾3个孩子，还有尚待出生的第四个。因为朗宝曾经在地磁学系工作

过,他"了解许多有关磁学的知识,"巴丁说,"因此他被紧急征召,以帮助解决有关德军布置的磁性水雷的问题。"[89]在弗洛伦斯过生日时,巴丁夫妇邀请她到家里吃晚饭。朗宝则从华盛顿打电话来祝她生日快乐。[90]他写信告诉妻子:"约翰原本也要被征召的,但是海军部认为从同一个系同时选取3个人不太好。"[91]约翰和简松了一口气,但是他们知道约翰没有被征召也只是暂时的。

简害怕同约翰分开。"一个人住对我来说是一个全新的体验,"在约翰外出开会前,她这样写道,"我们仅有的一次分居是吉米出生的时候。"[92]她害怕"如果约翰被战争召唤去,那么她可没有弗洛伦斯那么有勇气"[93]。尽管他们希望得到国防部工作的夏季收入,但是简写信告诉母亲,自己"讨厌自己要当一个夏天寡妇的想法"。

约翰的妹妹海伦也让他们很担心。[94]1939年末,为了躲避海岸边的潮湿,她和唐纳德以及格莱尼斯搬到了加拿大落基山脉的麦克布里奇。因为海伦长年住院,所以婚姻关系也恶化了。几个月后,唐纳德提出离婚,说自己和医院的护士相爱了。简写道:"我们对海伦的遭遇感到难过。"[95]

简和约翰考虑帮助海伦照顾4岁半的格莱尼斯一段时间。他们同约翰的继母露丝商量这事。唐纳德此时另有所爱,显然不能兼顾他生病的妻子和幼小的女儿,负担日益增加的医药费。他们对海伦的"康复表示担心——即使她从结核病中恢复过来,依旧不可能去赚钱养活自己和孩子"[96]。他们还谈及万一海伦去世后该怎么办。约翰答应和简暂时抚养格莱尼斯。但是如果海伦去世的话,格莱尼斯"应该和父亲生活在一起"。

到12月时,经过一连串的通信联系,海伦于1941年1月,一个星期四的晚上发电报给约翰和简:"格莱尼斯将从西雅图乘坐晚间的飞机,周五早上到达。"[97]简去机场接孩子,因

为“约翰一早有课,不可能为了这点小事而赶去”。她发现这个被托管的孩子“是个漠然的小东西,她的小手牵着我,跟我回了家。她有着全世界女性的沉着,千里迢迢的飞行对她来说只是一小步”。

但是孩子的适应过程并不顺利。简发现,“因为她是独生女,所以和同样是独生子的吉米相处得很不好。”[98]简把格莱尼斯“送到大学的护士学校,这样她就可以和同龄的孩子一起玩,并得到那些有照顾孩子技巧的人的帮助”。简向她的父亲吐露:“她过去曾一味地逃避我,但现在她把我看作是老板。她显然需要很多的关爱,我把自己能给的一切都给了她,并竭力不让吉米产生嫉妒。她的到来对于吉米的生活来说是一个巨大的改变,尤其是对吉米的情感而言。”

简的信件并没有记录格莱尼斯和吉米是怎样消除最初的相互嫉妒感的,但是后来据格莱尼斯回忆,她的童年原本会是痛苦不堪的,然而她在约翰叔叔和简婶妈家的生活很宁静。她记得卧室的那头经常可以听到笑声,从约翰的留声机中传出贝多芬(Beethoven)、莫扎特(Mozart)以及勃拉姆斯(Brahms)的音乐。[99]

2月,格莱尼斯来到这个家不足一个月,除了担忧战争爆发和家庭关系外,这个家庭又出现了新的忧虑。“在一个月内,我将不去看医生了,但是我可以确定自己已经怀孕了。”1941年初简写信告诉母亲:“我想约翰是想再要一个男孩,这样吉米就可以找到玩伴了。但是这对我来说却没有多大区别。”[100]

巴丁在家庭的混乱中继续物理学研究。写完了对导电性的综述性论文后,他把研究的重点转移到了超导性。他希望能够解释伦敦理论的第一原理。海森伯的不确定性原理[101]——

即同时测量一个物体的两个“共轭变量”——如位置与动量——所达到的精度是有限的。这表明，巴丁要能解释可观察到的超导体的抗磁性，就必须面对无限导电性的问题。

他怀疑迈斯纳和奥克森菲尔德有关超导体排斥磁场的论证是否真的证明了这样一个事实：超导体内部的电子所移动的轨道范围比任何人所能意识到的要大得多。他竭力想要建构一个理论，假设被包括在内的电子动量同费米面边缘的电子动量没有什么差别。他假定超导体的抗磁性来自于一种由许多电子组成的表面电流，它们围绕着费米面附近的大轨道运行。如果表面的电子以此种方式运行，从而在外加场的反方向产生一个场的话，那么内部的电子是不能感应到这个外加场的。

巴丁凭直觉认为，若环境有利，超导体内部离子的小位移使电子获得的能量，要大于它在离子位移过程中所消耗的能量。他认为这些能量的不均衡会在费米面附近的电子结构中形成一些间隙。[102]他希望借助伦敦理论，并利用这些“间隙”来解释超导性。不幸的是，当他企图用三维量纲来表述这个理论的时候，数值相差了 10 倍。

巴丁把他的新理论寄给了塞茨。1941 年夏，塞茨在安阿伯参加密歇根的暑期学校理论物理学年会，他把这个理论交给泡利。据塞茨说，泡利“不赞同地摇摇头”[103]。塞茨写信给巴丁：“你的理论没有得到泡利的认同。”巴丁再次把这一理论束之高阁，只是发表了一个摘要。

要不是像原先预料的那样，巴丁于 1941 年 3 月被征召到海军军械实验室的话，他很可能会对这一理论作进一步的研究。1941 年夏，巴丁到华盛顿特区工作。但是当他在研究同战争相关的问题时，“在费米面形成小能隙的问题依然以某种方式留在脑海之中。”[104]因为性格中特有的韧劲，巴丁久久不能放下这个困扰他多时的想法。

第七章

国防工程学

1941 年 6 月，广播中传出的都是不祥的消息。巴丁听着广播，开车穿过威斯康星州、伊利诺伊州、印第安那州和俄亥俄州以及阿巴拉契亚山脉，前往华盛顿特区。他不愿意抛下简和吉米去首都，但是他想到了自己的爱国主义义务。一年前，简就写信告诉母亲："约翰和我感觉美国很快就要参战了——打仗是天理不容的——但是为了生存下去，我们不得不同纳粹统治的世界作斗争。"[1]

1940 年，美国人带着一种令人难忘的恐惧，见证了纳粹德国空军对英国的狂轰滥炸。7 月，希特勒已经占领了波兰、比利时、荷兰和法国。欧洲唯一巍然挺立的国家就是英国。在新首相丘吉尔（Winston Churchill）的领导下，英国发誓不惜一切代价抵抗希特勒的进攻。1940 年 5 月 19 日，在致英国人民的演说中，丘吉尔说："现在把我们团结起来的是一个目标——开始战争直到获得胜利，永远不向奴役和耻辱投降，无论付出什么代价，承受什么痛苦。"[2] 周复一周，月复一月，德国飞机不停地轰炸英国的城市，杀死了成千上万的人，让更多的人背井离乡，对英国的经济造成了沉重的打击。但是却未能让英国投降。

英国的科学家把自己的研究放在一边，去开发对战争有利的技术。英国的雷达让情报机构可以追踪敌机，从而对其发动进攻，把损失减少到最小。[3]配备先进通讯系统的英国皇

家空军及时地派出“烈火”和“飓风”战斗机对空中的德军轰炸机实施打击。皇家空军消灭了两倍于自己数量的德军飞机。英国的这场空中战争对于丘吉尔的军事力量来说是一次关键性的胜利,[4]但是岛国的资源相对于德国来说更为有限。1941 年 6 月,希特勒突然把战线转向东部,给了英国以喘息的机会。他对苏联发动了大规模的入侵。

美国总统罗斯福(Franklin Delano Roosevelt)越来越确信美国将参加这场战争。他鼓励公众舆论支持干预主义,并加快了美军已经开始的备战步伐。尽管许多科学家是孤立主义者,但是在 1939 年 9 月纳粹发动闪电战征服波兰之后,公众普遍认为应该阻止希特勒的侵略。逃到美国和英国的德裔犹太科学家也支持军事备战。信奉社会主义、和平主义的爱因斯坦公开宣称民主国家必须作好准备,抵御德国的入侵。美国对盟军的非正式自愿性支援减轻了英国和法国抵抗力量的压力,但是直到 1941 年 3 月《租借法案》(Lend-Lease Program)签订之后,这种援助才正式化。

联邦政府对从事军事研究的科学实验室的支持进入一个前所未有的阶段。麻省理工学院电机工程系的教授万尼瓦尔·布什(Vannevar Bush)成了科学家和政府部门之间的关键人物*。1939 年他在成为华盛顿卡内基学院的校长时,又担任了国家航天顾问委员会(NACA)的主席。在这个委员会的带头之下,他和其他科学家开展了一项计划:在军队内部进行科学研究,并让民用科学家参与军事研究。罗斯福总统授

---

* 万尼瓦尔·布什曾在麻省理工学院担任电子工程学教授和副院长。20 世纪 40 年代早期,作为罗斯福总统的科学顾问,布什组织和领导了制造第一颗原子弹的著名的“曼哈顿计划”。详见《无尽的前沿——布什传》,G·帕斯卡尔·扎卡里著,周惠民等译,上海科技教育出版社 1999 年 12 月第 1 版。——译者

权布什负责1940年6月刚建立的国防科研委员会(NDRC)的工作,协调科研与陆海军的需要。[5] 罗斯福通过这个新建立的组织为研究输入了紧急资金,但是后来发现这些资金还是不够用。

1941年5月,罗斯福委托布什建立由国会直接拨款的更为强大的组织。科学研究与开发办公室(OSRD)负责大学和工业实验室之间的合同签署,协调科研发展和军事实验室的关系。布什负责OSRD,科南特(James Conant)则成为NDRC的主席。从这些委员会中衍生出来的政府网络负责协调美国的战时研究。[6]

巴丁工作的海军军械实验室也是这个网络的一部分。1929年,建立于1919年且驻在华盛顿海军大院的枪炮厂内的军械局下属的一个小型试验机构——水雷实验室同弹药实验室合并,成立海军军械实验室。但是直到二战时期,海军军械实验室才成为一个著名的研究机构。

到1939年,海军迫切需要发展一项新技术,以对付德军的磁爆水雷和鱼雷,它们破坏了大西洋的运输线。这一需要迫使军械局对海军军械实验室进行扩建。1942年1月,它脱离了枪炮厂成为一个独立的实体。[7]巴丁应召到华盛顿,这也是这一扩展计划中的一个组成部分。拉尔夫·贝内特(Ralph Bennett)是一个性格粗犷的工程师,曾和朗宝在匹兹堡的卡内基学院共事过,他把朗宝引荐到海军军械实验室。[8] 贝内特之所以在海军军械实验室工作,是因为他在对一艘"消磁"(中和)过的英国船只进行检查之后,自愿去当一名海军预备军官。他认为他可以改进消磁技术。这项工作包括在船只的外围安装由线圈电缆组成的循环网络。船上产生的高压电流通过电缆,把线圈系统变成一个巨大的电磁体。通过适当地选择电流的强度,船上的人就可以调节磁场的强度:或者把磁

场调整得足够强大，足以引爆很远处的水雷，从而避免对船只造成损坏；或者把磁场调整到足够小，以至于船只附近有水雷也不会爆炸。[9]

1940 年夏，海军把贝内特征召到华盛顿执行一个为期 6 周的任务，结果是他服役的时间延长到 7 年。期间他作为技术主任，把海军军械实验室变成了一个一流的实验室。实验室不仅要解决原先主要针对船体的消磁任务，而且还同时进行着一百多个相关的项目。海军军械实验室与其他各种实验室激烈竞争，大规模地招聘各类科学家和工程师。[10]1940 年秋，贝内特招聘了朗宝。次年春，贝内特和朗宝又说服巴丁加入实验室。[11]

明尼苏达大学的物理系主任布克塔起先不愿意放约翰走，因为同许多美国大学的物理系一样，明尼苏达大学正在竭力补上那些被应征老师拉下的课程。贝内特和朗宝说服了布克塔：他们只借用巴丁一个夏天——如果巴丁愿意走的话。[12]

起先巴丁不愿意离开自己的家庭，放弃学校的学术生活而去从事军事实验室那令人厌烦的工作。他未曾忘却他在海湾石油公司最后的岁月是多么的无聊和烦人。简即将临产，也让他感到忧心。他担心自己一旦在夏天去海军军械实验室工作，至少要在那里呆上一年，照顾吉米、格莱尼斯和即将出生的孩子的重担都将压在简一个人的身上。

薪水也是他不愿意去的一个原因。海军通过签署个人兵役合同，以支付日工资的形式来招募民用科学家，这比通过文职部门能获得更多的技术支持。[13]但是每天 16 美元的工资根本不够整个家庭搬迁之后的生活费用。布克塔写信告诉贝内特和巴丁，秋季时将会涨工资。海军后来把工资加到了每天 17 美元。[14]

巴丁最终意识到从事战时的研究工作只是一个时间问

题。他的教育背景非常适合从事海军军械实验室的工作。就那里的科研工作而言，包括磁、压力、重力改变等诸多问题在内的研究，都同他在海湾石油公司从事的勘探工作相关。于是他决定接受这份工作。正如他原先所担心的那样，他在夏天的工作被延长到了一年，最终他为海军做了4年的研究工作。

简留在家里照顾吉米（那时第二个孩子还未出生），还要为家庭的再次搬迁作准备。把格莱尼斯带到国家最为拥挤和混乱的首都似乎对孩子的成长不利。简同家庭的其余成员商议之后，把格莱尼斯送到了格林贝，交由约翰的哥哥比尔和他的妻子夏洛特照料。

当简告诉医生她准备迁往华盛顿特区时，医生说："你不能去那里生孩子——那不是一个合适的地方。"[15]即使在战争之前，美国的公共卫生署就已认定哥伦比亚特区是一个卫生设施不完善的地区。现在大量战时工人涌入华盛顿，大大增加了这个城市的医院和医生的负担。[16]约翰和简决定去宾夕法尼亚州的华盛顿生孩子，简的父亲在那里行医，而且那里有很好的医院。怀胎六月的简整理好自己的房子，然后带着吉米乘火车前往匹兹堡。[17]简的家人在那里接她，把她带到了家里。1941年9月15日，简打电话给约翰，宣布第二个健康的男孩降生。"好啊！"约翰嘴里咕哝着，"我一直希望有个弟弟。"[18]他们以约翰哥哥威廉的名字给他取名，并昵称他为比利（Billy）。到11月时，简准备和两个男孩一起回去。这一次，她在火车上的感觉与之前截然不同，因为他们即将和约翰相会。[19]

那个时候，约翰已经开始了哥伦比亚特区的独立生活。成千上万的人涌向那里，为战争尽自己的一份力。尽管生活条件不尽相同，但是生活的方方面面都是战时配给，从汽油到

食物，乃至于住房，没有人例外。一天只供电两个小时以节省照明的费用。汽车缓慢地爬行在拥挤的路面上，公共交通工具不足。[20]约翰在白兰地酒大街2910号短暂居住过一段时间，之后他在东南W大街3813号找到了一套有两个大卧室的小公寓。这是费尔法克斯村的一部分，这一地区兴建了许多小公寓房，以满足不断涌入的军工的需要。[21]

约翰收到简从明尼苏达州船运过来的家庭物品之后，他那不太显现的爱家之心促使他开始装修房子。简感激约翰布置家具、盘子和衣物所付出的努力。当她和孩子们到达时，房子已经可以住了。当简的妹妹贝蒂在《国家地理杂志》(National Geographic)找到一份工作后搬迁到这里时，这个小房子就显得更为拥挤了。[22]贝蒂睡在男孩卧室的一张小床上，等比利长到睡不下婴儿床时，男孩们睡上下铺。

华盛顿特区建立在一个沼泽地之上，因此一到夏天，这里就会冒出一股黏糊糊的热气，让人无精打采。在回忆海军军械实验室办公室的时候，巴丁把海军大院称之为“华盛顿最炎热的地方”[23]。专业技术人员在没有空调的狭小实验室和办公室里工作。如果某人运气好，能够在靠近通风的窗口工作的话，那么他看到的是一幅离奇的武器研究景象。几乎每天都要进行的炮弹测试会把窗子震得咯咯响。巴丁把办公室的窗子关起来，以免楼下油漆店的烟冒进来。[24]这样整个夏天他的办公室都令人窒息。

海军军械实验室通常被认为是一个比较舒适的军事实验室。巴丁到达实验室时，当时一位重要的物理学家帕克(R. H. Park)认为这个实验室是军械局下面较好的一个实验室：不用担心其他实验室面临的一些令人讨厌的问题，如无法得到情报、在高级军官和普通工人之间存在“令人厌恶的歧

视”、“缺乏团队精神”等等。[25]较之于其他实验室，海军军械实验室较少受到外部机构的干涉。[26]

安斯帕尔(William Anspacher)是巴丁这一组的一位工程师，他和约翰以及其他四五个物理学家一起挤在一个拥挤的办公室里。两张桌子之外则是另外一个组，在枪炮厂那“不通风的阁楼”上还坐着物理学家基特尔(Charles Kittel)，他和巴丁建立了友谊。[27]后来基特尔和巴丁一起在贝尔实验室工作。

巴丁坐在一张面向墙的桌子边，他的脚随意地搁在桌子下方。小房间里面塞满了桌子。安斯帕尔对于巴丁的耐心感到惊讶，因为作为上司，他可以要求更大的工作空间。安斯帕尔无法想象巴丁是如何完成如此大的工作量的。不经意瞥他一眼的人会“发誓巴丁在熟睡”[28]，但是他根本没有睡着，特别是在需要保持清醒的时候。就基特尔看来，似乎“巴丁那组人工作时既不吵闹，又井然有序，而且充满了想象力。”[29]

住在离巴丁几幢房子远的数学家纪尔巴格(Divid Gilbarg)经常会到巴丁的办公室同他讨论鱼雷设计的问题。纪尔巴格和他的团队负责建造长一英尺、相当于实际鱼雷二十分之一大小的鱼雷模型。他们通过测试比例模型对墙壁的冲击力来测试鱼雷性能，或者在一个专门模拟作战状况的巨大水槽中拍下鱼雷高速运动的照片。[30]

巴丁的分析能力和讲求实效的解决问题的方法，使他成为海军军械实验室中宝贵的成员。如果有什么让他感到困惑的话，他会毫不犹豫地对之加以研究。他还因能够针对不同层次的询问者作出不同的回答而著称。据安斯帕尔说，如果巴丁觉得他的回答不能让对方理解，那么他将以一种更为简单的形式来解释，直到要表达的意思变得一目了然。“根本没有人觉得他有学阀的架子。”[31]

巴丁所在组的成员对需要用到他们专业知识的一切项目进行研究。举例来说,他们分析了设计不同水雷的可行性。1941 年夏,他们对某种水雷的设计进行研究,一旦有船只从它上面经过,这种水雷就能探测到重力的变化,从而引爆。但是研究小组发现,这种设计在实际作战情况下并不实用。因为拉科斯特—龙伯格(LaCoste-Romberg)重力仪的敏感度不够,不能探测到船只经过时重力场的微弱变化。[32]1942 年,巴丁为另一种更为实用的设计安装了压强灵敏装置。[33]

他还对潜艇所在的目标区域进行了分析——在这一区域的垂直平面投影中,潜艇的磁场大于或等于水雷的磁灵敏度,他也分析了某些特殊水雷的爆炸区域以及引爆机制。[34]他把不同船只的磁场做成一个目录,供海军计划参考。在 1942 年 8 月提出的报告中,他提供了一种可以区分不同船只的磁场识别方法,从而可以针对不同级别的敌军船只布置不同的水雷。[35]

巴丁也经常向其他机构的专家讨教。[36]举例来说,1942 年 3 月,海洋学方面的一些问题促使他到纽约科学院同一些科学家进行交流,然后又到普林斯顿对海军军械实验室将要招募的理论物理学家惠勒(John Wheeler)进行面试。接下来的一月,巴丁又到纽约的美国自然历史博物馆同一些科学家讨论有关海洋学的问题。因为视察海军基地,他去了罗德岛的纽波特、弗吉尼亚州的诺福克和查尔斯角、华盛顿州的西雅图以及佛罗里达州的梅波特。[37]1943 年 5 月和 7 月,因为要对鱼雷进行研究,他到了宾夕法尼亚州沙伦的威斯廷豪斯鱼雷工厂以及测试鱼雷的西雅图海军基地。[38]

那个夏天,他还拜访了爱因斯坦,并"和他在普林斯顿不大的二楼书房度过了一个愉快的下午"。[39]爱因斯坦来到海军基地,建议在鱼雷里面安装一个感应线圈。当鱼雷的弹头经

过舰只下方时，线圈将产生感应电流，从而指明舰只的方位。巴丁说："我们也曾经想到过这一办法，但是未能付诸实施，因为弹头上面的钢铁外壳会让信号变得很微弱。"

巴丁继续向爱因斯坦讨教这个问题。爱因斯坦"建议使用一个塑料弹头或塑料窗。他的计算结果表明这两种方法是可行的"。巴丁对爱因斯坦"对这个问题进行了深入的思考并回答了自己的所有问题"留下了深刻的印象。"主要是因为这一次谈话"，海军军械实验室对感应线圈机制的研究重新产生了兴趣。但是，爱因斯坦鱼雷的成品未能及时制造出来用于战争。

这些短暂的出访让巴丁暂时摆脱了日常工作，但是却无法消除一种不舒服的感觉：只是在海军军械实验室原地踏步。他厌倦了那些同他自己的专业不相关的工作，急于想从事基础物理的研究工作。此外，军事官僚机构的混乱和严格的工作性质让他神经紧张。他宁愿去那些比海军军械实验室小的研究机构工作。他喜欢同时只研究一到两个问题。作为一个管理者，他被迫同时管理从事许多不同项目的人。

在海军军械实验室工作的4年间，巴丁更换了许多岗位和头衔。他刚进实验室时，在朗宝领导的一个负责研究船体消磁的小组工作。接着他又去水雷反测试组负责磁场分析，他和手下的21个人分析从船体的磁场收集到的数据。[40]1942年秋，研究部门经历了一次重大的重组，水雷反测试组改名为水雷研究部，专门分析水下现象和消磁。巴丁负责水雷研究部下5个部门中的一个，手下有51人。[41]

对于经过严格训练的科学家来说，水雷研究部的工作是乏味的。这个部门还得处理人事问题，因为它的技术人员经常被调走。更糟糕的是，研究结果未能令任何一个海军官员满意，从而有兴趣进一步发展这个部门。许多不满的职员趁

早就离开了。

巴丁还得经常想方设法与那些负责研究项目的海军军官联络。海军的官僚主义变得越来越严重，巴丁向简抱怨，因为每一个细节都必须通过繁琐的批准手续，他发现自己很难完成任何工作。“如果他想要分配任务，那么这个任务必须往上汇报，经过各个管理层的审批，然后再回传到下面。没完没了。”[42]

那年秋天，水雷研究部再次重组为一个简单的研究部，下面有两个规模较大的分部——工程测试部和感应场测试部。这两个部门成立的目的是负责监督更小的研究小组的工作。巴丁成了感应场测试部的负责人，下面分设声学部、磁学部、图表分析部和探测部，共有 93 人。[43]他制定并指导海军军械实验室有关感应场测试的研究项目。[44]他领导的团队负责收集并分析数据，以便应用到设备——如水雷的起爆装置、鱼雷的引信以及深水炸弹——中去。

海军对研究部门的细分，是让巴丁对海军军械实验室产生厌恶的另一个原因。海军认为，如果每个人只处理涉及本专业的问题，而不了解同一个问题的其他知识或项目的整体规划，这对项目来说更为安全。把一个项目分成独立的部分让不同的研究者研究，这意味着每个人只处理一个大问题中孤立的一部分。从科学角度来看，这种政策使合作失效，并将导致错误、重复性的工作以及诸多的误会。细分不仅使得工作的开展变得更为困难，而且会让工作变得相当乏味。[45]

1942 年 12 月，当海军军械实验室把研究策略从盲目的解决问题转移到“以项目为中心”的研究时，这种状况才得到改观。[46]一个项目经理负责一个新项目的研究工作。然后管理者会组织一个包括那些最适合这个项目的工作成员在内的团队，无论他们在层级里面担任什么职位。

巴丁所经受的忠诚调查要求他不得向任何人泄漏他所从事技术的细节，即使对简也是如此，除非是官方发出“需要知道”的通知。[47]在家庭不谈论工作对于约翰来说并没有什么困难。同他的大多数同事一样，他不喜欢在短暂的家庭生活中谈工作。这些为政府工作的科学家和工程师从早工作到晚，一周工作六七天。巴丁在海军军械实验室的时候，每周平均工作 53 个小时。[48]

约翰在突然戒烟后感到更加沮丧。[49]他戒烟并非出于健康的考虑，而是因为当时的香烟属于战时配给品，很难获得。长期以来，他都是一天抽一包烟。因为简不愿意把自己的烟给他，约翰开始用一个不太有效的卷烟工具自己制作卷烟。但是他卷出来的香烟不是过于柔软，就是漏烟丝，于是他干脆戒烟。

巴丁曾经有机会离开海军军械实验室去参与“曼哈顿计划”。1943 年秋，他和塞茨一起受到邀请去参与尤金·维格纳在芝加哥大学主持的核反应堆项目。塞茨回忆道：“尤金担心对石墨反应堆进行猛烈的辐射轰击之后，反应堆将无法停止下来。”[50]约翰和弗莱德在去芝加哥的火车上讨论受到的邀请。尽管约翰对此有所心动，但最终还是拒绝了邀请。塞茨后来回忆道：“约翰觉得自己已被华盛顿给束缚住了。”他记得约翰提到过“在学校读书的孩子”。塞茨则是“自由的”，在接下来的两年里，他和维格纳一起研究了钚反应堆。

巴丁很讨厌组织和管理海军军械实验室的那些自负的科学家。他那个小组的大多数人都习惯于遵循自己的研究思路。巴丁不愿意逼迫他们去解决那些他们不喜欢的问题。在必要的时候，他也会挑明了说，但是他并不喜欢那样。多年之后，怀特摩尔(William Whitmore)寄给约翰一些“1942 年在海军军械实验室工作时的回忆，当你问我是否了解有关流体动

力学的知识时”，怀特摩尔的回答是“不太清楚”。巴丁马上递给他一本兰姆（Horace Lamb）著的标准教科书《流体力学》（Hydrodynamics，1895），“说‘开始学吧！’”[51]

从巴丁给军械局局长的一封信中，我们可以了解到，巴丁至少有一次尝试过终止合同，辞去这份束缚人的工作[52]，但是并没有成功。到1944年夏，他变得十分不安，他的上司注意到他在工作上没有以前积极了。[53]

因为工作不能让他获得成就感，于是休闲的时光对巴丁来说就意义非凡了。天气好的时候，他尽量同爱打高尔夫的朋友一起打球。到了冬季的晚上，他则和海军军械实验室的保龄球队队员一起打保龄球。巴丁是“海军军械实验室中的高尔夫的低杆数选手和保龄球的高分选手”[54]。他曾经获得过实验室举办的保龄球联赛最高平均分的奖牌。[55]

巴丁最大的快乐还是来自于家庭。他常常让吉米和比利坐在他的大腿上，给他们讲故事，或者就自己一个人看书。比利记得自己特别喜欢看一本关于火车引擎的书。简回忆道：“约翰不得不有条理地读这本书，”如果他漏读了一个字，“他就会挨骂。”[56]

但是并非所有的家庭消息都是好消息。1942年12月，巴丁夫妇得知海伦去世了。巴丁负责处理她的后事，他把海伦留下的一小块地产替格莱尼斯保存了起来。比尔和夏洛特把格莱尼斯送到她在加拿大的父亲家。[57]另外，约翰不知道自己的弟弟汤姆养成了酗酒的恶习。[58]汤姆到华盛顿特区出差的时候经常去探望约翰，但是保密条款使他们不能讨论彼此所从事的同战争相关的工作。[59]后来约翰得知，汤姆那时正在改装海湾公司的机载磁强计，以侦查敌军的潜水艇。

1943年秋，简发现自己又怀孕了。这一次每个人都希望她生一个女孩。简的弟弟吉姆是一个驻扎在印度的卫生官

员，他写信给姐姐："我经常想念你，希望这次能生一个女孩。"[60]到了春天的时候，简带着两个男孩再次去宾夕法尼亚的华盛顿分娩。有自己的父母在身边，简确信当她在医院时，有人可以照料孩子。她同样需要最好的医疗照顾，37岁的她知道，她很可能碰上各种与妊娠有关的很大风险问题。[61]

1944年4月25日，当简打电话告诉约翰他们的女儿诞生的消息时，约翰问："她长得漂亮吗？"[62]简答道："不太漂亮。"孩子顺利地产下来了，但是在分娩时头部有些擦伤，不过很快伤口就愈合了。他们给她取名为伊丽莎白·安（Elizabeth Ann），很快就昵称她为贝特茜（Betsy）。约翰写信告诉比利，告诫他要"帮妈妈照顾好贝特茜"。[63]比利生病的时候，约翰告诉他在华盛顿特区的一些伙伴的消息，以让他高兴起来。楞头小子"把他的头发剪短了，这样它们就竖了起来"。约翰还告诉吉米，他的小妹妹要过一段时间才能成为他的玩伴，但是很快她就"会笑、会爬、会坐起来了"，不久就会"像其他的孩子一样能走能跑了……有这样一个漂亮的小妹妹和这样一个漂亮的小弟弟，难道你不感到幸运吗？"他告诉比利："当你和妈妈以及吉米、贝特茜一起回家的时候，我会感到很高兴的，你又可以和我一起玩了。"

6月10日，约翰去宾夕法尼亚"接全家人回家"[64]。他们一到家，就把贝特茜安置在他们自己卧室的婴儿床上。约翰对刚降临的女儿感到很高兴。简怀疑要是她又生了一个男孩的话，那么约翰很可能要她"再生一个孩子"[65]。

到1945年春战争快结束的时候，巴丁计划回归学术生活。5月时，他写信给当时依旧担任明尼苏达大学物理系主任的布克塔，提议自己想回去工作，并希望能够获得比原先的3200美元更高的年薪。"就我目前要负担的家庭责任而言，

我不知道那点工资怎么过活。”[66]他提出“自己的经验将会对教学大有裨益”，因此要求加薪，并认为“现在我对于大学的价值至少等同于我没有离开大学前，而那也应该加薪到现在的水平”。他还提到贝尔实验室拟给他一个搞固态研究的职位。

布克塔的回复让巴丁感到很失望。[67]尽管物理系非常理解他加薪的要求，但是大学的行政方只愿意把他的年薪提高到4000美元。这个工资水平比他原先在明尼苏达大学时要高很多，但是同贝尔实验室所提供的薪水相去甚远。就阿尔·尼尔(Al Nier)看来，明尼苏达大学当时根本就没有意识到，固态物理很快就会对美国的经济产生巨大的影响。[68]

由于雷达和原子武器在二战时期发挥了巨大作用，某些企业现在愿意对基础科学进行巨额的投资，这也让企业界对基础科学充满了信心。像巴丁这种高素质的物理学家供不应求。固态物理学得到了飞速的发展。随着新型的研究材料如硅、锗的纯样本或纯汞同位素的面世，以及新的研究技术如核磁共振，以及柯林斯(Samuel Collins)研发的氦液化器技术的发展，这一学科发展势头迅猛。新的资金来源吸引了大量固态物理领域的研究者。1947年，美国物理学会增设了固态物理学这一分支之后，它的发展就更快了。[69]

巴丁告诉布克塔，贝尔实验室的“肖克利和菲斯克一直想让我过去”：

> 实验室计划建立一个大约包括50个人的部门，专门从事固态问题的研究，特别强调晶体(半导体、变阻器、热敏电阻等)的电子过程、磁学、压电以及相关问题。这一研究的性质是基础研究，其他的小组负责实际应用。这一计划听起来很诱人，但是我怀疑这样的基础工作是否真正能够在工业实验室得到实施。[70]

凯利是贝尔实验室的新任副总裁，他于1936年把肖克利从麻省理工学院招聘过来，创建这个新的固态研究部门，部分是出于战时对晶体检波器研究的需要。[71]他注意到半导体的尖端研究技术已经在各个研究机构所组成的网络中自由传播——包括贝尔实验室潜在的竞争者，如通用电气、斯佩里、威斯廷豪斯和西尔韦尼亚以及杜邦。[72]“大多数的无线电行业都已经能够获得这些技术了，”[73]他在1943年记载道。他承认，贝尔实验室很快就要和那些配备了最先进电子技术的强大竞争对手相对抗。

凯利曾在战争快结束时参观过洛斯阿拉莫斯国家实验室，他按照这个实验室的构造组建了新的固态研究部。[74]巴丁所在的那个半导体小组是固态研究部下的一个小组。凯利希望每一个小组都能够像那些跨学科的小组那样运作。后来，巴丁把凯利的规划告诉采访者：“他认为把这些人聚集在一起工作可以创造出比个人单独工作更多的东西，我相信事实证明这是对的。”[75]在半导体小组中，巴丁是除肖克利之外的另一个理论物理学家。作为这个小组的负责人以及固态研究部的领导，肖克利需要一个精通面（surfaces）的理论家。巴丁有关金属逸出功的博士论文使他成为此领域最为出名的世界级专家。这个团队还包括两位有经验的物理学家——约翰在桥牌上的老对手沃尔特·布喇顿和皮尔逊（Gerald Pearson）、化学家吉布尼（Robert Gibney）、电路专家摩尔（Hilbert Moore）以及两位技术人员福伊（Philip Foy）和格里菲斯（Thomas Griffith）。

1945年5月19日，巴丁去贝尔实验室考察的时候，了解到的不仅仅是他的职位。[76]凯利对他作了口头承诺，强调巴丁的工作是基础研究，尽管人们总是更关注重要的通信工业的实际应用。因为没有教学的负担，巴丁可以获得比在明尼苏

达大学多一倍的时间用于基础物理研究。

给巴丁的正式要约把他在贝尔实验室中的职位描述为“默里山实验室物理研究部门的技术人员”。他的工作任务是“进行固态物理的研究工作”。工资为“每月 550 美元,一周工作五天。”[77]6600 美元的年薪较之明尼苏达大学所能提供的工资整整多了一倍。信中还说实验室提供的这一职位并非干预战争的工作,而是战后的聘用。[78]实验室给巴丁 3 个月的时间决定去留。

6 个星期之后,巴丁作出了决定。“对我来说,这是一个很困难的决定,”他于 6 月 11 日写信给布克塔,“因为我喜欢自己的工作、明尼苏达大学的社交活动以及大学的生活环境。”[79]但是“贝尔实验室似乎给我的职业发展提供了更好的机会”[80]。一方面,贝尔实验室的工作是固态物理研究。巴丁曾希望大学的物理系能够把重点放在核物理学的研究上,“同那些在战争时期就开始从事核物理学研究的大学相比,我们处于一个很不利的位置。”另外,贝尔实验室还提供了足够的研究支持和丰厚的薪水。回忆起当初自己在明尼苏达大学时为了偶尔参加一些会议而为难时,他告诉布克塔:“我觉得如果明尼苏达大学承认它相对较孤立,并在财政上支持老师们参加会议的话,这是一个不错的主意。”[81]

巴丁仔细起草了一份字斟句酌的备忘录,交给海军军械实验室的负责人欣德勒(W. G. Schindler)上校,请求他同意自己离开实验室。他认为自己离开实验室“对于目前的战况来说没有什么影响”[82],而把自己的才智用于贝尔实验室的研究则会“产生深远的影响”。他还担心德国和苏联将成为美国在通信技术领域的竞争对手,并暗示他在半导体方面的研究“对于标准频率电路和雷达的作用将越来越大”,因而从国防安全来说,研究半导体比他在海军军械实验室的工作更为重

要。“海军也是电子装备的主要消费者,因此它也将成为他加入贝尔实验室后从事的研究项目的主要受益者。”他把贝尔实验室看作是世界上正在从事这类研究的最为重要一个的实验室,“在固态物理的基础研究方面,它比其他研究机构具备更好的条件。”

巴丁指出自己是美国固态理论方面仅有的五六名训练有素的理论物理学家中的一个,因为战争的影响,“这个领域的物理学家将在较长的一段时期内得不到培养。”[83]他认为贝尔实验室提供丰厚薪水的原因是固态研究领域“合格的人才资源非常有限”。他还表达了自己的担忧:4 年研究中断可能已经影响了自己的科研能力,从而不能够为这一新兴的领域作出最好的贡献。“因为长时间的工作”,他“甚至不能够跟上最新科技的发展”。巴丁写信告诉欣德勒,他“强烈地感到,任何阻止我重返研究工作的不必要的拖延都应当避免”。

巴丁同时利用这一辞职的机会向政府提出一个小小的请求,希望政府能够尊重它的科学资源。因为战争,“军队可以垄断这个国家的科学人才。”[84]他希望“这种垄断可以得到明智地运用,不要为了追求狭隘的目标而威胁到这个国家科学力量的发展”。

依旧是巴丁顶头上司的朗宝,在 7 月 3 日给欣德勒的备忘录中重申了朋友的观点。他简述了允许巴丁辞职的一些程序——从调离他的职位到完成给海军军械实验室历史官员的最后报告。朗宝的评价是:“鉴于巴丁是一位多才多艺的享誉国际的理论物理学家,以及他在海军军械实验室 4 年期间在声学、磁学、海洋学、消磁、仿真、扫雷、鱼雷研究以及许多其他水下军械方面的突出贡献,我认为巴丁博士的辞职让人感到遗憾。”[85]

海军军械实验室的助理技术指导马洛(Don Marlowe)“做了很多工作”[86]劝巴丁留下来,但是巴丁铁了心要走。尽管让巴丁离开是一件很令人遗憾的事,但是欣德勒上校还是批准了他的要求。“我认为巴丁博士的[辞职]要求是合理的,我希望他的新工作不受打扰、多产并且令人满意。我感觉实验室即将失去最优秀的人才,但是海军一定会继续从他即将从事的工作中获益。”[87]

1945 年 11 月,欣德勒上校推荐授予巴丁“杰出公民服务奖”,因为巴丁对“实验室的许多项目作出了杰出的贡献”,在开发水雷时对压力和声学领域作出了有价值的研究,并认为他对磁场感应领域的“具备真知灼见的”分析,对于“磁雷和磁雷扫描仪的设计作出了难以估价的贡献”。欣德勒还补充说:“我们并没有过高评价巴丁博士对海军军械实验室的研究项目所作出的贡献,因为几乎没有什么研究问题不直接或间接地获益于他那敏锐的洞察力、准确的判断力以及杰出的科研能力。”然而,海军部长福里斯特尔(James Forrestal)却没有批准这一奖项,因为巴丁的“贡献尚不足以给他颁发海军的最高国民奖章”[88]。福里斯特尔提供了在荣誉程度方面稍低一级的“有功公民服务奖”。当巴丁得知自己获得这一荣誉时,他已经在贝尔实验室安顿下来了。

第八章

晶体管

1945年10月9日，星期二，巴丁一家最后一次关上他们在费尔法克斯村公寓的大门。他们已经预先把差不多所有的行李都用船托运了。[1]尽管如此，他们的福特车依然装得满满的。最终出发的时候是上午11点，他们很高兴战争结束了，他们将告别这段不安定的生活。

他们将要开往新泽西州的一个繁华小镇撒密特，那里在内战时期叫做火鸡山。撒密特有很好的中学和公园，交通也很便利；它离通往纽约市的哈得森地铁站只有一站路。从撒密特很容易找到通往默里山的公车，贝尔实验室刚刚在那里建立了新的科研园。

巴丁夫妇在撒密特购买的房产是他们第一笔较大的经济投资。他们的房子位于报春花小区5号，是一幢舒适的荷兰殖民地时期式样的房子，它有一个阳台、一个地窖以及一个独立的车库。孩子们可以在院子里嬉戏玩耍，院子里还安装了秋千和单杠。贝特茜现在已经是一个蹒跚学步的孩子了，4岁的比利是一个淘气鬼，吉米则是一个7岁的“大人”了。[2]简精心布置了房子周围的环境。当院子里的杜鹃花盛开时，她兴奋地向大家报告这个好消息；而当它们被暴风雨打落的时候，她又会为之叹息。

但厄运一直伴随着他们的整个搬迁过程。“实际上恶梦从周一就开始了，”简写信告诉母亲，搬家公司“在周一早上

11点”告诉简“他们最早要星期二才能到”[3]。于是全家人继续精心地打包。但是一个半小时之后,“我们午饭才吃到一半,还有许多东西没有打包”,搬家公司就打电话过来说“他们会马上就出发”。于是简拼命忙活以缩短整个打包的时间,“忙碌了3小时之后,一切准备就绪,只留下一幢空房子。”计划的另一项更改是,他们必须在周三早上八点半去撒密特的新房子接车。周一晚上,家人们和朋友在一起聚会。贝特茜睡着之后,简“悄悄地回到房子里,把剩下的东西打好包”。

第二天,恶梦继续。当他们开车往东北方向转到1号公路的时候,福特车的一个轮胎爆裂了。他们“以每小时35英里的速度缓慢前进”[4]。经过令人筋疲力尽的跋涉之后,他们又累又沮丧,当晚在撒密特西南50英里处的普林斯顿联轨站过夜。周三早上,全家人“六点起床,于早饭前开车驶向撒密特”,总算及时赶到了那里。但是搬家的车子直到中午时分才到达。更糟糕的是,“我们发现房子非常脏,”原先的主人并“没有按照他的约定,在把房子转交给我们之前把房子打扫干净”。他的一些物品,甚至是家具“依旧散落在各个角落”。

交易尚未完全结束,巴丁夫妇不能确定他们是否能够合法占用这所房子。被简描述成“令人讨厌的卑鄙家伙”[5]的出售者正在打离婚官司。“上周他把自己的妻子打得下巴脱臼”后,妻子回到了密歇根州的父母家中。他们向一位律师咨询,后者建议他们搬进去,尽管他们当时尚未获得这个权利。

等那对感情破裂的夫妻签署完必要的文件尚需很长一段时间。搬走他们的物品、清扫他们的杂物颇费气力。第一个晚上,简和约翰“花费了好几个小时擦洗浴室”[6]。因为缺少

热水，擦洗工作变得更为困难；陈旧的炉灶再断一条腿就会倒下。“我们没法经常洗澡，必须用电炉烧水，以便洗碗和打扫。”[7] 肖克利偶尔过来帮忙，但是他那能说会道的口才反而分散了他们做家务的注意力。

起先在家里吃饭都很困难，因为家里没有冰箱。他们也还没有收到所有的家具。简存放在明尼苏达的家具还没有装船。更糟糕的是，吉米、比利和约翰都得了重感冒，需要有人照顾，而贝特茜则整天缠着母亲。简在信中淡淡地说：“下次我提笔写信的时候，这个世界将会更美好。”[8]

10 天后，她写信说已经找到了一个可以帮助她打扫卫生的妇女。尽管房子需要大修，但她对此充满信心。一旦他们“清除污物之后”[9]，这个房子将会变得“吸引人和适合居住”。约翰也来帮助打扫，但是他对此并不在行。每次当约翰“让火窜到炉灶外面的时候”，简都感到很恼火。

不过，撒密特的生活对于巴丁夫妇来说很快就变得舒适而富足了。孩子们只要走几分钟就可以到达布雷顿中学。吉米上一年级，比利则读幼儿园。到了夏天，孩子们可以到当地的游泳池里嬉戏玩耍，享受冰凉的河水。全家人喜欢到离报春花小区半个街区之遥的华蔷山保护区的山间小路散步。[10]

房子确实很舒适，里面充满了孩子们的欢声笑语。孩子们成了家庭关注的中心。约翰对孩子们来说是一个“受欢迎的人物”[11]。他不会对孩子抱怨，每个孩子有特别节目时他都会在场。贝特茜 4 岁生日时，他“试着用彩色胶片记录”[12]孩子们在阳光下用泡泡机吹出泡泡玩耍的场面。

约翰同父异母的妹妹安是撒密特的常客。[13]她为约翰能够集中精力阅读期刊和历史书而不受孩子戏耍的影响感到惊讶。他们经常在他的胯下钻来钻去。后来，贝特茜说她和朋

友从不会因为父亲在场或他在看书而感到拘束。她们总是喜欢去打扰他，而他则稳坐钓鱼台，仿佛根本没有受到干扰。

安在距撒密特30英里的泽西城完成了她的实习。安的（也是约翰的）父亲查尔斯·巴丁过去经常吹嘘威斯康星医学院女毕业生的数量，指出在第一届毕业的25名学生中，有6个是女生。但是他反对自己家里的女孩去学医。“他认为医学会让女人变得‘倔强’。”安说。约翰后来解释说：“因为父亲认为女性即使接受了昂贵的医学教育，一旦结婚成家，这些知识根本用不上。”[14]当海伦表现出对医学的兴趣之后，查尔斯想方设法让她去念了护校。但是在安上大学之前，查尔斯去世了，这样她就可以自由地选择学校了。1945年，她从查尔斯创办的威斯康星医学院毕业，然后她成了那里的一名麻醉科住院实习医生。之后她又在泽西城医院做了一段时间的实习医生。[15]最后，她步父亲的后尘，成了威斯康星医学院的一名教师。

约翰在新泽西的时候，有许多时间参加自己喜欢的运动项目。他经常和自己的老朋友沃尔特·布喇顿一起打高尔夫球，有时候还去打壁球。[16]加入贝尔实验室保龄球联赛之后，他经常去打保龄球，以至于从买圣诞节礼物的钱里取出一小部分定做了一个保龄球。[17]

同在明尼苏达一样，桥牌也是约翰和简进入撒密特社交圈的一种方式。他们刚到那里就加入了布喇顿和妻子克伦（Keren）参加的一个桥牌俱乐部。但是，简感觉布喇顿打牌过于咄咄逼人，所以她在1月份以她和约翰感冒为由离开了俱乐部。[18]

简很喜欢克伦，因为她们有许多共同之处。同简一样，克伦也是理工科的研究生。她获得了明尼苏达大学物理化学专业的博士学位，沃尔特则在那里取得了自己的物理学博士学

位。后来,巴丁把他俩说成是“天生的一对”。[19]“她的沉稳”正好可以弥补沃尔特“易波动的性情”。

布喇顿夫妇喜欢简单而健康的生活方式。克伦衣着朴素,路易斯·赫林(Louise Herring)记得“她总是喜欢做玉米松饼”[20]。他们家里的装饰品有“一个天平、一把长柄大镰刀和一些从西部带过来的东西”。

巴丁到贝尔实验室一年后,科尼尔斯·赫林和他的新娘路易斯·普罗什也来到了实验室,后者毕业于巴纳德学院,主修数学,辅修物理学。赫林被分配到物理研究部的物理电子学组。巴丁和赫林依旧保持着他们在普林斯顿建立起来的那种友好的同事关系。工作之余,巴丁和赫林呆在一起的时间不及他和布喇顿在一起的多,因为赫林喜欢的运动是网球。[21]

他们在贝尔实验室的第一年,巴丁夫妇偶尔同肖克利和其妻琼(Jean)交往。琼是一个热情而亲切的女人,深受大家的喜爱。[22]塞茨生动地回忆了1938年发生的一件事情,以表明琼是如何“以一种温柔的方式来管制比尔”的。[23]肖克利一度留了胡子,这让琼很反感。在著名的英国物理学家莫特参观贝尔实验室之前,琼想让比尔剃掉他的胡子。比尔拒绝后,“她梳了两个大辫子,然后在辫子末端系了两个粉红色的蝴蝶结来迎接莫特的到来。”当比尔对此表示不高兴的时候,珍说:“‘如果你剃掉胡子,那么我就不扎辫子了。’于是比尔只好剃掉了胡子。”

简越来越看不惯比尔自吹的表现,于是约翰和简同肖克利一家见面的次数就减少了。[24]她看不惯肖克利在公众场合说琼的坏话。简开始避免在肖克利可能出现的场合露面。她记得有一次肖克利在一群人面前说琼的基因比他的差,这是他们的孩子要比他笨的原因。多年之后,肖克利告诉一个采访者:“就我的能力而言,我的孩子代表了一种严重的退化。

我的第一个妻子——也就是他们的母亲——并没有取得像我这样的学术成就。”[25]

约翰依旧不擅长与他人闲聊。他在社交场合往往一言不发。对于那些物理学家的妻子来说，因为缺少职业方面的联系，同巴丁交谈是一件困难的事情。“如果你问他：‘你不觉得今年冬天天气很好吗？’他会回答：‘是啊。’谈话就到此为止。”[26]在这些同巴丁聊天的人往往感到不知所措的时候，“他却并不觉得不舒服。”

巴丁继续保持着他在海军军械实验室所养成的习惯：把私人生活和职业生活分离开来。在战争时期，这种区分是出于国家安全的需要，但现在则是完全出于自愿。他告诉简，他不愿意把那些专业方面的信息告诉别人，[27]但是简知道他只是想把工作和生活区分开来。简理解“他希望为自己留一点私人空间”[28]。到了晚上和周末时，他几乎都呆在家里，并尽量留出时间和家人一起外出游玩或探亲访友。他很少在家里打电话给同事。简还记得“当他两眼出神时，你就知道他的心已经飞往别处了”。他已经进入了另一个世界。她咕哝着说：“这给他省了不少会被（别人）浪费的时间。”

同他的父亲一样，约翰很乐意让妻子来处理家庭事务。对此简并不反对。她理解家庭和家对约翰和他的工作来说是多么的重要。当约翰说他很高兴“在离开物理学 4 年后又能重新开始研究”[29]，简也感到由衷的高兴。但是她却经常感到自己被他从“初恋”中排斥，[30]当约翰把所有的精力投入到一个问题的研究上时更是如此。简听力的减弱和约翰低沉的耳语增加了她的孤独感。[31]晚年时，她看对方的嘴型，再根据上下文来推测谈话内容。她深谙此道，大多数人根本猜测不出她已经完全失聪。

在工作日，约翰通常会留下汽车，让简开车送孩子们上

学或将其用作其他的差事。他自己则坐公车或搭别人的车去默里山,在车上他喜欢听一些当地的新闻。车子在大山街的默里山实验室门口停下,他每天就这样往返于他的两个世界之间。

1925 年 1 月 1 日,贝尔实验室合并之后的第一个十年,[32]它已经在曼哈顿南部地区的西街 463 号拥有一幢漂亮的 12 层砖石建筑。此建筑位于格林威治村的西边,格林威治村聚居着众多的艺术家、音乐家和作家。距实验室几步之遥就是各种画廊、戏院、咖啡厅和各种风味的餐馆,因此实验室的科学家和工程师可以感觉到这个大城市跳动的脉搏。从那些哈得孙河上的实验室俯瞰,可以看到忙碌的汽船和驳船,以及在纽约、霍博肯和新泽西之间来回载客的忙碌渡船。[33]为了在忙碌的早晨节省几分钟的时间,许多渡船的乘客一边排队,一边吃着炸面包圈、喝着热咖啡。早些年的时候,西街的这幢建筑物对于贝尔实验室来说足够宽敞了。但是在 20 世纪 30 年代之前,这幢建筑物就已经因为实验室的快速发展而容纳不下科研人员了。城市的烟尘以及噪声对于实验室来说都是严重的问题,对那些从事电子学研究的人员来说尤其如此。许多研究项目转移到了附近的一些建筑物中进行,其中的纳贝斯科楼就被设计用于“烘焙”。

许多管理者开始梦想建立一所“乡间实验室”[34],一个与城市隔绝的旨在创新的地方。要在新泽西建立一个这样的设施不禁让人想起爱迪生(Edison)在门罗—帕克建立的实验室。然而,那时正值经济大萧条时期,资金的匮乏延迟了这一昂贵项目的实施。

当二战把大量的资金和科研人员带到贝尔实验室之后,这一设想重新提了出来。1941 年,默里山的著名大型建筑

"一号楼"匆忙建起,以容纳那些从拥挤的西街实验室搬过来的科研人员。新设计的像迷宫一样的房子可容纳数千名科学家、工程师和技术人员。它的许多内墙是可以移动的,这样就可以根据不同项目的需要来安排空间的大小。就物理学家和作家伯恩斯坦(Jeremy Bernstein)看来,这种多功能的空间看上去像"一个巨大的充满技术人员的大杂院,至少第一眼望去都一个模样"[35]。伯恩斯坦刚走进这个建筑时发现它非常可怕,担心"从一个实验室到另一个实验室的途中,我可能会拐错弯,再也找不到出去的路"。

1945 年 10 月 15 日,星期一,巴丁第一天到贝尔实验室工作,他是带着感冒来上班的,[36]因为他在举家搬迁到撒密特的路上着凉了。早上,他到西街办了一些手续,并进行了例行的体检。然后他又经历了每一个新职员都要进行的常规仪式,包括把自己的专利卖给公司,获得一张崭新的一美元钞票。[37]"我觉得这很公平,"巴丁后来告诉记者,"人们可以相互合作,无须担心谁得到了专利权,而这又将促进信息的进一步自由交换。"[38]

下午,巴丁来到分配给自己的一号楼 B 翼四楼的一间小办公室。[39]尽管默里山实验室比西街的实验室要大得多,但是这里的空间依然很宝贵。许多临时的工人依旧在这里完成最后的建造工程或继续战时的一些项目。和巴丁同一间办公室的两个同事,实验家沃尔特·布喇顿和皮尔逊已经在这里对半导体进行了十几年的研究。同实验家共用一间办公室会妨碍一些理论家的工作,但是巴丁很高兴,因为他就有机会同他们定期讨论一些实际问题了。

巴丁和布喇顿后来成为工作中的亲密伙伴。巴丁很钦佩布喇顿的正直以及在物理学方面的实战知识。巴丁也很喜欢听布喇顿的连珠妙语,和他一起回忆哥哥比尔以及奥斯特豪

特。反过来,开朗的布喇顿则欣赏巴丁的谦虚、体贴和出色。他不在意巴丁的沉默寡言。布喇顿的校友布利克尼曾如此告诫过布喇顿:“你会发觉他不大开口说话,但是一旦他说话的时候,你可得听好了。”[40]

巴丁没费多少工夫就完全融入到了半导体研究的问题之中。他用维格纳教他的两种方法来研究这些问题:先把大问题拆成小问题,然后通读在他之前的有关这些问题的著作。巴丁特别感兴趣的是在两个不同的半导体之间或者一个半导体和一种金属之间的界面上所产生的现象。关于这个“界面”问题的文献汗牛充栋。要很好地回答这个问题需要运用到量子力学的知识。

贝尔实验室的一些物理学相关小组从20世纪30年代初开始,每周聚会一次讨论问题,他们曾讨论过同“界面”相关的问题。在大萧条的“空闲”日子里,[41]这些职员利用空余时间学习固体的新的量子力学理论。现在,包括巴丁、肖克利、吉布尼、皮尔逊和布喇顿在内的这个团体,研究了有关半导体的所有重要著作,包括那些战时写就的军事报告。

自从20世纪30年代阿兰·威尔逊的关键性著作问世以来,人们对半导体已经有了很多的了解。部分由于硅和锗是元素而非化合物的原因,使它们成为两种最简单的半导体,从而成为研究的中心。战争时期,它们被用作雷达探测器中的整流器,把高频的交流信号转化成直流信号。这种往低频的转化是必要的,这样只要使用简单的设备就可以放大信号。

大多数的战时研究集中在改善所谓的“整流面”的属性上,这个面是介于被称之为“触须”的细金属线与一块半导体(硅或锗都可以)之间的一个小接触点。从电子学的角度来说,这一金属半导体界面在电器中所起的作用类似于电子线

路中的真空二极管，但是它在更高的频率下才发挥作用。研究还必须对付以下问题：金属须的“成形”、制造出纯的半导体晶体、掺一些杂质（“掺杂”）以加强传导、生产出比较好的硅或锗等晶体、了解过程中所发生的物理现象。从物理学观点来看，雷达探测器的中枢设备——晶体整流器，其实就是第一个晶体管。

巴丁重读了英国的莫特、德国的肖特基（Walter Schottky）以及苏联的戴维多夫（Boris Davydov）在战前的有关半导体整流的重要著作。他还读了许多他能够找到的战时著作。因为贝尔实验室在战时是麻省理工学院辐射实验室的主要承包商之一，所以实验室可以提供近乎全部的有关整流器的战时报告。其中包括贝特关于整流的经典论文，贝特在前往洛斯阿拉莫斯国家实验室之前是辐射实验室的职员；还有普渡大学拉克-霍罗威茨（Karl Lark-Horowitz）小组对锗的研究报告，普渡大学的研究小组用一块特制的超纯锗制造出了一个整流器，它的“反向”电导率和电流都很低；[42]他还阅读了塞茨在杜邦公司以及宾夕法尼亚大学所做的关于硅的论文集。约翰后来看到塞茨的时候说：“现在我知道你在战争时期做了些什么了。”[43]

真空三极管和真空二极管的根本区别在于一个被称之为“栅极”的元件（见图8-1）。在一个二极管中，一根加热的带负电荷的偏置丝极向正极板释放出电子。因为负电子只能单向流动，也就是从丝极流向板极，所以电流只能单向流动。二极管的作用就好像一个单向阀门。

三极管也可以像阀门那样起作用，但是它还增加了放大信号的可能性。一种被称为“栅极”的元件位于丝极和板极之间，这样电子必须通过“栅极”。就好像水龙头控制水流一样，栅极也根据电压的大小来控制电子的流动。当栅极的电

压低于丝极时，从丝极所发射电子的加速度就会被抑制。如果栅极的电压高于丝极，它就会加速电子。在电路中，这一装置可以让信号在通过栅极后到达板极得到放大。

1910 年左右，美国电话电报公司急需发展一项新技术以放大电话的信号。美国电话电报公司的总裁维尔（Theodore N. Vail）当时已经决定建造一条连接美国东西海岸的跨大陆电话线。[44]二极管已经被用于电话的开关电路中，但是它不能放大信号。从理论上来说，三极管可以放大信号，但是它在 1906 年才刚被发明。当三极管的一个发明者德·福瑞斯特（Lee de Forest）在公司演示他的发明（他当时称它为“检波管”）的时候，公司的一名物理学家哈罗德·阿诺德（Harold Arnold）意识到它可以解决公司亟待解决的信号放大问题。阿诺德在改进了德·福瑞斯特的三极管之后，设计了跨洲电话线所需要的转发器。阿诺德的研究小组是美国电话电报公司的第一个研究这个问题的小组，后来并入了贝尔电话实验室。[45]

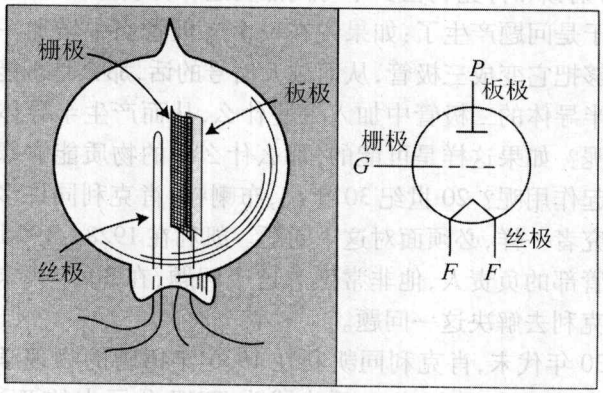


图 8－1　三极管

不幸的是，让真空三极管同时具备二极管和放大器功能的部件——加热的丝极——也恰恰是它的致命缺陷。移动电子所需要的能量——也就是丝极的功函数——必须被克服，以便电子释放。巴丁和布喇顿在20世纪30年代初也研究过这个问题。热电子发射需要消耗很多的能量，尤其是当系统内存在着多个管子的时候。而且，管内的丝极最终会被烧断。因为这些原因，以及诸如成本、笨重、玻璃管易碎等这样那样的问题，贝尔实验室寻求用半导体来替代真空二极管和真空三极管。

半导体和金属之间或两种不同的半导体之间界面的神奇特性，使得研制半导体放大器成为很自然的事。在一个电路中，这一界面起作用的方式类似于晶体整流器在雷达接受机中的作用：它像一个阀门，可以让电流更轻易地从一端流向另一端。这样一种半导体界面的单向阻碍的整流特性早在19世纪就被发现了，不过那时人们并不清楚产生这一现象的原因。但是它使“触须”无线电探测装置的诞生成为可能，巴丁、布喇顿和肖克利在少年时代都玩过那种装置。

于是问题产生了：如果说在一个二极管当中增加一个栅极能够把它变成三极管，从而放大信号的话，那么是否能够同样在半导体的二极管中加入一些什么，从而产生半导体的放大器呢？如果这样是可能的，那么什么样的物质能够像栅极一样起作用呢？20世纪30年代，布喇顿、肖克利同许多其他的研究者一样，必须面对这个问题。凯利在1928～1936年是真空管部的负责人，他非常熟悉这个问题，在30年代末曾鼓励肖克利去解决这一问题。

30年代末，肖克利同凯利在1936年招聘的物理学家伍德里奇（Dean Wooldridge，后来成为TRW公司中的W）同在一个实验室。伍德里奇清楚地记得肖克利做了一个粗糙的实

验，试图把氧化铜二极管（它在电话系统中用于“降低咔哒声”[46]）改造成三极管。他使两根电线正好和一个生锈的框屏两侧上的绿色氧化物接触，然后调整所施加电压的强度，肖克利希望这个粗糙的屏能够像真空管的栅极一样起作用。就伍德里奇看来，这个屏已经“使用多年了”[47]。肖克利“离成功还差得很远”[48]，然而他在20世纪30年代先于伍德里奇发现了“晶体管的三要素”。

巴丁饶有兴趣地听取了这些有关早期半导体实验的故事，他尤其喜欢听布喇顿讲故事，因为后者会用形象的语言把故事讲得很生动。布喇顿兴高采烈地谈到，肖克利有一天突然到实验室来找他，让他搭建一个可以起作用的粗糙的氧化铜放大器模型。[49]

老练的实验家知道这是一个不可能实现的任务，因为当时没有一种物理技术可以把一个屏塞入到只有万分之一厘米厚的势垒区。“我嘲笑他不可能做到，”布喇顿说，“我确信这是不可能的。但是我说：‘比尔，你让我做的工作非常重要，如果可能的话，我会做出来的。我们试试看吧。’”[50]当然，布喇顿的判断没错。“不会有结果的。我的意思是，没有任何成功的迹象。”

巴丁还听说了有关欧尔（Russell Ohl）在二战之前和二战期间进行的有关硅检波器那有趣的研究工作。欧尔个头不高，但是精力充沛，是新泽西州含德市的贝尔无线电实验室的无线电工程师。到20世纪20年代中期，大多数的无线电爱好者都用真空管收音机替代了矿石收音机，因为前者能够更好地区分比较接近的电台频率。然而，包括欧尔在内的一些工程师意识到，老式的矿石收音机在高频波段实际上比真空管收音机更为灵敏。

欧尔从无线电商店弄来一些二手的矿石收音机，并着手

研究哪一种半导体在高频条件下效果最好。在对100多种材料进行了试验之后，他发现硅的效果是最好的。但问题在于单个硅样本的作用很不稳定，只有当触须接触到表面的“热点”时才能整流，而且效应的量值和走向让人难以预测。

在1940年进行的一个实验中，欧尔注意到：当他用光照一个特殊的硅样本时，会产生强烈的光生伏打效应。[51]在对这一神秘的效应进行进一步的研究之后，他发现这一样本内部的接口是由两种不同的硅组成的，我们现在称之为P型硅和N型硅。如果对此作进一步研究的话，他就很可能发明放大器。但是战争的爆发让欧尔转向了其他的研究领域。

发明晶体管的工作始于1945年10月22日。[52]肖克利让巴丁检查（前者）自己6个月前在笔记本上写的有关硅的“场效应”放大器的设计方案。对一块很薄的硅施加垂直电场，这个电场把硅片中的电子吸到表面。肖克利认为，电场会引起可用电荷载体的急剧变化。在这个设计方案中，场将起到栅极的作用。

但是，设计方案在实验中并未奏效，肖克利不能解释原因所在。他凭借莫特和肖特基等最佳的半导体整流理论计算出，为了达成不被观察到的预期效果，电导率改变应该小于预期数据的1/1500！被实验结果困住的肖克利把计算过程演示给巴丁看，巴丁没发现任何错误。

但是巴丁认识到这一理论一定是错的，或至少是不完全的。解释其原因是他喜欢做的事。这一问题既有挑战性，实践上又非常重要。此外，这激起了他的竞争意识，因为这一问题也让另外一位优秀的理论物理学家受挫。在接下来的5个月中，他对此进行了研究。

巴丁意识到，在逸出功的问题中，这个系统中的电子比离

子更为活跃。这表明在半导体的表面，电子波函数（测量找到电子的概率）的扩展范围要略大于离子波函数。结果则是半导体表面的负电荷略为多一点，从而导致整个电荷呈现中性。1946 年 3 月，巴丁在肖克利和塔姆（Igor Tamm）早期对表面态研究的基础之上，提出了一个新理论，预测相当数量的电子被困在表面态中。这些电子非但不能对传导作出任何贡献，还会大大减小外加场所引起的电导率的变化。这就是肖克利的场效应设计方案失败的原因所在。

但是表面态是否真的存在呢？如果存在的话，它们是如何起作用的呢？要得出进一步的结果就必须解答这些问题。固态物理研究小组开始分配任务：布喇顿负责研究接触电势等表面属性；皮尔逊负责研究空穴和电子的迁移率等整体属性；吉布尼负责研究表面的物理化学属性；巴丁和肖克利则负责追踪所有人的工作进程，提供建议，使工作概念化。“这可能是迄今为止为了研究一个问题而专门组成的最庞大的研究团队之一。”布喇顿说，

> 我不想过度夸大这个研究小组的和睦关系。我们会在某个下午即时碰面，讨论解决问题的重要步骤。我们会自由地讨论问题。我认为在讨论小组中每一个人都有一些想法，一个人的发言很可能给另一个人带来灵感。这个小组探讨过许多问题的实质，当需要做一些事情时，不管是做实验还是探讨理论，我们从来不会有谁才是合适人选的问题。[53]

为了更好地理解表面态，巴丁建议进行一个实验：把温度降低到足够低，使得表面态下的电子被“冻住”。他认为，这样场才能穿过。皮尔逊做了实验，尝试用液氮来降低半导体的温度。当他给半导体施加 500 伏的电压时，他观察到了场效应！

这对于巴丁的表面态理论来说无疑是一个胜利，但是这个效应只是预测强度的五十分之一。巴丁推断薄膜的电荷载体比整块材料的电荷载体流动性更弱。这是肖克利实验失败的第二个原因。因此需要设计一个成功的模型以克服这两个障碍，但是在接下来的18个月中，他们毫无进展。

1946年底以及1947年整年，肖克利参与场研究的积极性不断减退，因为在1947年夏，他和巴丁到欧洲各国的实验室巡游，对别的研究课题产生了兴趣。这也是他俩最后一次共同参加大学间的交流。

1947年7月底，两人出发去欧洲，他们的第一站是伦敦。巴丁注意到这个城市依然有“炸弹留下的明显痕迹”[54]。食物“短缺”，“很难找到”合适的住处。他们在7月的第一周到布里斯托尔参加了一个会议，肖克利对于会上讨论的新的“位错”场非常感兴趣，位错专门研究晶格内部的线位移。位错可以通过晶体传播的事实引起了肖克利的极大兴趣，以至于于8月回到贝尔实验室后，他把研究的中心转移到了这个现象上去。

会议期间的某个星期天休会，于是巴丁带肖克利一起去拜访了穆里尔·基特尔(Muriel Kittel)以及她在切尔滕纳姆的家。战争时期，巴丁夫妇和穆里尔·基特尔及查尔斯·基特尔成了朋友，巴丁和他们是海军军械实验室的同事。基特尔刚刚接受了贝尔实验室提供的职位。“我告诉[穆里尔]，”约翰写信给简，“他们进贝尔后，你要尽全力帮助他们。”[55]数年之后，穆里尔写信给简说，当“约翰和比尔来到我父母家，告诉我他们很高兴查尔斯被贝尔实验室录取了”时，[56]她的父母感到很意外，并“深深地为他的好心肠所打动”。

肖克利了解“位错”的同时，巴丁正努力跟上最新的超导性研究形势。他在访问荷兰的时候，与代尔夫特大学、阿姆斯

特丹大学、埃因霍温大学以及莱顿大学的科学家讨论了这个现象。他在埃因霍温大学的飞利浦实验室同卡西米尔(Hendrik G. B. Casimir)、菲尔维(Jan Verwey)以及其他人进行了富有成果的会面。不幸的是,在当地的小旅馆只有一个空房间,但巴丁和肖克利觉得能够找到住处已经很幸运了。房间"只有一张双人床",两个人"只好头对着脚睡"[57]。

在为期两个月的旅行中,巴丁定期给简写信。这段分离几乎和他们在战时所经历的一样漫长。在他们的结婚纪念日后不久,约翰在埃因霍温写信给简:"很抱歉,18 号我们不能在一起。我会想念你的。在明年的结婚 10 周年纪念日,我们一定要隆重庆祝一下。"[58]

7 月 19 日,星期天,当巴丁和肖克利回到伦敦的皇后门酒店时,外面正下着蒙蒙细雨。尽管天气不好,肖克利还是计划和伦敦的一个朋友去攀岩,然后花几天时间去利兹大学拜访斯通纳(Edmund Stoner),讨论有关磁学的问题。[59]肖克利离开之后,巴丁去戏院观看了一出根据英国历史改编的音乐剧《1066 和一切》(1066 and All That)。

第二周的星期一,巴丁坐火车来到剑桥。在单调的旅行中,他给简写了封信。其实他前一天就开始写信了,但没写完。他开始发牢骚。"我的一只鞋子破了,"他写道,"我们只吃了一点我带的食物。我本应该腾出地方多带双鞋和几条毛巾的。旅店里面几乎不配备毛巾。"[60]他告诉简一条稍好的消息:"比尔告诉我,从 7 月 1 号开始给我增加工资。具体的数字他也不清楚,但是差不多每个月增加 60 ~ 70 美元。"

在剑桥,巴丁参观了蒙德实验室,并在那里和勋伯格进行了交流。巴丁非常喜欢他的一本有关超导性研究著作。勋伯格的研究生皮帕德(A. Brian Pippard)也在场。在勋伯格的建议下,皮帕德研究了海因茨·伦敦战前做过的有关超导体

内部磁场穿透深度的实验。他现在可以利用微波技术来测量高频条件下金属的表面阻抗，因为在二战时期，皮帕德曾在马尔文国家实验室为英国皇家雷达研究所从事过微波方面的研究。

皮帕德意识到，微波领域对于超导性的研究来说是一个有发展前景的领域，因为微波的频率属于中等频率[介于0（此时超导体不会耗散能量）和正常耗散能量的光频率之间]。伦敦理论大胆地假设电子之间存在一种长程的排序，并预测了磁场穿透深度。如果皮帕德可以通过实验来测量这个深度的话，那么就可以对伦敦理论作出强有力的论证。在访问期间，巴丁还直接同海因茨·伦敦讨论了有关超导电性的问题。

他们决定下一站去巴黎。巴丁写信告诉简，他希望“下个星期天[7月26日]到巴黎，但是我们还没有预定旅店”[61]。实际上，他承认：“我们在巴黎到苏黎世的这段旅程中都没有预定旅店，但是我们要往好的方面想。”到达法国之后——那天是“巴黎历史上最热的一天”[62]——他们拜访了奠定磁学研究基础的实验家内艾勒（Louis Néel）。内艾勒“不无道理地认为，既然到了法国，就应该讲法语”。于是在那个炎热的日子，他们和内艾勒一起坐在露天咖啡吧，“用我们高中水平的法语与他交谈。”[63]

他们的最后一站是瑞士，比尔和约翰在拜访泡利之前，先到苏黎世湖游泳，泡利在20世纪30年代曾把固态物理称为“和泥土打交道的物理学”。拜访完泡利后，他们一起去阿尔卑斯山度假。巴丁喜欢这些山。“正如你喜欢集明信片，”他写信告诉简，“我非常喜欢瑞士。”[64]事实上，“如果我们确实能够出来度假的话，那么我想我不会考虑其他国家，而是直接来瑞士。”他告诉简，肖克利“在苏黎世买了许多登山用品”，包

括“钉鞋、挡风的夹克以及各种登山装备。我只买了一双带防滑底的运动牛津鞋用于远足”。他认为买鞋是合理的，说“以后可以穿着它打高尔夫球，或就是平时穿”。

巴丁在信中说他“在旅行中学到了很多，并收集到了一些对实验室有用的信息。至于是否这些信息就值得此趟旅行则很难说”。但无论如何，这是“一项很艰难的任务——你不尝试的话，无法想象它的难度——但也是一次相当好的经历”[65]。他在8月1日写信时补充道：“再过一周左右，我就回家了——我很高兴能回去。”

产生了晶体管的“神奇一月”始于1947年11月中旬，也就是在巴丁和肖克利从欧洲回来后的第三个月。布喇顿在一个实验的过程中碰到了一个似乎是单纯的问题。凝结在设备里面的微滴引起了一些乱真效应。要把积水抽出需要花两周的时间，他不愿意浪费时间，便决定用最短的时间来快速解决。“我是一个懒人，”他后来说，“我喜欢用最简便的方法来解决问题。”[66]他把整个系统浸在各种液体当中，包括蒸馏水，结果“非常惊诧地”发现当液体是电解液时，他所研究的光生伏打效应增强了。很快，布喇顿把这个现象演示给“小组里每一个愿意作他观众的人看”[67]。

巴丁认为可能是电解质中流动离子产生了足够强度的电场，从而克服了表面态。然后吉布尼说：“等一下，那里存在电势，是吗？”[68]布喇顿答道：“是的。”于是吉布尼建议：“让我们换一种液体试试。”

当布喇顿和吉布尼换其他液体时（见图8－2），他们注意到，当他们使用水或电解质的时候，晶体表面会形成一层正电荷，在另外一侧表面则会形成一层负电荷。“让我们改变光的电磁力，从一个很大的强度到零，观察它所产生的变

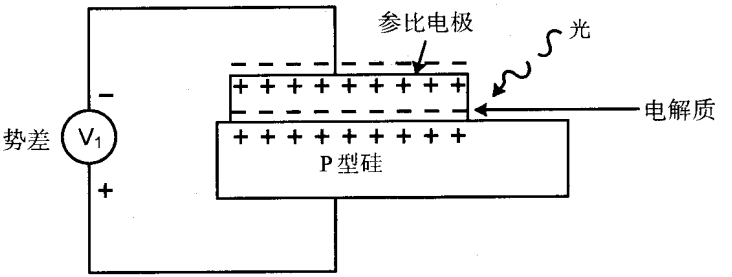


图 8－2　吉布尼对改变势的建议

化。”[69]突然，整个团队都意识到，他们建构出了一个场效应放大器！11 月 20 日，布喇顿和吉布尼在他们的专利申请报告上描述了他们的发现。剩下的主要问题是如何把由电势引起的这种变化引入到第二个电路当中。

这时，肖克利在团队中的表现开始变得古怪，他比以前更少和同事来往。尽管他继续为研究提意见，但是他把主要精力都放在对“位错”问题的研究以及电子流过卤化碱和卤化银时的现象。[70]他开始在家里设计用一种不同的方法制造固态放大器。但他没有把此事告诉团队里的任何人。[71]

与之形成鲜明对比的是，巴丁完全投入到研究布喇顿和吉布尼的新发现中。他无时无刻不在思考取得成功的可能性。11 月 21 日星期五的早上，他走进布喇顿的办公室：“建议用几何学来搭建一个真正的放大器。”布喇顿回应道：“来吧，约翰，让我们去实验室动手做一下。”[72]

两人一直定期在布喇顿的实验室工作。巴丁喜欢在布喇顿的身后看他为实验做准备。有时候巴丁会在一些常规性的工作中帮布喇顿一把，诸如记录测量的数据，或在布喇顿焊接的时候帮他拿稳要焊接的物体。巴丁往往会请布喇顿就一些技术和材料作出解释。在对数据进行思考的同时，巴丁会根

据自己对物理学的深刻理解提出一些说明性的建议。布喇顿对此很感激。两人之间的配合让巴丁想起他和布里奇曼之间的合作,但是同布喇顿在一起更有乐趣,因为布喇顿相当有幽默感,而且他奇遇不断。贝尔实验室提供了无数的大学实验室所不具备的资源来支持这样的合作——技术人员、材料、装备甚至是专利律师。

11月21日巴丁所提出的方案(见图8-3)尽管并非放大器,但是它已经包括了第一个晶体管所具备的大部分要素。巴丁利用战时雷达程序中的一些数据,改进了布喇顿的基本结构以及吉布尼的杰出实验。后来布喇顿如此回忆巴丁的设计方案:

> 这个几何学构建主要上就是使一个金属点和绝缘的半导体面相接触,然后用一滴电解质包住接触点,与此同时电解质又和另一种金属相接触,这样做是希望通过穿过电解质的一个细电场来调节从金属点穿过半导体的电流。[73]

巴丁建议用一滴蒸馏水作电解质,一块带N型"反型层"(在某种条件下在半导体表面附近形成的一个很薄的区域)的P型硅作为半导体。他在1946年从事表面态的工作之后,

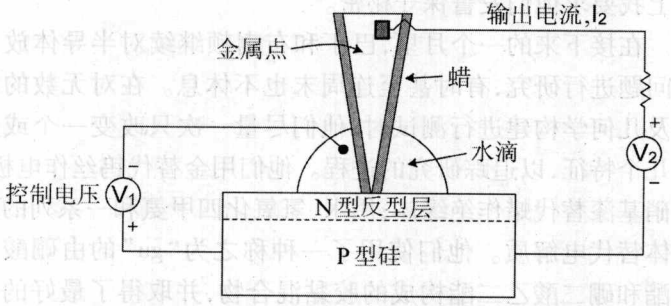


图8-3 1947年11月21日巴丁建议设计的场效应放大器

清楚地认识到了反型层现象。事实上，他对此享有专利权。他希望能够利用这样一个事实：在这个薄层之上，大多数的电荷载流子的极性与大块材料相反。（于是，如果空穴在大块材料样本上携带着大部分电流的话，那么电子将在反型层携带大部分的电流，反之亦然。）此外，战时研究也表明，电导率在大块材料上的变化比在薄膜上要明显。因此通过在大块材料上建立与之相接触的反型层，而不是在其表面设置薄膜，那么不仅可以得到薄层的半导体，而且可以在薄膜中得到迁移率很低的电荷。

对于触点，巴丁建议使用一个尖锐的钨点。布喇顿则建议用一层薄薄的蜡使之同水绝缘。巴丁认为，这样一个“点接触”设计的优势在于它是“一个简便可行的方法”[74]，一个“可以在一天内搭建并完成的实验”，因为制作触点的技术已经在战时得到了改进。

在他们测试巴丁的设计方案时，布喇顿和巴丁已经知道他们离成功只是咫尺之遥了。它工作了约 10 个循环，放大了电流和功率，但是没有放大电压。布喇顿说：“那天晚上回家的时候，我告诉那些一同搭车的朋友，我感觉自己正在进行一生中最重要的实验。”[75]因为贝尔实验室尚未发布消息，“次日晚上我要求他们发誓保守秘密。”

在接下来的一个月里，巴丁和布喇顿继续对半导体放大器问题进行研究，有时甚至连周末也不休息。在对无数的材料及几何学构建进行测试时，他们尽量一次只改变一个或少数几个特征，以追踪研究的进程。他们用金替代钨丝作电极；用硝基漆替代蜡作绝缘体；用水、氢氧化四甲氨和一系列的凝胶体替代电解质。他们使用了一种称之为“gu”的由硼酸乙二酯和硼二酸乙二酯构成的胶黏混合物，并取得了最好的效果。这种从铅电池组中取出来的黏性流体比水的效果要好，

但容易挥发。他们设计了这样一个结构:把作为电极的金丝环放在 gu 上面,并用另一根尖锐金丝穿过它。他们用一滴 gu 来粘合 P 型硅和 N 型硅,并在一片硅片上设置两个而不是一个触点。

设计中最关键的一个改变,来自于 12 月 8 日星期一巴丁提出的一个建议。那天午饭时分,巴丁在同布喇顿和肖克利进行讨论时说,他认为他们应该用锗来替代硅。巴丁认为如果他们使用普渡大学的研究者在战时研究出的一种掺锡的特殊的锗——"高逆电压锗"[76],那么利用这种材料就能对反方向的电流产生很高的阻抗,他们就可以显著改进放大作用。布喇顿回忆说:"巴丁对于类似的研究有着惊人的猜测力,并作出了准确的判断。"[77]

布喇顿的实验室碰巧有一块这种特殊的锗,因此他和巴丁在那天下午就进行了实验。布喇顿把金丝穿过一滴 gu 同锗相接触,并对金丝施加了若干伏的电压。他们吃惊地发现电压放大了两倍,而功率放大了 330 倍!他们还注意到了电流方向的奇怪变化。巴丁记录道:"实验结果同一般人所预料的相反。"[78]

难道是携带正载流子的空穴,而不是电子对电流的传输起作用吗?布喇顿记录道:"巴丁提出,表面场如此强大,导致表面附近产生 P 型[正]传导。"[79]这个想法很奇怪,但却符合实验得出的数据。它们可以产生反型层吗?是否是电解质当中的负离子产生了包括表面空穴在内的正电荷层?[80]部分出于偶然原因,部分由于良好的实验方法,两人成功地增加了表面空穴的数量。钨点的负电压实际上把电子给驱散了。用电解质增强电场之后,空穴数量的增加增强了电导率,因此就观察到了增加的功率。

他们逐渐意识到:那些自从巴丁了解到它的存在以来就

吸引他的幽灵似的粒子——空穴——起到了同栅极一样的作用。派尔斯曾在1929年间接提到了这些空穴,海森伯和威尔逊曾在1931年对这些空穴进行了精确描述。而在接下来的日子里,空穴是他们所认识到的新效应的关键。

两天后,也就是在12月10日,巴丁和布喇顿重复了他们使用特殊锗样本的那个实验。他们观察到功率得到了更大幅度的增加——差不多放大了6000倍。但是因为它的频率响应比较差,所以这个设备尚不能用来放大人的声音。

他们很快就意识到频率响应的不足是由于gu内部的粒子移动得太慢。于是他们决定不用电解质,转而利用布喇顿在前一天碰巧观察到的一个有优势的效应。当他对硼酸乙二醇施加一个稳定的电场时,电解质腐蚀了锗的表面并形成一层绿色的类似于铁锈的氧化膜。"我还记得在硼酸乙二醇下面形成的绿色,"布喇顿回忆道,"一看到这层膜,我们就想:'这层氧化膜一定是绝缘的。如果是这样的话,那么我们就可以制造这样的薄膜,然后直接把金属电极放在膜的上面,这样不用电解液就可以获得场效应,并在更高的频率下放大[功率]。'"[81]因为这层膜是刚性的,它和gu不同,因此它对频率响应会有所改善。加之它很薄,电场强度应该会更高。因此,他们认为,对于获得更高的功率放大来说是必须的空穴数量得到了保证。

在1947年12月11日进行的下一个实验中(见图8-4),他们用氧化膜替代了电解质。布喇顿改变电流的方向,用一块N型的样本替代P型样本。吉布尼小心地在氧化膜上沉淀出一个金点作为电压的阳极,在金点的中心留出一个洞让金属的触点穿过锗。当放电破坏了空穴之后,布喇顿采取了折中的办法:他把触点置于金点的边缘,从而把两个接近的电路分离开来。这样就具备了观察场效应的所有因素。

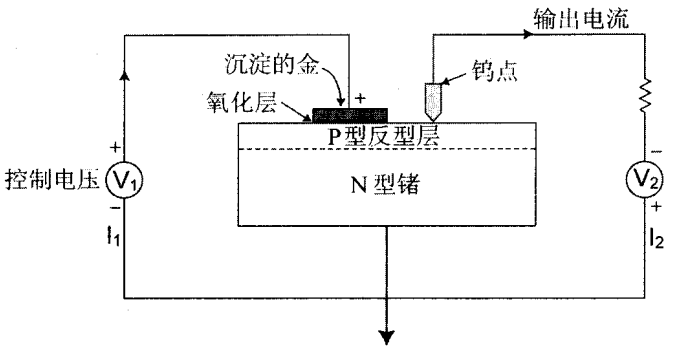


图 8－4　巴丁和布喇顿于 1947 年 12 月 11 日设计的场效应模型

但是实验并没有取得预期的结果。12 月 15 日，当他们把正电压连在金点、负电压连接在接近于触点附近的时候，布喇顿同时观察输出电流和电压的变化。并没有功率的放大，但是电压加倍了！高频下情况也一样。布喇顿记录道："电压的放大与频率是 10 周还是 10000 周无关。"[82]奇怪的是，这种修正只有在金点正偏压的时候才发生，布喇顿回忆道："我看到了相反信号效应。"

巴丁说："我们知道发生了一些特殊的情况。"[83]显然"空穴从金点流入了锗的表面，它以这种形式流入触点，从而加强了逆向电流。"[84]对此，巴丁回忆道："这是我们第一次看到后来被称之为晶体管效应的现象。"把空穴引入到锗的表面之后，这一设备就变成了"双极"晶体管。这同肖克利在两年前所设计的场效应设备完全不同。

巴丁回忆起这一经典的实验，解释说："那时我们并不知道表面形成的氧化膜是可溶于水的。"[85]他们并没有预料到"当我们把 gu 给洗掉之后，氧化膜也被洗掉了"。他们所使用的这种材料的简单属性——也就是在锗表面所形成的氧化膜的可溶性——使得巴丁和布喇顿，而不是肖克利获得了第

一个晶体管的专利权。

要不是他们把硅替换成了锗，那么氧化膜就不可能被冲洗掉。要是他们继续把硅作为研究对象，那么他们很可能会设计出类似于今天通用的 MOS - FET（金属氧化硅场效应晶体管）的场效应晶体管。巴丁可能会开玩笑地说，他和布喇顿发明的点接触晶体管耽误了探索场效应晶体管好几年的时间。但正如哈隆雅克（Nick Holonyak）后来所说的那样："要不是点接触晶体管导致了对半导体的研究，半导体就不可能发明出来。"[86]

巴丁和布喇顿是否真正了解 1947 年这场历史性实验中空穴的行为呢？举例来说，他们是否意识到空穴不仅流入了锗的表面，而且流入了整个半导体？这些问题近年来已经成为一些工程师和历史学家争论的焦点。现有的文献资料不足以解决这个问题。

争论的一方认为，巴丁在工程师方面的训练使得他闭上了可以看到"空穴注入"的眼睛。[87]我们则认为这样的说法是不合理的。毕竟，作为一个理论物理学家，巴丁接受过系统的训练，他持有普林斯顿大学的物理学博士学位，并在哈佛大学进行过 3 年的博士后研究。而且，10 年前，有关空穴流入到大块材料的现象在戴维多夫发表的一篇深奥的数学论文中就已经提及了。[88]或许巴丁看过这篇论文，因为他养成了一个习惯：阅读所有可以得到的相关物理学研究资料。即便他未曾掌握戴维多夫论文的所有内涵，他也很可能认识到了它的相关性。巴丁是当时少数几个训练有素并能读懂戴维多夫著作的物理学家之一。

根据许多间接的证据，哈隆雅克提出了一个更为合理的解释。[89]他认为巴丁在晶体管的发明之后，即使不是马上，也在稍后理解了空穴的作用。一如巴丁的个性，在充分了解空

穴不仅流入半导体表层，而且也流入其大块的内部之前，他不会轻易公开自己的假说。

这一争论归根结底要看巴丁和布喇顿费了多少时间才意识到空穴流入到大块材料之中。巴丁于1964年告诉一个采访者："人们曾一度不能确信这些空穴是在空间电荷层中流动还是快速地注入了晶体中。"[90]一年前巴丁在另一次采访中说："我们一开始认为空穴只是流入表面层，并以为是集电极场的作用把空穴引入到表面层，因此这个现象只限于这个表面层。我们做了很多实验以查明实际发生的过程。"[91]巴丁认为这些实验证明了："你在表面引入了过多的载流子，以至于降低了触点附近的电导率。"在这段变幻莫测的时期，肖克利正在进行自己的研究。这些研究"表明他可以通过一个P—N结把空穴注入材料当中"。

无论如何，关于空穴是否流入到大块材料中的争论很快就被夏伏(John Shive)的决定性实验所证实(详见第九章)。1948年2月中旬，夏伏证明"空穴流入了大块材料之中，同肖克利提出的设想一样"[92]。

巴丁和布喇顿花费了好几天的时间，竭力想要提高他们实验中功率的放大量。"观察到的效应"[93]并不大，看不到明显的功率放大。巴丁认为："如果我们确实要把载流子引入到表面，想要得到明显的相互作用，就必须让电极靠得很近，差不多在千分之一英寸左右。"他因此提出了一种几何学形状(图8-5)，以便让空穴离输入信号更近。他把两条金属接触线放在锗的表面以替代金属丝和金点，两条金属线之间只有几千分之一厘米的距离。(到这个时候，他们认为线接触可以比点接触产生更强的作用。后来他们意识到，如果它们之间有足够电流的话，点接触也能达到同样的效果。)

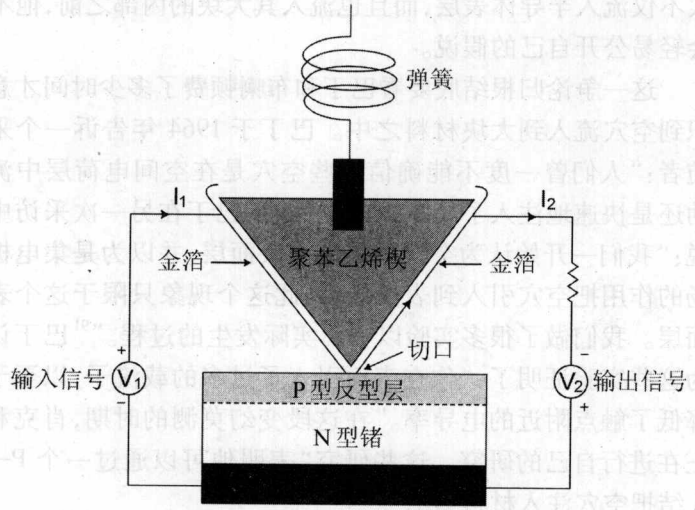


图 8－5　1947 年 12 月 16 日第一个晶体管

布喇顿听从了巴丁的建议，制作了两条金属接触线，并用一片战前制造的金箔环绕在三角形的聚苯乙烯楔的外面，两条接触线在三角形顶点之间的距离只有 0.004 厘米。“我用刀片小心地把电路给切开”[94]，并在切口处注入蜡，通过一个弹簧把三角形的聚苯乙烯楔推入锗里面。他“适度”地摆动后，成功地使之同两个点都接触。巴丁回忆道：“我可以让一个点成为发射极，另外一个点成为集电极。”

1947 年 12 月 16 日，星期二下午，他们这个特别的实验初次就奏效了。在第一次试验中，有一次输入了 1000 周每秒的电流，他们发现电流放大了 1.3 倍，电压放大了 15 倍。“我制作了一个放大器，使得声量增大了 100 倍，可听见了。”布喇顿吹嘘道，“有时候它会不起作用，但是我可以不停地摇摆它，让它再次起作用。”[95]于是晶体管诞生了。

那天晚上回到报春花小区的家里时，约翰把实验结果告诉了简。她回忆道："同以往的日子一样，这一天他把车子停在空地后面的车库里，然后从后门进来。"同往常一样，"最能找到我的地方总是厨房，"她说。[96]他费力地绕过"地板上的孩子们"，约翰低声地说："今天我们发现了一些东西。"简没有从水槽里抬起头看他，她只是机械地答道："很好啊。"但是当他一如既往地不再谈论工作时，她知道今天是个特殊的日子了。几天后，她就知道"一些东西指的就是晶体管"。

巴丁和布喇顿还不能冒险地把他们的发现报告给贝尔实验室的高层领导。布喇顿回忆说："每一级主管……对于把这样一个重要的消息报告给他的上级都心存疑虑，因为担心这只是一个偶然的成功，担心时机未成熟而过早地宣布某某发现如何重要会让他们感到丢脸。"[97]于是他们又花了一个礼拜的时间对一切进行验证。

12月23日星期二的下午，研究小组准备宣布这个发现。他们聚集在一起，紧张地准备为默里山的那些高层领导进行演示。布喇顿已经布置好了设备，这样一些观察者可以在输入电流这端说话，而另一些观察者则可以在输出电流那端的耳机听到声音，或者可以在示波器中看到输出信号。第二天，也就是圣诞前夜，他在笔记本中描述了当时发生的一切：

> 通过连接或断开线路，可以从示波图上看到，也可以听到演讲音量的放大，而音质并没有多少变化。在某个固定频率下进行测量，发现音量增大了18倍甚至更多。[98]

巴丁在那天的晚些时候也记录了演示的过程。此时，他和布喇顿已经看到"电压被放大了100倍，电流则被放大了40倍"。这时最让巴丁感兴趣的是这样一个物理过程：空穴进入了半导体，分布在反型层，并对电流产生影响。为了解释反型层的空穴是如何引起放大效果的，他以熟悉的三极管系

统作类比，进行了解释：

> 当A[金电极]为正极时，空穴被发射进入半导体。它们分布于薄薄的P型层。那些在B[钨点]附近的空穴被电极吸引并进入电极。这样A就相当于真空管电路中的一个阴极，而B则相当于阳极。接地线类似于栅极，这样这个系统就类似于接地栅极管。信号被引入到A(阴极)和地线(接地栅极)之间。输出电路位于B(阳极)和接地线之间。电压信号在类似真空管的地方被逆转，因为是空穴(正电荷)而不是电子(负电荷)导电了。[99]

他补充道："这一比方是肖克利提出的。"这是巴丁同肖克利在一起时最富有成果的合作。

第九章

跟贝尔决裂

在发明晶体管之后，巴丁和布喇顿有一种继续工作的巨大冲动，尽管假期已经不知不觉地临近了。他们的家人希望他们回家帮忙以欢庆节日。老天也站在家人们的一边。12月26日星期五，下了一场异乎寻常的大雪。当一尺多厚的大雪降落在默里山后，所有的工作人员都被准假回家。

在哈得孙河边的纽约城对于《纽约时报》(New York Times)所报道的这场大雪"毫无准备"，报纸说："这场大雪从大西洋某个没有气象观察员的地方袭来，横扫纽约城。"[1] 到了周六早晨，下了一夜大雪后，积雪达到了25.8英寸，交通陷于停顿。"城市的高楼都戴上了巨大的雪帽，长出了巨大的雪胡子。"这场大雪刷新了1888年的那场暴风雪所创造的积雪达20.9英寸的纪录，1947年的这场暴风雪创造了"纽约有史以来最大的一场降雪"。

简在撒密特写信告诉母亲，他们正在经历"地狱般的大雪"。大雪转而变成了冰冷的雨，使得纽约城的新年庆典变得一团糟。大多数居民已经断电一周了。巴丁他们只好借邻居家的煤气炉来做饭。简把"端着一个热锅子从邻居家的后门穿到我们家说成是一项了不起的运动(?)"。她说那些饥肠辘辘的家人"在我进门时已经做好了准备，手里拿着叉子，围坐在餐桌边上。我对他们说自己就像拿着鱼给海豹喂食的

动物饲养员”[2]！

在整个暴风雪期间，即便在12月27日太阳最终出现时，肖克利都在家埋头工作。1947年的圣诞节对于琼·肖克利以及比尔和琼的两个孩子比利和艾莉森（Alison）来说不是最快乐的日子。当肖克利得知布喇顿和巴丁已经取得了重大的、或许是革命性的发现，而自己却不能成为其中一份子时，他感到很不安。因为他认为这个发明是受到了自己的设计方案的启发。对此，巴丁后来说：“肖克利认为他应该获得场效应原理的基本专利权。”[3] 肖克利决定向贝尔实验室的专利律师解释为何他应该获得此项专利权。

当纽约和新泽西的孩子们正在积雪中挖地道的时候，肖克利正忙于发展自己的新设计方案，研制一种新型的晶体二极管，那是基于巴丁和布喇顿设计方案之上的巨大改进。同麻烦的点接触设备不同，他希望他的晶体管能够应用于商业。他用P型和N型硅结或锗结来替代电子噪声点接触。自从一个月前点接触半导体诞生之后，这个想法就一直不断地出现在肖克利的脑海中。他偷偷地进行研究，不让小组的其他成员知道。

12月28日，星期一，肖克利带着设计方案来到默里山，找到了实验家海恩斯（Richard Haynes）为文件进行公证。然后他乘坐火车到曼哈顿，接着又乘坐“20世纪快车”到达芝加哥。[4] 肖克利在那里参加了美国物理学会于12月30日和31日举行的会议。之后，他回到俾斯麦酒店的套房，在那里花了一周时间研究新的设计方案：这是一个三层的“三明治”半导体，“面包”是P型半导体，“肉”则是N型半导体。外层的一块半导体提供空穴；另外一块则负责接收空穴。N型层起到了类似于栅极的作用。通过建立一个电子屏障，这个“水龙头”可以控制电流，他后来意识到可以通过改变电压来提高

或降低这个屏障。这个想法有可能演变成结型晶体管。

回到默里山,凯利严格限制大家在实验室之外谈论巴丁和布喇顿的发明。他效仿曼哈顿计划的保密程序,宣布他们的发明是"贝尔实验室的秘密"。他把这项工作命名为"表面态工程"。简已经写信告诉父母有关"约翰的发明",现在她又匆忙写信告诉他们不要泄漏这个消息,"除非已经完成了专利申请。律师们现在正在处理这个事情。"[5] 她还自豪地补充:"贝尔实验室的所有'高级行政人员'都来观看了这一发明,所以它一定是成功的。"

凯利还坚决要求巴丁和布喇顿抛开手头的其他事务专心申请专利。实际上,他是在拖延他们的时间,好让肖克利放手致力于自己的结型晶体管。巴丁和布喇顿同专利律师哈特(Harry Hart)密切合作,后者认为可以把他们两人看作是联合个人。数年之后,他写了一封信给他俩,因为他一直把"你们看作是一对"。他补充说:"你们的个性与斯布拉特(Jack Sprat)以及他的妻子截然不同。或许这正是你们能够成功的原因吧。"[6]

从芝加哥回到默里山后,肖克利采取进一步措施以消除巴丁和布喇顿之间合作的可能性。他分别把小组中的每个人叫到他的办公室,布喇顿回忆道:"他想要申请专利——从场效应开始——一直到见鬼的整个发明的诞生。"[7] 巴丁和布喇顿感到愕然。肖克利的补充说明是对他们最大的侮辱:"有时候那些真正出力的人,却没有得到他们应得的报答。"

但是肖克利的计划落空了。专利律师发现场效应理念根本就不是一个新事物,它"已经以多种形式在各种专利文献中出现了"[8]。1930 年,莱比锡的物理学教授、波兰籍的美国发明家利林费尔德(Julius E. Lilienfeld)就已经申请了这个专利。利林费尔德在 1926 年的专利申请中很好地描述了场效

应的概念，因此后来巴丁认为："肖克利根本不可能获得场效应原理的专利权。"利林费尔德的设计是否真正起作用无关紧要。贝尔实验室不敢冒被驳回的危险去申请一个已经申请了专利的场效应理念。随后，比尔将其应用建立在巴丁和布喇顿的两极设计之上。两极设计这个理念之所以新奇，那是因为是空穴——而非电场——像栅极一样起作用。

肖克利一定感到自己已经失去了一切。他继续独自对他的结型晶体管进行研究，而巴丁和布喇顿则正为他们的晶体二极管设计申报专利。有一天，肖克利突然向外界透露了他的秘密工作。

2月18日，实验家夏伏向他的贝尔实验室的同事展示了一个晶体管的设计方案，触点在锗片的反面。[9] 肖克利的设计正常工作的事实表明空穴实际上穿过了整个样本。

肖克利知道巴丁很快就会意识到夏伏演示实验的暗示，即使他不曾这么做的话。肖克利不能再让他的工作处于秘密状态了，因为巴丁很可能会抢了他的风头。因此在展示时，肖克利突然拿出了他的设计方案：一种基于P—N结的新型的二极管放大器。整个设计方案有点类似于他在新年的想法，除了一点：这是一个N—P—N而并非P—N—P结构的"三明治"，在这个结构中，是电子而非空穴携带了大部分的电流。[10] 此外，所有三层都有与电路相连的电接触，能够更好地控制电流。

布喇顿对于肖克利"独自在家研究"[11]的做法，尤其对于后者"已不再是研究小组成员这样一个事实"感到震惊。巴丁也感到很愤怒，但是一如其个性，他什么也没有说。简和包括布喇顿在内的其他一些人看到巴丁从嘴里咕哝出肖克利已经"全面涉足"这句话，就知道肖克利的做法对巴丁的伤害有多大了。[12]

巴丁和布喇顿还有其他的顾虑。因为凯利的保密命令,[13]他们不可能发表,甚至不能在1948年的前6个月谈论他们的发明。他们也担心被别的物理学家,尤其是被拉克-霍罗威茨领导下的物理学家抢先。

拉克-霍罗威茨小组的一个成员布雷(Ralph Bray)已经报道了锗的"扩散电阻"现象。作为一个二战期间的毕业生,布雷观察到:当小幅脉冲的正电压施加到锗的触点上时,电流会扩散到触点下面,电阻降低。他并没有意识到正是注入的空穴引起了这个现象,但是布喇顿和巴丁感觉布雷或他们小组的成员迟早会发现这个事实。

1948年1月,美国物理学会在纽约开会时,布喇顿和拉克—霍罗威茨小组的另一个成员本泽(Seymour Benzer)讨论布雷的实验。本泽说:"我认为如果谁把另一个触点放在表层使之接近触点,并测量出触点周围的电势分布,那么或许就可以理解这一切了。"[14]布喇顿不安地答道:"是的,我认为那或许是一个不错的实验。"然后就匆匆离开了。

在巴黎的另一个小组也在设计一种类似的装置。维尔克(Heinrich Welker)和马塔雷(Herbert Mataré)正在创立一个同巴丁和布喇顿创建的点接触晶体管类似的锗装置。他们在1948年8月13日申请了专利。描述了维尔克和马塔雷研究工作的科学史学家韩德尔(Kai Handel)声称:"在任何同高纯度锗相关和从事点接触研究的实验室中,很可能有人[14]会在实验中把两个点接触放得很靠近。"[15]同普渡大学的研究小组一样,巴黎的研究团队也不具备像巴丁这样一个对物理现象有着深刻认识的理论家。韩德尔补充说:"但是可以肯定的是,不像巴丁和布喇顿,他们并没有成功地理解如何让他们的装置起作用。"

军事机密等级是另外一个考虑因素。贝尔实验室必须得

到军方的批准，因为放大器有可能被用于军事。在等待军方审批的过程中，巴丁和布喇顿给《物理学评论》寄了一封信，要求编辑推迟发表他们的发明，直到他们从贝尔实验室得到此项发明未被列入军事机密的官方消息后。[16]布喇顿再一次无法保持冷静。他强烈地感到“以国家安全的名义所作出的大多数限制是愚蠢的”[17]。直到6月份，听说他们的装置未被列入军事机密之后，他们才松了一口气。

与此同时，要为发明的产品找到一个合适的名字也是很重要的。建议的名称包括“半导体三极管”、“表面态放大器”、“晶体三极管”以及“微真空管”（为了强调它的微小）。许多名字被舍弃了，因为布喇顿和巴丁不喜欢以“-tron”结尾的单词。1948年5月，贝尔实验室的一个电机工程师找到了一个最好的名字。

约翰·皮尔斯（John Pierce）碰巧路过布喇顿的办公室。“约翰，我正要找你。”布喇顿说，“请坐。”[18]皮尔斯很擅长表达。他后来以J·J·库普林（J. J. Coupling）为笔名写了一本科幻小说。两人开始讨论有关名称的事情。皮尔斯指出真空管之所以起作用是因为它的跨导，而新装置起作用的原因是因为它的跨阻；这是真空管的电子双重性。布喇顿说，他认为这个名称应该同其他的固态物理装置的名称接近，如“变阻器”和“热敏电阻”（以“-tor”结尾）。皮尔斯建议用“晶体管”*。布喇顿惊呼：“皮尔斯，就是它了！”[19]

所有提议的名称都写进了贝尔实验室的备忘录并传播开来。他们还对这些名称进行投票。绝大多数的人都喜欢“晶体管”这个名称。

---

* 以-tron结尾的一般称为“管”，而以-tor结尾的一般称为“器”，巴丁当时相当于舍弃了“跨阻管”而称“跨阻器”，但中文习惯称“晶体管”。——译者

1948年6月30日，这个发明最终对外公布。肖克利的母亲梅(May Shockley)从加利福尼亚乘飞机过来，她与琼、凯伦、简以及她们的丈夫一起参加了在西街实验室顶楼经理餐厅所举行的豪华宴会。当男人们在拍照的时候，女人们在一旁观看。当然她们也拍了几张照片。然后所有的人都被请进了礼堂。

贝尔实验室当时的研究部经理鲍恩(Ralph Bown)准备发言。他穿着一套漂亮的灰色西服，戴着一个彩色的蝶形领结，发言道："我们今天所要展示的成果代表了一个团队合作的范例。"他强调了"在一个工业的框架内进行基础研究的重要性"，然后解释了"我手中的这个圆柱形的物体"实际上是：

> 我们称之为晶体管，T-R-A-N-S-I-S-T-O-R，因为它是一个电阻器，或者说是可以放大电子信号的半导体装置，*因为这些信号先是被输入，然后经由半导体输出终端。如果你硬要类比的话，那么它类似于真空管放大器。但是它们之间没有相似之处。它既非真空，也没有钨丝和玻璃管。它完全是由冰冷的固态物质组成的。[20]

鲍恩通过放大自己的声音来进行演示。听众通过一个电话听筒——内设一种新型晶体管的放大器——听他讲话，他稍后把放大器从听筒中拿了出来。他强调，这个新的晶体管同真空管不一样，不需要加热。演示之后，肖克利负责回答观众的提问。

起先，巴丁并没有意识到鲍恩的演示给他和布喇顿在晶体管开发过程中所起作用投下的阴影。"一切都很顺利。我认为这是一个非常成功的演示。"[21]巴丁说。巴丁一家和布喇

---

* 从这点上来说它既有"阻"性，又有"导"性。——译者

顿一家“受到了贵宾级的待遇，他们非常兴奋”。简滔滔不绝地同家人说话。她提到“最后完美的部分是实验室用七座的派卡德豪华轿车送我们回家”[22]。然而，对于公众而言，鲍恩的介绍和肖克利对观众问题的回答给他们留下了这样一个印象：晶体管的发明是他们合作的产物。[23]其实这个发明是贝尔实验室最优秀的物理学家所指导的团队的成果。

巴丁回忆道，当“我们读了第二天的《纽约时报》”[24]，发现“无线电栏目对此只有寥寥数语”时，感到灰心丧气。《泰晤士报》的报道是：“一种被称为晶体管的设备，可以应用于我们现在使用普通真空管的收音机中，昨天首次在贝尔实验室展示。”[25]这句话被放置在第 46 版的无线电通讯栏目的最后位置，其重要性甚至不如一个布告：“周一晚上哥伦比亚广播公司将播出流行广播喜剧《我们的布鲁克斯小姐》（Our Miss Brooks），以取代每天那个时段的《广播剧场》（Radio Theater）节目。”《纽约先驱论坛报》（New York Herald Tribune）中刊登的消息比较令人振奋，它说：“工程师们相信晶体管会引起电子工业革命。”[26]

无线电迷们对于这些新闻的反应较为积极。据布喇顿说，他们在晶体管还没有投放市场之前就去“买了锗的标度盘，自己做了一个晶体管”[27]。“一个没有真空管的收音机，”简以惊诧的口吻写信告诉家人，“只有约翰发明的那个小玩意儿和一个话筒。那岂不是很奇妙！”[28]

工程师们可能是最兴奋的群体。1948 年 9 月《电子学》（Electronics）杂志的封面使用了一幅巴丁、布喇顿和肖克利的特写照片。[29]这是他们穿着衬衫，戴着领带在实验室里的照片。但是两个发明者都没有处于照片的中心位置。相反，肖克利倒是在布喇顿的工作台前摆了一个姿势，而布喇顿和巴丁则在他的身后对着镜头。这张照片似乎特意在传达一个同

鲍恩在新闻发布会上一致的信息。巴丁告诉一个朋友:“沃尔特肯定讨厌这张照片。”[30]

3人现在都忙于进行巡回演讲。巴丁在美国物理学会于芝加哥举行的会议上、印第安那的普渡大学,以及回家途经的田纳西州国立橡树岭实验室进行演讲。1949年1月,已经希望进行媒体宣传的贝尔实验室邀请了《生活》(Life)杂志的摄影记者,到巴丁的家乡撰写一篇有关晶体管的专题文章。前一天,约翰到城里面去“理了发,这样看起来更精神一些”[31]。

简担心约翰会把自己搞垮。10月下旬的时候,她写信给家人:“他最近遭受巨大的精神压力,正在为《物理学评论》撰写一篇有关晶体管的论文,并到处作演讲。上周他在实验室作了两场演讲,周五又在哥伦比亚作了一场演讲。”[32]他还准备在11月的大部分时间里到旧金山、洛杉矶和芝加哥作演讲,“直到感恩节之后的那个周末才能回家。”

贝尔实验室为演讲准备了图示和演示。1949年,为了强调晶体管的便携性,西街实验室的一个工程师制作了3个音乐盒。每一个音乐盒里都包括一个振荡放大器电路以及两个早期的点接触晶体管。巴丁和布喇顿都得到了一个音乐盒;另外一个留给贝尔实验室。只有巴丁的音乐盒(现在存放在伊利诺伊大学的史伯洛克博物馆)被保存了下来。巴丁的儿子吉姆说:“爸爸对这个音乐盒深感自豪。”[33]约翰小心地把这个音乐盒存放在办公室里,它在50多年之后依旧能够正常工作。

在演讲中,巴丁会通过音乐盒来展示晶体管兼具振荡器和放大器的功能。根据放在音乐盒上面的一张纸条,他弹出了“我很渴”[34]这个曲调,它可以通过扩音器为听众所听见。然后他把两个点接触的晶体管和电路连接起来放大声音。禁酒时代的一些饮酒歌往往会引起观众们的爆笑,从而让巴丁在演讲中得到放松。

简得到了一个首批晶体管助听器。早期的真空管助听器是一些大家伙，通常被挂在胸口或者放在口袋里。它们受到成本以及为之供电的电池重量的局限，消费者愿意出高价来改进它们。后来，晶体管助听器变得更为便宜和轻巧，但是早期的晶体管助听器差不多要 200 美元，而且差不多有一块橡皮那么大。[35]为了感谢贝尔（Alexander Graham Bell）对耳聋者以及听力受损者的帮助，美国电报电话公司为那些助听器生产商提供免税执照。[36]

1949 年到 1950 年，巴丁都在努力克服持续演讲和旅行产生的压力，特别是同肖克利的关系恶化之后所产生的不快。贝尔实验室的其他成员都看出肖克利“希望可以控制一切”[37]，并限制下属们的自由。肖克利渐渐抛弃了先前那种开明的研究策略，那种吸引巴丁优先选择到贝尔实验室工作的策略。但是凯利和鲍恩并未对此进行干预。

赫林同其他人一样，也注意到肖克利“从自己的高级行政职位上获得了巨大的自信”[38]，并对他的“精神优越感”留下了深刻的印象。那种自信对于肖克利来说非常重要，但赫林感觉“他完全是孤独的”。肖克利需要得到人们的认同，最终想要“成为商业界的名人”。他认为“他比任何人都聪明，在许多方面看来确实如此”。他想要别人知道，他认为他们中的大多数人不够聪明，不配成为他合适的伙伴。这一点更增加了他的孤立。

当巴丁和布喇顿被肖克利禁止从事结型晶体管的研究时，他们感到自己很不幸，因为他们认为这是晶体二极管研究的继续。1948 年秋，肖克利采取了更为过分的行动，把巴丁和布喇顿分别安排在新建成的二号楼不同楼层的两个办公室。[39]肖克利让他们从事点接触晶体管的表面效应研究，一个

他认为“可能是死胡同”[40]的领域。

当巴丁提出自己的申诉之后，肖克利建议他同莫顿（Jack Morton）和欧尔一起研究无线电工程，“但是这些解决方案对我毫无吸引力。”[41]巴丁后来记录道。同肖克利一样，巴丁之所以来贝尔实验室，是因为得到了可以自由从事基础研究的许诺。肖克利的政策“意味着我不能在半导体的研究项目中起到积极的作用”。巴丁被分配去研究那些“肖克利不感兴趣的项目”。

巴丁又去找鲍恩，但是鲍恩不愿意干涉。鲍恩说，肖克利处于“一种高度亢奋的状态”[42]，一周工作 70 个小时以上。鲍恩向巴丁保证：“问题会及时得到解决。”巴丁则认为“这体现了管理层让肖克利自由行事的意愿”。

1948 年 4 月，巴丁开始认真考虑接受田纳西州橡树岭实验室所提供的负责指导固态物理、以及为原子能实验室的反应堆项目提供技术支持的终身职位。他考虑先试着去那里呆上 6 个星期或一年的时间。最终，他还是没有接受橡树岭实验室的这份工作，因为他还希望自己在贝尔实验室的状况会有所改善。巴丁写信给橡树岭实验室的主任温伯格（Alvin Weinberg）：“我对橡树岭的工作还是有兴趣的，但是现在我还不能离开自己所从事的晶体管研究工作。如果你想要给我一张延期邀请函的话，我会告诉你我何时放弃这边的工作。”[43]后者则表示实验室的大门始终向巴丁敞开。

一年后，当温伯格再次提出要求时，巴丁的状况并未得到改善。巴丁回信说：“你给了我充分的理由从贝尔实验室请假，到橡树岭实验室工作一段时间。尽管我不能肯定，但是我相信如果情况允许的话，我可能会离开贝尔的。”[44]

得到了橡树岭实验室的许诺之后，巴丁写信给菲斯克咨询，后者当时在哈佛大学应用物理系供职。巴丁告诉他，温伯

格“一直同我保持联系，他先是提出为我在实验室提供一个终身职位，结果我拒绝了。现在他又建议我离开贝尔，到橡树岭工作一年左右。他有充分的理由提出第二个要求。”[45]巴丁理解他在橡树岭实验室的职位将会是“固态研究小组的高级指导员”。他将“对那些同核弹相关的物质属性进行最基本的研究”。巴丁问菲斯克：“你认为这个提议如何？”那时菲斯克已经被安排去贝尔实验室的物理学研究部担任主任，他建议巴丁再等等，等危机过去后再作决定。

简对于约翰决定继续留在贝尔实验室而暗自庆幸。她喜欢住在撒密特。她同样担心约翰接受政府公职之后的生活。“日益增长的反知识情绪使得任何教授或科学家所从事的政府工作变得更为危险。希望我们的国家不要成为一个法西斯国家。”[46]信奉自由原则的巴丁夫妇反对因为“红色恐慌”和参议员麦卡锡（Joseph McCarthy）那臭名昭著的听政会所引发的仇恨气氛。众议院非美活动调查委员会已经攻击了好几位科学家。简建议家人看一下《纽约时报》上有关雷明顿（William Remington）的一篇文章：“我记得告诉过贝蒂，基特尔一家认识这位去年夏天遭众议院非美活动调查委员会迫害的受害者，确信他并不是一个共产党员，他也不像古怪的E·本特利（E. Bentley）所指控的那样，把信息泄漏给共产党。”

在贝尔实验室，“如果说情况发生了变化的话，那就是变得更糟糕了。”[47]但巴丁确实找到了一个自己有点感兴趣的项目。他和赫林一起写了一篇文章，批评了塞茨早年撰写的有关合金的柯肯德尔效应（Kirkendal effect）论文中的几个问题。巴丁已经同赫林讨论过这个问题，告诉他“想要从一个更基本的观点上来研究漫射”[48]。赫林也一直以同样的方法对漫射问题进行研究。因为巴丁“相当欣赏”赫林研究这个问题的方法，他建议他们写一篇联合署名的论文。在文章中巴丁

负责对付柯肯德尔效应，赫林则主要阐述众所周知的漫射关联效应。

此时的赫林已经是贝尔实验室固态物理最新研究方面的权威。同事们通常会向他咨询有关这方面的物理理论问题。他认真地担当起了精神领袖的角色，但是这个领域发展得如此之快，他感觉自己不可能完全记住所有信息。因此他用一个溜冰鞋盒，里面装满了 3×5 的索引卡片，上面记录了一些笔记和这个领域的最新作品。当赫林在普林斯顿大学的时候，这个盒子被当作了笔记本。战争结束之后，他用一套档案卡替代了这个笔记本，起先这些卡片被存放在一个文件盒里，但是文件盒很快就装不下越来越多的卡片了。一次，他参加美国物理学会在纽约召开的会议，他“经过一家行李店，要他们帮我定做一个大箱子，可以容纳 3×5 规格的卡片”[49]。赫林一直使用这个箱子，直到 20 世纪 70 年代才用个人计算机加以取代。但是从 40 年代一直到 60 年代，在默里山从事固态物理研究工作的每一个人都要利用他那装了滚轮的箱子，它成了固态物理研究资料的数据库。

巴丁从家庭活动中找寻一些安慰以减轻工作中的焦虑。1948 年 4 月，约翰为简买了一个胸花作为生日礼物。[50]当全家人去查塔姆的威廉·皮特酒店吃饭的时候，男人们都在衣领上别着三色堇；贝特茜则别着一朵三色紫罗兰胸花。1949 年 1 月，约翰带着 9 岁的吉米去溜冰。吉米写信告诉简的母亲：“爸爸和我在瑟珀瑞斯湖溜了三次冰。第一次我只能站着。第二次我已经学会了怎么玩。”[51]1949 年 5 月，为了庆祝吉米的 10 岁生日，全家人在莫斯康尼空河边野餐。“我们还在巧克力蛋糕上插了蜡烛！”[52]几个月后，简写信告诉母亲：“这个周末，约翰要带孩子们去纽约城的动物园玩。”

贝特茜很崇拜自己的爸爸。同他一样，她也“可以很坚决”[53]。4岁时，在爸爸没看到之前，她绝对不愿意脱下自己的漆皮新鞋。当快满5岁的贝特茜把一盒糖果中精心挑选的一个给父亲吃了以后，一向喜欢甜食的约翰那天没有吃饭。[54]

固态物理学家的大团体组成了另外一个相互支持的大家庭。巴丁也成了其中的家长，其他物理学家都会向他请教各种问题。他总是愿意帮助年轻的科学家。诺贝尔奖获得者科恩回忆了他和巴丁的第一次交往。科恩当时正在范弗莱克的指导下从事一个项目，需要使用维格纳和塞茨联合发表的一个表格。

> 一天，范弗莱克说因为一些失误，表格中的一组数字是错误的（可能是初始数据）。他认为，我应该写信请教巴丁，他那里会有正确的数据。当然，因为晶体管的发明，约翰已经很出名了，但是我在当时只是无名小辈。带着一种极度的不安，我听从了范弗莱克的意见。很快我就收到了约翰用一个棕色的牛皮纸信封装着的回信。里面装着数值正确的表格（范弗莱克是对的）以及一封很长的手写信，他在信中向我解释了这种混淆产生的原因，并以详细的数学推导公式向我解释了这些数值，以便我最好地利用它们（自那以后我一直使用那个公式）。[55]

后来，科恩写信给简，说“从某种意义上来说，这段小插曲对我产生了重大影响”。巴丁的这种姿态“向我表明，一个伟大的科学家正耐心地帮助一个素未谋面的初学者”[56]。

同巴丁的这一段交往变得如此神奇——以至于贝尔实验室的物理学家用一个数描述它，把它称为“巴丁数”[57]。巴丁的学生麦克米伦（William McMillan）的一个学生、贝尔实验室的物理学家巴特（Ravin Bhatt）把这个数称为“一个自我宣传的重要比率”。巴特认为，一般来说，如果一个科学家可以给出那样一个数，“那么他就是优秀的。那个年代的大多数人

是做不到的。”但是“巴丁无疑位列其中”[58]。

尽管巴丁同家人以及他所在的物理学圈子的交往能够让他感觉好一些，但是作用并不大。在整个 1948 年、1949 年，直到 1950 年，他变得越来越郁闷。“巴丁对贝尔实验室感到厌恶——尤其是对其中的某个人。”[59]布喇顿说。

1950 年初的某一天，巴丁刚结束肖克利指派给他的某个问题的研究，在菲斯克的准许下，[60]他转向曾经在华盛顿特区时研究过的问题：超导性的研究在固态物理学中依旧是一个亟待解决的难题。从 1941 年以来，巴丁就没有对这个问题进行过深入的研究，但是当他拿出 10 年前的笔记时，他感觉到这个问题又是那么的熟悉。

在战前对超导性的研究中，巴丁把重点放在了超导材料电子结构的能隙问题上，伦敦兄弟在其著作中强调了这一概念。巴丁曾经试图用单电子量子力学模型来解释能隙。他曾经研究过是否能够通过对晶格施加较小的周期性畸变来减少能量，并在费米面的附近产生带隙。那个方法没能奏效。但他依然确信能隙对于解决这个现象是至关重要的。他不能解释原因，也不能说明隙的存在。这个问题产生的挑战性使他摆脱了在肖克利手下干活的苦恼，也让他开始从事最为重要的科研工作。

巴丁采用对付其他问题的方法来解决超导性问题。他考虑如何把这个问题分解为一些小问题，并到图书馆去查找在他之前科学家们所做的研究。他很高兴地找到了许多支持伦敦兄弟的能隙概念的新证据。到这个时候，已经有许多实验家在研究超导性了。他们包括皮帕德、费尔班克（William Fairbank）、伊曼纽尔·马克斯韦尔（Emanuel Maxwell）、马库斯（Paul Marcus）、当特（J. C. Daunt）、门德尔松（Kurt Mendels-

sohn)、古德曼(B. Goodman)、A·布朗(A. Brown)、泽曼斯基(Mark Zemansky)、波尔斯(Henry Boorse)、考拉克(W. Corak)、廷克汉姆(Michael Tinkham)以及格拉夫(Rolfe E. Glover)。

1947年,巴丁同肖克利一起去欧洲旅行的时候,曾经在剑桥大学遇见过勋伯格的学生皮帕德,他现在已经是剑桥大学的教授了。皮帕德在普通锡以及超导锡的表面阻抗的研究上支持伦敦理论,美国耶鲁大学的费尔班克和麻省理工学院的由马克斯韦尔、马库斯和斯莱特组成团队所进行的相关实验工作也同样如此。

1950年5月15日,巴丁接到一个电话,让他重新开始关注超导性。[61]新泽西州新不伦瑞克附近拉特格斯大学物理系的一位实验物理学家塞林(Bernard Serin)想要同巴丁讨论他们研究小组最近新发现的一些成果。[62]通过研究汞的一些同位素,塞林小组发现了某种清晰而明确的"同位素效应":质量越轻、温度越高的材料越容易产生超导。他们所使用的稳定纯水银的同位素,质量数在198~202之间,是由橡树岭实验室通过中子轰击黄金,用质谱仪分离获得的。它们是战时的原子弹项目的产物。那时在国家标准局工作的马克斯韦尔通过研究洛斯阿拉莫斯国家实验室的同位素,独自发现了同位素效应。[63]

塞林的同事托里(Henry Torrey)在二战期间曾在麻省理工学院的辐射实验室从事晶体整流器的研究,被同事们称之为"晶体破解之父"。他记得"塞林得到结果之后就来告诉我",他"非常兴奋"。[64]质量起作用的事实,暗示着晶格也起作用。托里记得,这一观察结果"立刻让塞林想到了电子和声子之间的相互作用"。那就是塞林想和巴丁讨论的问题,塞林听说巴丁对超导性"了解很多"。

第二天,巴丁在一张便条上潦草地记下了塞林的电话内

容:“这些结果表明,电子同晶格的相互作用对于超导性来说是重要的……它们对于电子的自由能的影响也很重要。”[65]巴丁在接下来的数天中竭力用这一新的启示来复活自己早先的超导性理论。在明尼苏达大学的研究中,他未能通过晶格的周期性畸变来降低能量,现在他则开始尝试晶格的涨落。尽管未能奏效,但是他相信自己正在朝着正确的方向前进。为了取得优先权,他赶紧给《物理学评论》写了一封有关他正在从事该研究的信。[66]

在科学史上,一些主要的发现往往是以两人或多人形式做出的。无数个例子证明,一些重大的科学理论被同时发现,包括[迈耶(Mayer)、焦耳(Joule)、开尔文(Kelvin)、亥姆霍兹(Helmholtz)等的]能量守恒定律,[克劳修斯(Clausius)和开尔文的]熵原理,[牛顿和莱布尼兹(Leibnitz)的]微积分,(达尔文和华莱士的)进化论,(海森伯和薛定谔的)量子力学的数学表述以及(费恩曼、施温格尔和朝永振一郎发现的)量子电动力学。[67]

是什么原因带来了这些同步发现呢?包括库恩(Thomas S. Kuhn)在内的科学史学家发现这个问题很有意思。这是直接或间接交流的结果吗?这是否来源于某个领域或某个研究团体的“成熟”?它是否取决于某种知识或思想状态内部的联系——“某种流行的东西”?抑或这只是一种偶然?无论是什么样的解释,到20世纪50年代初,包括巴丁在内的几个研究者都得出了这么一个假说:电子—声子相互作用对于超导性来说是至关重要的。[68]

即使是在马克斯韦尔和塞林完成他们的实验之前,1950年春,从利物浦到普渡大学的英国理论物理学家弗洛里希(Herbert Fröhlich)写了一篇有关超导性理论的论文,预测了同位素效应。当弗洛里希从《物理学评论》中得知确定的实

验结果后一两天，他马上写了一封信给《皇家学会学报》(Proceedings of the Royal Society)要求得到优先权。[69]弗洛里希和巴丁之间的竞争一直在进行。

在巴丁发出那封信之后，弗洛里希正好到贝尔实验室来访问。赫林回忆道："科学家们来访问贝尔实验室是一件很平常的事情。"[70]在那次特殊的访问中，弗洛里希和巴丁讨论了各自有关超导性的研究工作，讨论的气氛无疑有些紧张。巴丁后来记录了他们之间的这次谈话，但没有提及他们之间的竞争："尽管我们的方法存在着数学上的困难，但是最终我们都确信，我们正在沿着探索超导性的正确道路前进。"[71]

尽管巴丁和弗洛里希的理论都解释了同位素效应，但是他们都未能解释超导性。问题在于两人都把研究的重点放在单个的电子能量上。要解释超导性，就有必要对多个电子之间相互作用所产生的能量进行研究。当时可以获得的数学描述形式还是有限的。

让巴丁和弗洛里希感到困惑的基本问题是，是否能找到一种相互作用，可以让超导态的总能量低于正常态的能量。他们意识到，如果电子—晶格相互作用能导致总能量降低的话，就必然存在某种吸引力。而且，这种相互作用必须支配电子之间的一般排斥力。巴丁和弗洛里希在1950年提出的理论未能说明这一点。

在努力解决超导性问题的时候，巴丁依然感到自己在贝尔实验室是孤立的。后来，他这么告诉凯利："实验室里几乎没有人对这个问题感兴趣。"[72]巴丁渴望和同事们一起讨论超导性的问题，并请求鲍恩允许他建立自己的理论小组。要求再次遭到了拒绝。当巴丁提出自己和肖克利之间的问题时，鲍恩坚持认为，肖克利需要有指导自己小组的主动权。

正在这样一个阴暗的时期，突然出现了一线光明：他们得

知点接触晶体管的专利申请终于被批准了。巴丁一直担心不能通过,因为利林费尔德的专利使得他们提出的四项专利申请中的两项被否决,[73]包括1947年11月提出的布喇顿—吉布尼—巴丁的场效应专利。当时6岁的贝特茜记得父亲在一天晚上回到家,高兴地宣布:"我们得到了专利!"[74]她承认:"我不知道他在说什么,但是我记得自己抱住了他的膝盖。"不过这个安慰只是暂时的。

1950年10月,巴丁参加了在宾夕法尼亚西部坡科努山一个旅游胜地举行的有关"晶体的欠完美性和晶界"的会议。他和肖克利都准备在会议上递交论文。巴丁的老朋友弗莱德·塞茨也参加了会议。弗莱德和巴丁在秋天缤纷的落叶中促膝长谈。

约翰告诉弗莱德最近两年他在贝尔实验室的情况。他谈及了他对肖克利的失望以及自己无法从事结型晶体管的研究。他还告诉弗莱德有关他最近的超导性研究工作以及渴望与同事们讨论这个问题。"我确信自己要重返大学,"他得出结论,"现在的就业形势怎么样?"[75]

塞茨正是巴丁可以交谈的人。他从1932年就结识了肖克利,完全可以想象贝尔实验室的情形。他可以认同巴丁在一个不相关的环境中所遭受的挫折感。一年前,塞茨刚刚离开卡内基理工学院,到伊利诺伊大学任职。他在卡内基学院遭受的众多挫折中,包括校长助理"既不通知也不经过我们同意,就突然决定改变物理课程的设置"[76]。

塞茨告诉巴丁,他不太了解当前大学里的供职情况,如果他得到有关职位需求的消息,会马上和巴丁联系(他不想让朋友失望)。事实上,弗莱德回到伊利诺伊大学之后就直接去找工程系的主任埃弗里特(William Everitt)以及物理系的

主任卢米斯(F. Wheeler Loomis)。埃弗里特和卢米斯都非常愿意为巴丁提供一个职位。

不幸的是,在常规的预算中没有足够的资金聘用新的教授。[77]因为大萧条时期出生率下降,招生数减少了,而《军事法案》(GI Bill)正在大行其道。然而,埃弗里特和卢米斯都保证不放弃为巴丁提供职位的机会。埃弗里特向塞茨承诺他会想办法为巴丁指派一个职位。[78]

当塞茨把这个消息从埃弗里特转达给巴丁之后,他告诉巴丁要"保持冷静,系主任正在着手办这个事情"[79]。巴丁的回答是:"好的,伊利诺伊大学是个好地方。那正是我想去的地方。"

在大学教务长格里菲斯(Coleman Griffith)的帮助下,埃弗里特拿出一部分预算为巴丁安排了一个联合职位,一半属于物理系,一半属于电子工程系。[80]包括要求巴丁为工程系一个应用工程小组提供技术支持。塞茨感到系主任提出的10 000美元的年薪"对于巴丁这样高水平的人来说不太够"[81],他的工资应该随着晶体管的发明得到相应的增加。弗莱德告诉约翰:"你看,系主任提出10 000美元的年薪。如果你赖着不走的话,可以得到更多。"约翰答道:"够了。"

谈判在接下来的5个月中继续进行。其中的一个障碍是"在这样一个阶段改变生活是困难的,而且成本巨大……我将不得不重新建立我的养老金体系"。塞茨写信告诉巴丁他在伊利诺伊大学的近况:"我获得了最大限度的自由,随意从事自己感兴趣的课题。我想,如果你来这里任职的话,你也肯定会有这样的感受。"[82]他向巴丁保证他可以有一起工作的同事:"我可以肯定地说固态研究小组非常高兴你能够来这里工作。"巴丁倾向于接受物理系和电子工程系的联合职位,这可以保证他自由地从事自己的工作。[83]

1951年3月底，贝尔实验室终于采取了一些措施来改善巴丁的状况，这让他的决定变得更加复杂起来。肖克利的新上司、贝尔实验室物理研究部的新主任菲斯克认识到贝尔实验室有可能真的会失去巴丁。“某个星期五，”布喇顿回忆道，他和巴丁“走进菲斯克的办公室，告诉他我们不愿意再向肖克利汇报了”。到了“周一，我们就没有再向他汇报”。[84]菲斯克在3月28日星期三签署的一份备忘录表明，贝尔实验室固态小组被分成了两个独立的小组：由斯坦利·摩根（Stanley Morgan）领导的固态物理小组和由肖克利领导的晶体管物理学小组。巴丁和布喇顿被归入到摩根的小组。

“我还没有最终决定是否离开实验室，”巴丁在4月6日写信给伊利诺伊物理系的代理系主任艾尔米（Gerald Almy）。“一周前发生的重组让我在贝尔的形势较为有利，但是我还是倾向于来伊利诺伊大学。”[85]当塞茨在洛斯阿拉莫斯国家实验室碰到菲斯克的时候，他警告菲斯克贝尔实验室将要失去巴丁。“哦，不劳你费心，”菲斯克说，“我们已经搞定了那件事。”[86]

系主任埃弗里特于4月16日给巴丁写了一封信。这封信起到了关键性的作用。他在信中向巴丁保证，后者可以从事自己的研究项目，“绝不会要求你从事那些不是你自己选择的工作。”[87]埃弗里特作了详细的说明：“我们现有的项目并不意味着我们期望你从事类似的工作。”至于教学，“你完全可以自己选择，”他写道，“你可以把正式的课程纳入到自己的项目中去。”物理系正常的工作量是一个学期两门课，但是，“如果你感觉一个学期一门课对你的工作来说是最合适的话，那也没有关系。”

10天后，塞茨再次写信给巴丁，向他保证“同我交谈的每个人都非常热情，他们将尽量让你享受这里的生活”[88]。塞茨

还描述了大学的氛围以及增加收入的机会——比如部分或整个暑假从事军工项目。塞茨让妻子贝蒂写信告诉简有关住房的信息。[89]贝蒂在信中谈了他们最近的找房经历。他们在离校园不远的艾奥瓦大街绿树成阴的地方找到了一幢舒适而便宜的两层毛坯房。

4月28日,巴丁发电报给大学,决定接受这份工作。[90]他刚开始的10 000美元的年薪将由物理系和电子工程系共同分担。刚从埃弗里特那里听到巴丁接受大学职位的消息,塞茨就立刻发了一封热情洋溢的欢迎信。[91]

巴丁想要凯利知道自己离开贝尔实验室的原因,因为当初凯利聘请巴丁时,曾许诺给他充分的研究自由。肖克利嘲弄了那个诺言。既然凯利是贝尔实验室的负责人,巴丁认为应该让他了解全部真相。

5月24日,巴丁寄出了一封长达3页、措词严谨的信。他一开始简单解释了伊利诺伊大学的供职。他强调了大学许诺支持他的研究,无论自己从事什么方向的研究。他认为那很重要,因为他希望自己"至少在接下来的两三年"[92]从事超导性的研究。他还特别提到"收入及前景和贝尔实验室一样好"。然后他得出结论:"要不是我对在这里的境况感到不满,我是不会离开的。事实上,要不是你们让大家知道我打算离开实验室的话,我也收不到该大学的邀请函。"

"我的困难来自于晶体管的发明。"[93]他详细解释了他和布喇顿发明晶体管之后肖克利对他工作的阻挠。"在那之前,这里的研究气氛很好。"后来,巴丁写道,肖克利把所有有意义的项目都留给了自己:

> 起先,肖克利拒绝让小组(1170)的任何人研究这个问题(也就是除了布喇顿、吉布尼和我自己),然后只有在他需要解决自己的问题或想要通过实验来验证的时候

才用到我们。在大多数情况下，这些问题或者是他已经完成的理论工作，或者是他自己希望在以后从事的理论工作。简而言之，他利用小组来实现自己的想法。

每当巴丁试图改变肖克利的想法，继续对结型晶体管进行研究时，他总是遭到拒绝。巴丁写道，肖克利“对情况非常了解”[94]，这“是他既定的方针”。巴丁认为自己处于一种“无法忍受”的境地，他“不能对实验计划作出贡献，除非他可以同他的上司进行直接的竞争”。

在间接提到1949年春橡树岭实验室提供的职位时，巴丁告诉凯利：“在两年前更不利的情况下，我曾认真地考虑过离开实验室。”[95]巴丁还说，这种“无法忍受”的工作环境在他决定从事超导性研究之后变得更糟糕，他“当时同菲斯克谈论过”这一新研究方向。因为缺少实验室对他从事超导性研究的支持，他“感到孤立无援”。但是即使可以在贝尔实验室进行超导性的实验工作，“我认为自己在大学的环境下可以更有效地工作。这个问题的科学性要甚于实用性，学术界对此更感兴趣。”

巴丁明确指出他要继续从事半导体物理的研究。即便肖克利对晶体管持垄断态度，他认为伊利诺伊大学的环境对他进行这一领域的研究更“有利”。

> 在作出离开的决定之前，我再次探寻了同肖克利一起合作从事半导体项目研究的可能性。他的态度没有改变。他认为自己能够提供所需要的所有想法，他要手下的人按照他的思路工作，我对此是不满的。你们曾经提出过建立一个由我领导的独立的半导体小组，但是就我看来，这不是一个令人满意的解决方法。在我与肖克利进行的交谈中，他表示自己不愿意放弃在工作中的重要地位。[96]

巴丁在结尾处简要地重申了自己的要点：

> 总之，晶体管的发明导致了我无法以起到有效参与的方式组织并指导半导体项目。我可以从事超导性的研究，但是如果这将成为我的主攻课题的话，那么大学的条件更好。随着我年龄的增长，我觉得大学的工作可以让我自由地控制研究速度，那里将更适合我。因此我决定辞职。[97]

菲斯克和凯利都尽力想要改变巴丁的想法。他们提出加薪以及让巴丁建立自己的理论研究小组。但是巴丁并不感兴趣。“一旦巴丁决定之后，”布喇顿说，“那做什么都没有用了。为时已晚。”[98]

巴丁的辞职很可能导致了加州半导体工业的诞生。在他离开之后，贝尔实验室的高层领导意识到把一个重要的研究队伍交给肖克利的危险性。[99]到 1955 年，肖克利感觉到他在贝尔实验室的前途已经是“可望而不可及”[100]的了。他对于自己所从事的晶体管工作没有让自己发财而感到恼怒，于是他决定成立自己的公司。那年他搬到了加利福尼亚。

在西行的途中，肖克利到厄巴纳看望塞茨。和他一起的还有他的新配偶艾米·兰宁（Emmy Lanning），一个前些年肖克利在华盛顿特区认识的精神病学护士。她以战时的操作研究和当前的心理学理论为基础，帮他形成生产效率和创造力的理论。当肖克利和琼（那时得了子宫癌）的婚姻恶化之后，比尔和艾米因学术而产生了感情。

肖克利邀请艾米参与他在加州组建一个开创性研究半导体和晶体管的公司的计划。公司主要招收那些高“智商”[101]的科学家和工程师。她表示同意。他们最终结婚了。

塞茨记得那天“比尔打电话给我，问他们是否可以逗留几天。我同意了”[102]。肖克利告诉塞茨，现在他“正准备往西

部进发”。他准备回老家帕洛阿尔托。他“已经准备好了接受建议”。自从比尔和弗莱德一起乘坐那辆1929年产的迪索托敞篷汽车穿越西部至今,20多年过去了。1932年,还是学生的他们一起从帕洛阿尔托到他们东部的学校。塞茨记得早期旅行时的冒险经历——以及车上的小储藏柜里上了膛的手枪给他带来的不安。1955年肖克利再次拜访他时,他再次感觉到自己对肖克利的矛盾情绪。但是这次的感觉又有所不同。

贝蒂“不信任”肖克利。她同意收留肖克利,但对此并不感到高兴。“她为了我才同意的,”弗莱德说,“我们只能招待客人。”[103]这次拜访还引起了塞茨夫妇同巴丁夫妇之间关系一度紧张,但塞茨说“不是太严重”[104]。

肖克利乘飞机去哥伦布接艾米,然后驾驶着她的汽车到厄巴纳,住在塞茨位于艾奥瓦街的房子里。贝蒂对于比尔好几天都占用电话感到惊讶。“他占着电话,不停地给东海岸以及其他地方的人打电话。”弗莱德回忆道。塞茨的十几岁的儿子对于肖克利的来访感到很开心,因为比尔“会用他的手彩魔术逗杰克玩”[105]。

塞茨记得肖克利在无数的电话中,跟有钱的化学家贝克曼(Arnold Beckman)达成了一笔交易,后者同意为肖克利的新公司提供资金,公司成了肖克利的半导体实验室。这是后来众所周知的硅谷建立的第一家半导体公司。

在加州,肖克利的表现比他在贝尔实验室担任研究负责人的时候更为糟糕。他组建了一个出色的研究小组,但坚持所有的申请者都要接受纽约和旧金山的心理学家所主持的创造力测试。一旦他们被聘用之后,他就把他们当作助手。大多数人很快就离开了。离开的8人中(被肖克利称为“八个叛徒”[106]),诺伊斯(Robert Noyce)和摩尔(Gordon Moore)创立

了飞兆半导体公司，后来又创立了英特尔公司。公司倒闭之后，肖克利到斯坦福大学任教。20 世纪 60 年代末，他着重研究优生学，并因为宣扬种族和智力的遗传相关的理论而臭名昭著。[107]

在巴丁决定离开贝尔实验室之后，全家人开始搬家。有一个故事不大可信，但足以说明巴丁的性格。这个故事说，约翰把报春花小区的房子给一个买主看。当买主报出一个不错的价钱时，巴丁陷入了一贯的沉思之中。过了一段时间，巴丁还是一言不发。买主以为报价太低，于是抬高了价钱。但是巴丁还是一声不吭。最终巴丁获得比预期高得多的好价钱。[108]

巴丁一家买了一辆新车——绿色的迪索托——以帮助他们搬迁到西部。他们先到了麦迪逊，在那里逗留了一段时间，重续友情、重温亲情。[109]巴丁还参加了母校的一个有关低温物理的研讨会。他和同事们讨论了超导性方面的一些发展情况。约翰为看到了那年暑假来麦迪逊访问的维格纳而特别高兴。

巴丁在威斯康星大学教授的第一堂课有关固体的电子属性，授课形式很随意。那年的暑期班招了 20 个学生，还有一些旁听生。他把肖克利的新书《电子和空穴》(Electrons and Holes)用作教材。肖克利在巴丁那本书的内封上写着："致约翰·巴丁，他让这本书变为必需品。比尔·肖克利，1950 年 12 月。"[110]

第十章

回家[1]

1951年6月，全家人驾车驶往尚佩恩—厄巴纳，简看到大草原时喜出望外。她“屏住了呼吸，因为景色太壮观了”[2]。她曾对搬家感到忧心忡忡，尤其前一年春天约翰访问厄巴纳时，他从同事的妻子们那里带来了一些严重的警告：她们讨厌这个国家最肥沃的土地上一望无垠的玉米田和大豆田。许多人发现中西部是文化的空白区。

然而，简非常喜欢中心平原以及这个地区辽阔的天空所产生的空间感和自由感，有时它们因为暴雨的洗刷而变得更为漂亮。她喜欢绿色风景装点下的白色农庄和当地的野生动物，一片又一片绿树环绕的溪谷被留出作为公园和绿色走廊。在公路和铁路边，繁茂的草丛成了各种野生动物的藏身之所。在凉爽的清晨和黄昏，鹿、浣熊和雉鸡静静地在田野里散步。隼警觉地停在电线杆上，等待着猎食，而红翼的黑鸟则站在篱笆桩上嘹亮地鸣叫着。

经过伊利诺伊州时，约翰感觉仿佛回到了家。他很快就对厄巴纳和尚佩恩这对双子城产生了感情。在某种程度上，这里的环境有些类似于他青年时代的麦迪逊。

这两座伊利诺伊城市的历史可以追溯到1854年，当时伊利诺伊中央铁路横穿这个地区。铁路位于厄巴纳边界西侧两英里。火车站附近形成了一个小社区，当厄巴纳1855年想要吞并它的时候，当地的居民奋力反抗。5年后，这个火车站小

镇并入了尚佩恩。随着铁路为芝加哥提供了交通便利，尚佩恩成为这个地区的商业中心，这一点让厄巴纳的居民们感到恼怒。在其他产业迅速地替代了大豆种植之后，两个城镇都得到了快速发展，尚佩恩尤其如此。[3]很快两个城镇开始相互攻击，直到各自的统治体系把它们分开。横跨莱特大街的伊利诺伊大学成为两个小镇之间的界线，也成为了当地人活动和发展的中心。

巴丁夫妇在格林克劳夫特大街 55 号买了一块巨大的馅饼状空地，这是尚佩恩西部刚发展起来的地区。正在建设中的朴实的牧场式的房屋将会满足他们今后 40 多年的需要。房子离大学很近，但是尚不受喧闹大学的干扰。随着这个地区的发展，曾经从格林克劳夫特一直蔓延到远处的大片玉米地和大豆田逐渐被其他作物所取代，但是尚佩恩依然保持着小镇的气氛。这对于巴丁夫妇来说正合适。巴丁直率地说："我不喜欢大城市的生活环境。"[4]

新房子为每一个家庭成员带来了好处。简和约翰的大卧室正好对着后院。男孩们共用一间里面有好莱坞式的床的房间，贝特茜也拥有了自己的房间。[5]地下室是一个很好的娱乐场所，一张乒乓桌很快占据了它的中心。巴丁的学生和博士后们很快就会熟悉这里的环境。厨房不大，但很舒适。全家还在房子的后面建造了一个宽敞的日光浴室，既和厨房相连，又可以通向起居室。底楼到顶楼的窗子提供了开阔的视野，可以看到院子里的花草树木，让整幢房子充满了快活的大自然气息。

简迫不及待地在肥沃的黑土上开始了园艺工作。[6]那年春天，她在花园的每一个角落都种上了可以想得到的蔬菜种类。但当全家人结束两周的度假回来之后，她看到了纠缠在一起的长势过旺的植物。后来她学会了有选择地种植，很快花园

里面长满了茂盛的鲜花和蔬菜。

约翰和简对户外生活的不同看法表明了他们不同的兴趣和需要。约翰越来越喜欢打高尔夫，他把这项运动看作是放松，是训练注意力、竞争力的方法。他的技术日趋熟练。简则更喜欢园艺——打扫卫生，养花种草，让它们充分成长。尽管夫妇俩在生活中有许多共同爱好，但简和约翰还是保持着一定的距离，让对方追求不同的生活方式。

孩子们很快就在附近找到了朋友。他们家的院子在尚佩恩算是大的，对于吉姆和比尔来说是一个和朋友们玩捉迷藏的好地方。约翰偶尔帮助男孩们提高他们的棒球技巧：孩子们投球，巴丁接球；或者当孩子们练习击球技巧时，他追击搏出的球。比尔发现附近有个地方很好玩，但却经常弄伤自己，有时还不得不求助于他人，有时甚至要被抬着去看医生。当他们还住在撒密特的时候，一次，约翰走进家里，看到简忧心忡忡的脸，他问："他又怎么了？"[7]约翰觉得有时候不得不在比尔夸张的嚎叫声中抽打他的屁股。他不喜欢这样，但没有办法。

约翰不时地给孩子们带一些他认为有趣的书，其中许多同科学相关。[8]晚上，他喜欢用留声机放一些唱片。他总是说"他的乐器就是电唱机。"[9]他最喜欢莫扎特，贝特茜经常在"靡靡之音"中入眠。

约翰喜欢和孩子们玩一些适合他们年龄的游戏。"他喜欢和我们摔跤。"[10]多年后贝特茜有了自己的孩子时如此回忆道。他会"把我们扔到空中，让我们在他身上爬来爬去"。这是饭后的一项有趣活动。"我一直以为所有的父母都是这么对待他们的孩子的，"她坦白地说，"直到有一次我用其中最和缓的方式帮一个孩子翻跟头时，把孩子和母亲都吓坏了。"

格林克劳夫特的房子离尚佩恩的乡村俱乐部很近，巴丁加入了这个已经有500个会员的俱乐部。[11]俱乐部设在一幢配有空调的建筑物里。俱乐部有一片18洞的高尔夫球场，这为巴丁提供了无数个练习和竞技的机会。后来，巴丁常常会带客人们去那里吃饭。[12]当约翰外出打球时，简则通常在花园里劳作——她称之为"我的高尔夫"[13]。

婚姻和家庭生活成了简的生活中心。她主持家务以支持约翰的创造性工作，并以此为乐。与此同时，她也感觉到自己同约翰所热衷的物理学格格不入。他们这种平静的关系，类似于约翰的父亲查尔斯和母亲埃尔希娅之间的关系。简喜欢有人聊天，但是有一次她愁眉苦脸地说，约翰"在家里说话的次数并不比他和其他科学家在一起时更多"[14]。

他们有时候也会吵架。1956年夏，简在法国境内阿尔卑斯山夏蒙尼附近的普斯休度假期间得了一种怪病。当时约翰正在当地的一所暑期学校授课，约翰"认为我无心参加各种活动，对普斯休的一切不感兴趣是我脾气不好的表现，并直截了当地说我脾气坏。[15]结果，我固执地隐瞒了自己的疾病，直到这种'流感'、'病毒感染'或者其他什么病自动好转为止"。当她最后被确诊为伤寒的时候，她坚持让约翰和孩子们继续前往欧洲旅游，而自己则呆在瑞士养病。她那懊悔的丈夫在途中给她寄来了信件和慰问的包裹，并提出要和她呆在一起。[16]"非常感谢你的关心，约翰，"她回信道，"但是即便你到这里，也帮不上忙。"[17]

在无须从事家庭杂务、不必为约翰的学生或同事准备聚餐或露天烧烤时，简就把她的精力和组织能力投入到社区工作中。她加入了当地的多个俱乐部，包括音乐俱乐部——一个原先为培养会员们的音乐兴趣而组织的小型妇女社团。[18]当简成为会员时，这个俱乐部已经变得更像是一个读书俱乐

部了。她通过女选民联盟为消除种族歧视而斗争，并积极参加一个称之为“大学妇女”的组织，“帮助那些新来的人，因为这为她们进入一个新的社区打开了大门。”[19]即便她后来不再活跃于俱乐部，简还不时地参加那里的活动。举例来说，她曾在1956年举行的诺贝尔颁奖仪式以及1962年白宫举行的宴会上展示身穿的晚礼服。[20]

巴丁夫妇并没有宗教信仰，但简认为教堂既是一个结识他人，又是一个让孩子学习历史、文化和伦理道德的好地方。在他们搬到尚佩恩后不久，她“带孩子们去了第一长老会教堂，接下来又去主日学校教课”[21]。

当涉及孩子的宗教教育时，宗教传统再次被提了出来，这个问题自约翰和简结婚以来就一直存在。在撒密特时，简已经带孩子们去过长老会的教堂。约翰认为简“可能是唯一神派教徒”[22]，这种观点让简感到很吃惊。“为什么?”简问道。“你不是一个唯一神派教徒吗?”“不是，”他答道，“但我父亲是。”这是简第一次听到约翰谈论宗教倾向。若干年之后，当吉姆问简是否可以离开主日学校，因为那里的每个人都在“胡闹”[23]，简答应了。如果他在那里学不到什么，那么就没有必要去。比尔也退出了。贝特茜同意：如果简去教堂，她就去主日学校。简成了长老，贝特茜留在了主日学校。

约翰的母亲埃尔希娅是在贵格派传统中成长起来的，约翰的继母露丝是一个天主教徒，但是约翰一生都不信仰任何宗教。[24]一次，一个采访者问他一个有关宗教的问题时，回答让人很意外。“我不是一个信教的人，”他说，“因此很少考虑这个问题。”[25]然后他详细地阐述了他的个人信念：

> 我认为科学不能回答生命的意义和目的之类根本性的问题。有宗教信仰的人可以在信念方面找到答案。大多数的科学家对此不予考虑或者拒绝回答，但是他们确

实遵循某种道德观。对于一个成功的文明社会来说，为了我们共同的幸福，必须要有一种共同的道德价值观和道德行为标准。成功的文明社会可以有许多种相互兼容的道德价值观。当它们相互冲突时，分歧就产生了。

物理系的同事热心友好，他们热烈欢迎巴丁的到来。他可以自由地选择自己愿意从事的研究课题——既可以单独从事自己一贯喜欢的研究，也可以同他人一起合作。他可以讲授自己喜欢的任何课程，并随意安排工作量。

精力充沛的著名物理学家卢米斯那时刚刚把大学的物理系建设成为一个世界级的研究机构，他在 1929 ~ 1940 年以及 1947 ~ 1957 年担任物理系主任。[26]卢米斯曾经在纽约大学古根海姆基金的资助下去苏黎世度假，直到 1929 年伊利诺伊大学首次邀请他担任正教授和物理系的主任。卢米斯对于这个邀请并不感到受宠若惊。在卡曼（Albert P. Carman）的领导下，伊利诺伊的物理系在 1897 ~ 1929 年停滞不前。量子力学的革命对它没有产生任何影响。从纽约城搬迁到厄巴纳这样一个大草原小镇，卢米斯也不感到兴奋。[27]

然而，卢米斯认为这是一个把落后的物理系建设成为世界级研究机构的挑战性机会。[28]他已经获知，亚当斯（Roger Adams）也是在同样的条件下，在短时间内把落后的化学系建设成为一流的研究机构。工程学院的主任凯彻姆（Milo Ketchum）向卢米斯保证，他可以自由地建设物理系，并得到足够的资金。于是他接受了这份工作。（后来他才得知自己位列那些可能候选人的末位，其他人都拒绝了邀请。[29]）

这份工作比卢米斯原先预料的更为艰难，因为在他到达后不久，美国的股市就崩溃了，这样大学就无法提供原先许诺的各种资源。他还发现很难吸引那些物理学“明星”到厄巴

纳。拉比用幽默的言辞拒绝了他的邀请:“我喜欢铁路,讨厌奶牛。”[30]

卢米斯运用了查尔斯·巴丁的策略来招募新教师,后者用这一策略成功地建设了威斯康星医学院。他把招聘的重点放在那些有前途的具有博士后文凭的科学家:“他们年轻有为,有想法但是不那么出名。我们不选择那些不愿冒险、业已成名且招聘成本较高的科学家。”[31]1930 年,卢米斯引进了年轻的核光谱实验学家艾尔米,他后来成了卢米斯的继任者。差不多与此同时,他又聘用了另一位光谱学家克鲁格(Gerald Kruger)[32]以及核物理学家科斯特(Donald Kerst),后者后来发明了世界上第一台电子感应加速器,用来研究基本粒子。卢米斯在 1937 ~ 1941 年招聘了 12 名年轻的物理学家。[33]这样,物理系教师的平均年龄从 1929 年的 55 岁降到了 1940 年的 32 岁。[34]

后来,二战驱散了卢米斯带到伊利诺伊大学的大部分物理学家。[35]他和几个物理学家一起到麻省理工学院的辐射实验室工作,自己成了实验室的副主任。卢米斯在 20 世纪 30 年代招聘的三分之二左右的教师在战争期间去了其他地方,这迫使他在 1947 年重返伊利诺伊大学之后再次承担起繁重的重建任务。

这一次,卢米斯依靠他那强有力的同事关系网来招聘教师,包括他那在麻省理工学院辐射实验室的朋友赖德诺尔(Louis Ridenour)。赖德诺尔在加利福尼亚理工学院研究新兴的高压物理学(后来发展成了高能物理学),并获得了博士学位。卢米斯鼓励赖德诺尔接受伊利诺伊大学提供的研究生院主任一职。在接受了职位之后,赖德诺尔又说服了埃弗里特来当工程学院的院长,他从 1944 年以来一直担任电子工程系的教授。埃弗里特在电话、无线电和天线系统方面已经有

了众多的发明，当时正从事美国最为重要的一个工程项目。

在1949～1951年这多产的几年中，卢米斯、赖德诺尔和埃弗里特共同合作，把伊利诺伊的工程学院建设成为世界一流的研究机构。他们认为在固态物理方面建立一个强有力团体的时机已经成熟。赖德诺尔可以提供大量的种子基金——包括提供两个高级职位、三个初级职位的工资以及建立一个新型实验室的资源。管理层很快就利用“校友关系网”[36]确定了人选，之后办理了各种手续。

在希望花较少的钱招聘到理想的老师时，卢米斯自如地利用与同时代其他物理学家之间的个人关系。在一个歧视犹太人以及其他少数人种的时代，他的正直使他获得了许多同事的尊重。[37]某些人由于他为一些犹太背景的科学家提供职位而对他提出“警告”，对此他感到愤怒。数年以来，他拒绝根据宗教或种族来作出聘用决定，这种策略终于有了回报，他吸收了其他大学不愿考虑的人才。同样，卢米斯也拒绝20世纪50年代初反共狂潮的影响。卢米斯在1951年聘用的戈德瓦泽（Edwin Goldwasser）相信“卢米斯聘用我是因为我拒绝签署忠诚誓言”[38]。一名物理学教授招收了一个共产党员学生后，“系里的老师对这个教授的态度就大变了。”[39]

赖德诺尔在固态物理专业聘请的第一位老师是塞茨，塞茨于20世纪30年代在宾夕法尼亚大学供职时期、在战时的麻省理工学院的辐射实验室工作、在20世纪40年代担任卡内基理工学院物理系主任时期，都是物理学界的知名人物。赖德诺尔劝塞茨到伊利诺伊大学任教，提供包括“相对于当时来说的一大笔钱”[40]以及在固态物理研究部门一些职位。

尽管贝蒂·塞茨对于生活在中西部持保留态度，但她还是“爱上了”这个地区。她和弗莱德都认为当地的景致有“许多大海的品质”：

……天空和旋转的大地之间丰富的互动关系，正如天空和起伏的海浪之间的关系。壮观的日落和风暴出现在广袤的大地上。同大海一样，大地在一天的不同时刻和一年的不同季节呈现出千变万化的景象。[41]

塞茨发现大学的学术氛围是融洽的。“没有任何激烈的竞争。”[42]他成了新的固态物理学团队的主任。卡内基理工的莫勒(Robert Maurer)和科勒(James Koehler)跟随塞茨一起加入了固态物理小组，并成了小组的副教授。1949 年，另外 4 个年轻教师也加入了塞茨的固态物理小组，他们是芝加哥大学的拉扎勒斯(David Lazarus)、卡内基理工的马波瑟(Dillon Mapother)以及哈佛大学的施耐德(James Schneider)和斯利克特(Charles Slichter)。拉扎勒斯曾请求塞茨为他介绍一份工作，于是塞茨代表拉扎勒斯同卢米斯进行联系，他在塞茨到来之前就在伊利诺伊大学就了职。[43]巴丁到来时，伊利诺伊大学的物理系已经和康奈尔大学的一起，成为美国在固态物理方面最领先的两所大学的研究机构。[44]

物理系还在其他方面得到了发展，包括核物理学。1950 年，新的 300 兆电子伏的电子感应加速器上线了。1951 年，在精力充沛的赖德诺尔的领导下，伊利诺伊大学通过设计并建造了两台大型的数字计算机，在计算机革命中取得了主导地位。其中第一台被称为 ORDVAC，被送往军方设置在马里兰州的阿伯丁试验场；第二台被称为 ILLIAC(Illinois Automatic Computer 的简称)，它留在厄巴纳，并成为了“校园里最忙碌的机器之一”[45]。

卢米斯领导下的物理系士气格外高涨，物理系的每一个成员都参与了它的建设。卢米斯邀请教师们来帮助他确定“卢米斯名单”[46]，名单排名根据教师们的工作表现和他们对物理系的贡献而定。他那“奇妙的聚会”[47]营造了一种家庭般

的气氛。他所倡导的传统(一直沿用至今):鼓励教师们在大厅里,或是在各自的办公室、实验室就物理学问题进行非正式的交谈。上午 10 点左右,大多数的物理学家会到物理系的休息室喝咖啡,顺便与同事们谈论工作或讨论最近的学术文章。午餐时,他们则会以固定的小团体形式进行交流。[48]

朝鲜战争时期所提供的大量资金也使物理系的士气大涨。[49]20 世纪 50 年代,固态研究小组的大部分资金都来自于海军研究局(ONR)或者原子能委员会(AEC)。二战期间科学家和政府官员之间所发展起来的个人关系,使得政府和大学之间的资金流通变得更为通畅。举例来说:塞茨是海军研究局的首席科学家皮奥里(Emmanuel Piore)的诸多朋友之一,[50]他和其他人如里斯(Mina Rees)以及罗伯逊(Randal Robertson)一起决定日常的基金问题。"每个人都是曼尼(皮奥里的昵称)的朋友。"[51]那些有研究项目的科学家通常只需要在纸上写上某个项目的情况就可以得到基金,诸如资助一个研究者或者一两个研究生助教之类的一般申请照例也会得到批准。[52]

巴丁所加入的新物理学团体扩展到了全球。自从 1953 年巴丁在日本参加为期一个月的国际理论和应用物理联合会所召开的一次会议之后,他差不多每年都要去国外。为了那首次难忘的日本会议,他和塞茨雇了一架军用飞机,进行了长达 37 小时的飞行。[53]就塞茨看来,巴丁"这次旅行受到极大关注,因为当时日本已经对晶体管的研究产生了浓厚兴趣"[54]。约翰写信告诉简:"我平生从未见到过那么多的闪光灯。"[55]他告诉日本的科学家:"在你们取得了如此杰出成就的领域发表演说,就好像是画蛇添足一般。"[56]

在此次旅行中,巴丁遇到了许多日本科学家,他们将在巴

丁的余生中成为他的同事和朋友。其中包括中岛贞夫(Sadao Nakajima),他提交了一篇有关超导性的电子声子相互作用的短篇论文。会议上没有时间让科学家们讨论彼此的研究工作,巴丁请中岛在名古屋的火车站同他会面。因为巴丁将从京都坐火车回到东京,途经名古屋,火车将在那停靠几分钟。"因此我去了火车站,"中岛后来说,"在火车停留时我通过火车的车窗同他进行了短暂的交谈。"[57]中岛还把自己的一篇日文著作送给了巴丁。巴丁在回到伊利诺伊之后把它翻译成了英文。后来中岛接受巴丁的邀请对厄巴纳进行了访问。

巴丁还碰到了鸠山道夫(Michio Hatoyama,乔治)——他的叔叔是日本首相——和菊池真琴(Makoto Kikuchi),同他们建立了终身的友谊,他们共同在日本东京国际贸易和工业部(MITI)的电气试验所工作。鸠山在1953年巴丁的漫长旅行中招待了这位美国同事。后来,巴丁写信说日本之行是"我一生中最重要的旅行之一"[58]。

1960年,鸠山离开了电气试验所,领导索尼公司新建的实验室。他的一个最好的朋友财津岩间(Kazuo Iwama)曾经是索尼公司晶体管小组的负责人。[59]1952年,公司建立时称东京通信工业公司,当时井深大(Masaro Ibuka)和他的合作伙伴盛田昭夫(Akio Morita)对结型晶体管的专利权进行了投资。他们因生产安装晶体管的产品发了财,1958年公司改名为索尼公司。到1974年为止,菊池一直担任索尼研究中心的负责人。[60]巴丁经常访问索尼公司,是那里的贵宾,公司偶尔也会送一些学者或科学家去伊利诺伊大学。[61]巴丁经常向他的日本同事们发去介绍信,推荐那些即将访问日本的朋友。[62]他也经常招待到美国来的日本学者。

巴丁初次有纪念意义地造访日本3年后,写信把他的学生哈隆雅克介绍给鸠山和菊池。哈隆雅克当时被招募到美国

的信号部队，并将在日本服兵役。他成为伊利诺伊大学第一个持有著名的索尼终身教授职位的人，而这个职位设立的初衷是为了纪念约翰·巴丁。

1951 年秋遇见巴丁的时候，哈隆雅克还是电子工程系一个二年级的研究生。1951 年秋，他上过巴丁为本科生开设的原子物理课（物理 381），发现从巴丁那里“学到很多东西”[63]。于是他在 1952 年春急匆匆地选了巴丁第一次在伊利诺伊大学开设的半导体课程。这样的课程在美国大学中也是首次开设。

巴丁在 1951 年夏开始备课。8 月，他写信给菲斯克，询问贝尔实验室是否能给他们提供一些材料，包括点接触晶体管和结型晶体管在内的几种晶体管、锗块、锗棒以及其他的锗或硅的样本，他可以通过这些材料来测量电阻系数或霍尔系数。他希望能够尽快得到这些材料，“这样我们就可以开始进行实验。”[64]菲斯克同意了。

1951 年秋，巴丁在厄巴纳举行了第一个有关晶体管的研讨会。这次讲座深深地印在了哈隆雅克的记忆之中。巴丁带着一个安装着晶体管的盒子来做演讲，“盒子大约八九英寸或十英寸长，六七英寸或八英寸高，三四英寸厚。”[65]这是 1949 年贝尔实验室为他制作的音乐盒。盒子的“前方有一个扬声器，它包括安装在几个插座上的两个点接触晶体管和一块电池”。但是盒子所起的作用要比盒子本身看上去令人吃惊得多。

> 他一接通电源，这玩意儿就开始播放，我几乎要从座位上掉下来了。因为我已经是一个研究生了，知道如何用真空管来制作小玩意儿：你把它打开，然后等待着钨丝被加热，要等上很长时间，它才会起作用。但是这个玩意儿却很神奇，一接通电源就起作用了。我立刻明白了，

“哦,这个家伙给我们带来了一个不同寻常的玩意儿。”

哈隆雅克记得巴丁在讲授有关半导体和晶体管的新课时,把一个活页笔记本放在他的前臂上,手指钩住笔记本的顶部。他再次使用了肖克利的教材《电子和空穴》。[66]巴丁告诉学生们,科学家们在二战期间一直研究用于雷达的金属—半导体结。为了方便解释,他在黑板上画了一个图表,“把金属势垒画在左边,把半导体势垒画在右边。”哈隆雅克说,“我记得他用粉笔指着空穴,面带微笑,这只是一种暗示性的微笑,然后说,如果肖克利曾经发现这些空穴是如何起作用的话,那么晶体管早就发明了。”[67]

巴丁提到德国的物理学家肖特基是一个诚实的见证人,见证了他对晶体管发展史作出的重大贡献,承认他和布喇顿对于空穴注入锗的研究工作是晶体管发明的关键。肖特基和英国的物理学家莫特是最早建立有效的半导体—金属界面整流理论的科学家。1938 年,肖特基在西门子的实验室工作,他把整流效应归因于界面的可见势垒,势垒由于反向电流中的外加电压而增强,由于正向电压而降低。1945 年,当肖克利的场效应设计让巴丁开始晶体管的研究时,莫特—肖特基理论正处于整流物理学研究的前沿。但是这一理论并没有解释巴丁在 1946 年提出的表面态理论,也未能解释在巴丁和布喇顿的晶体管中起到重要作用的空穴。

当哈隆雅克得知巴丁准备建立一个半导体实验室时,他认为这是个他得以“参与到这个新型而独特的研究中去的机会”[68]。他请教导师——电子、控制论和计算机工程师冯·弗斯特尔(Heinz von Foerster)——他是否可以成为巴丁的学生。冯·弗斯特尔答应了。

巴丁和他的第一个研究生很快成了朋友,但是这种关系看起来并不可靠。巴丁来自于中产阶级的知识分子家庭,哈

隆雅克是一个伊利诺伊南部矿工的儿子。哈隆雅克同成熟、说话温和、沉思的巴丁不同,他年轻、喋喋不休、精力充沛。数年后,《尚佩恩—厄巴纳新闻公报》(Champaign-Urbana News Gazette)认为哈隆雅克"生龙活虎,而巴丁则枯燥无味;他感情奔放,而巴丁则沉默寡言"。[69]贝特茜认为哈隆雅克是一个"健谈、外向、热情奔放的人"[70],她的父亲与之关系密切,正如与约翰的哥哥比尔、布喇顿和奥斯特豪特等一样。

哈隆雅克本能地理解巴丁和布喇顿紧密关系的双重性。他认为布喇顿在20世纪50年代频繁造访厄巴纳是因为"他想念自己的搭档"[71]。在某一次专门的造访中,哈隆雅克碰见布喇顿和巴丁在半导体实验室一起工作。布喇顿一边在黑板上潦草地书写,一边兴奋地比划着和巴丁交谈。他在某个计算步骤上出了问题。最后,巴丁介入到布喇顿的问题之中,一边在黑板上写数字和符号,一边低声解释。布喇顿透过镜片上方看着巴丁,然后退后几步赞赏地看着巴丁的解答方法。"见鬼,约翰,"布喇顿激动地说,"你到底是怎么搞出来的?"对于哈隆雅克来说,巴丁在这种关系中处于"领导"地位,而沃尔特则是"帮手",同时也是两人交谈中说话较多的一位。

巴丁在电子工程系继续从事半导体物理方面的研究。他的一个目标是在电子工程实验室(EERL)建立一个半导体实验小组。哈隆雅克和西林(Richard Sirrine)是最早进入半导体实验室的两个研究生;最早的两个博士后研究人员是物理化学家小哈里·利托(Harry Letaw, Jr.)和固态物理学家莫里森(S. Roy Morrison)。巴丁给予他们父亲般的非正式指导。[72]

1952年秋正式成立的半导体实验室起先设在那个原先存放该大学那台具有历史意义的计算机ILLIAC的大房间里。

当巴丁的研究小组开始组建实验室的时候，这台十英尺长、两英尺宽的计算机就已经开始运作了，当它被搬到另一幢房子里的时候，就留出了一个足够宽敞的工作间。巴丁的研究工作也在另一种意义上取代了 ILLIAC。由真空管组成的 ILLIAC 在半导体技术发明之后很快就被淘汰。这台庞大的计算机需要如此多(2800 个)真空管来运行 40 位的并行存储器，而且要许多学生不定期地提着装有大量真空管的篮子来替换损坏的元件。[73]

巴丁提出资金申请以资助他的学生，并为半导体实验室配置设备。哈隆雅克和其他科学家一起组装那些无法购得的设备。尽管实验室得到了政府机构(如海军研究办公室和空军研发办公室)的资助，但赞助数额并不高。巴丁一直保持着“节俭意识”，埃尔希娅在他小的时候就已经注意到了这一点。小组的一些成员抱怨他在申请资金时过于客气。他们认为像巴丁这样杰出的科学家，应该拥有配备最尖端的材料和设备的实验室。哈隆雅克很快就发现他的导师“无需任何奢侈的装备”[74]。他所关心的是，是否有好的研究课题。“他不需要任何东西来支撑自我，”因为“约翰·巴丁知道他是约翰·巴丁”。

巴丁认为理论家和实验家都应该像他那样，具备坚实的实验基础。他派了早期培养的一些研究理论的学生(如施里弗)去半导体实验室工作，体验实验的滋味。“我认为即便是理论家也应该具备一些实验方面的经验。”[75]后来巴丁认识到：如果要一个学生高效率地完成一篇论文，那么同时学习理论和实验对他们来说是一种过高的期望。

一个不足为信的故事讲述了巴丁如何让他最早的两个研究生——哈隆雅克和施里弗——选择进行半导体研究还是超导性问题研究。据传他这么说道：“如果你足够努力的话，那么对半导体问题的研究肯定会有成果。超导性问题则不同，

它可能带来难以置信的伟大成果，但也有可能一无所获。”[76]这个故事很逼真，但实际上是虚构的。因为哈隆雅克从一开始同导师合作就一直在巴丁的半导体实验室工作，他从未考虑过更为理论化的超导性问题。而且，当施里弗开始考虑某个理论研究项目的时候，[77]哈隆雅克已于1954年完成了他的论文，并到贝尔实验室工作。

巴丁后来招收了一名研究理论的学生布雷（James Bray）。后者认为自己学到了巴丁的一种偏好：没有实验室经验，却把研究工作建立在实验的基础之上。“不知什么原因，[78]那时我已经培养起一种强烈的愿望，希望同实验家呆在一起。”布雷承认，“这一切发生得很自然，有些理论家总是喜欢和理论家呆在一起，整天谈论理论。”那绝不是巴丁的风格。“约翰有时候会称这些人为‘理论家的理论家’——他不会像有些人那样，使用一些褒扬的词汇。”布雷说，巴丁“认为把精力放在研究实验数据之上，并根据这些数据作出判断对理论家来说非常重要”。他并不欣赏一个“整天坐着思考一大串方程式……不管这些方程式最终是否同现实问题相关”的理论家。

在半导体实验室的最初几年，巴丁几乎每天都会到实验室，看学生在忙什么，并看看他们是否需要帮助。他总是针对正在使用的材料问各种问题。尽管他从未“拿过一把镊子”[79]，他还鼓励学生自己去找到设计一个实验并解释实验结果的方法。巴丁很欣赏哈隆雅克在实验室的动手能力，正如后者欣赏前者一样。哈隆雅克很快就知道他的导师并非解释实验细节问题的最佳人选。在了解巴丁之前，哈隆雅克“在巴丁进来的时候跑到他面前，然后问：‘做这个实验，我该用氢气氛还是真空呢？’”巴丁“只是一言不发地看着我”。过了一会儿，“我开始明白他并不从事实验工作。我在请教他并

不熟悉的工作。他什么也没有说，因为他没什么可说的，没有很好的理由，他是不会说话的。”

当哈隆雅克在1954年去贝尔实验室时，博士后的汉德勒(Paul Handler)因工作关系来到半导体实验室。当巴丁写信给政府支持汉德勒缓役时，他强调了这个工作的重要性。巴丁在信中写道：“我们知道苏联正在以比我们更快的速度培养科学家，因此尽可能地利用我们的科学家就成为迫切的要求了。”[80]汉德勒记得巴丁“了解半导体物理中的重要问题所在”[81]。而且，他“还非常了解其他实验室的工作”。举例来说，汉德勒“并不了解布朗大学已经在进行超高真空的工作”，但是巴丁知道，他“派我去那里了解研究的进展情况”。

巴丁逐渐地把实验室的管理权移交给了汉德勒。起先，“他一周来两次，或许是三次，看看实验进展的情况。”[82]过了一阵子之后，“他一周来一次。”到1962年，巴丁很少到半导体实验室来了。现在他也不用为申请助学金或为研究生操心了。最后，汉德勒“只要签上自己的名字就行了。这样就在实质上完成了接班”。

哈隆雅克在贝尔实验室不到一年要去军队服役。巴丁非常关心他的职业。他告诉哈隆雅克尽量去政府的实验室任职，这样就可以继续进行研究。巴丁和善地鼓励他：“如果可能的话，我希望你在离开之前修订你的论文以便发表。你干得很不错，它不应该被埋没在政府的报告之中。”[83]他发出第一次邀请(此后还有一系列邀请)，请哈隆雅克回到厄巴纳的“家”：“要是你想回到伊利诺伊，请告诉我。我相信我们可以把教学和研究结合起来，做些事情。”

5周后，巴丁再次写信给哈隆雅克：“我知道这产生的间接压力很大。如果你愿意加入到伊利诺伊大学的教工队伍的话，我们当然欢迎你回来。”[84]1955年10月，哈隆雅克娶了杰

格(Katherine Jerger),她当时正在纽约大学念研究生。在他去军队服役的两年里,她回到了家乡芝加哥,并在那里接受了一份教师的职位。

当哈隆雅克获知他将驻扎在日本时,巴丁鼓励他打电话给鸠山和菊池。巴丁写信给哈隆雅克:"[鸠山]是一个不错的人,我相信他会很高兴地同你会面。"[85]在接下来的8个月里,哈隆雅克"每隔一周"就去拜访日本的科学家,他们成为了好朋友。鸠山写信给巴丁说哈隆雅克是一个"不错的家伙,总是谈论他的妻子"[86]。

1957年秋,哈隆雅克重新开始产业研究,在接下来的6年中,他在通用电气公司工作。巴丁不时鼓励他回到伊利诺伊大学。他于1959年写信给哈隆雅克:"我认为在大学里会有一些实在的好处。"[87]4年后,当哈隆雅克最终回到厄巴纳时,巴丁又恢复了定期拜访年轻朋友的半导体实验室的习惯。

给大量的学生上课对巴丁和某些学生来说依然是一件烦恼的事。许多学生既不能理解他那低沉的声音,[88]也无法搞懂他的沉默。对某些学生来说,他因思考而频繁的停顿以及写在黑板上的潦草方程式具有一种催眠的作用。有时候他写粉笔字的力度如此之弱,以至于几乎无法辨识。[89]因此坐在教室的前排就显得尤为重要。安迪·安德森(Andy Anderson)记得他在三楼听过巴丁的一堂课:"结束了前一堂课之后,我们都飞奔上楼梯去抢一个前排的座位。"[90]

20世纪50年代中期,在每年的物理系聚会上,物理系的研究生都被要求用一个幽默小品来讽刺他们的教授。从1953年秋天开始跟随巴丁学习的施里弗"穿了一件蓝色的西装、一件白色的衬衫,戴了深蓝色的领带"[91]。他走上舞台,"开始对着舞台上的一群学生讲课,他细声细气地说:'你要

睡着了，你要睡着了。’”他很担心自己的导师对这个拙劣的模仿会有什么反应。当学生们对施里弗委婉的嘲笑报以大笑时，他看到巴丁的脸一下子涨红了。在接下来的那节课上，巴丁不怀好意地笑着说，他已经为他的讲演预留了听众席，“这样他们可以睡得更舒服一些。”施里弗怀疑简“帮助巴丁想出了这个聪明的举动”。

有些学生觉得巴丁在解释学生的提问时，总是用同样的几句话来回答，这让他们感到不安。“他只是一味地重复，几乎像一台录音机。”[92]这种教学方法对于那些不能理解他解释的学生来说毫无帮助。许多学生最终放弃了他的课程。[93]

其他一些学生则感觉巴丁的教学方法特别激励人。他那停下来思考的习惯给他们提供了同样进行思考的机会。“听他的课棒极了，”哈隆雅克回忆道，“因为你被邀请和他一起思考。他一停下来就说明他正在思考。你意识到他在思考，你也就思考起来。”[94]巴丁把学生的参与看作是学习体验中一个最为重要的方面，这对本科生和研究生来说都是一样的。[95]他通过鼓励他们自己寻找答案来帮助他们培养自信。他会鼓励他们：“你能够解答的。”[96]

巴丁和他的学生——以及他们的学生——一起解释了朱克曼的“相互影响”[97]理论，这种理论认为，科学家们以某种社交的形式把他们的价值观传递给学生。巴丁的学生从他那里学会如何去识别重要的问题，如何去解决，什么方法有利于解决问题。就朱克曼看来，伟大的科学家不仅培养学生的“认知能力和技巧，而且培养适合他们在科学界发展的价值观、行为标准、自我形象和期望值。”[98]

巴丁的教学方法类似于他的父亲。医学系主任的巴丁以低沉地讲话和不干涉教学而著称。查尔斯希望他的学生能够“具备调查者的那种精神，乐于掌握有关自然现象的第一手

信息，愿意努力工作以发现真相”[99]。但是他也指出：“一个教师如果本身不具备这种调查精神的话，他是不可能激发学生去培养这种精神的。”父子俩的教学方法都要求学生们自信而有毅力。布雷说，“如果学生不具备这种品质的话”，那么巴丁“不会去鼓励学生”。[100]能够理解巴丁课程的学生，是那些能够参与到学习体验中的学生。他鼓励他们发挥自己的想象力，埋头于那些能够指导他们研究的专业文献之中。

即便是最优秀的学生也必须努力学习，以领会巴丁那跳跃性的思维。施里弗说：“通常，当他只是读出步骤 3、17 和 42 的时候，他似乎给出了一个合乎逻辑的解释。”[101]许多学生和同事无法填补缺失的步骤。施里弗自己采用一种“标准的技巧”以从巴丁那里得到更多的细节。他会说“一些有点错误的话”来激怒巴丁，让他“说出更多的东西”。

布雷说，为了教会学生如何解决问题，巴丁“会整理出问题的纲要，然后指出你应该去研究的方向——你应该去计算些什么”。[102]一天早上，“他走进教室，在黑板上写下了一些提示，然后就出去了。”尽管“完成这一切只花了五分钟”，但正是这些提示帮助了他们的计算。“凭借他的建议，我们在当晚就完成了计算。”

一开始，导师的这种交流方式让施里弗失去信心。“他经常坐上 8 到 10 分钟，一言不发，这让我非常不安。”[103]学生们会扪心自问：“我是不是做了什么愚蠢的事情？”巴丁的学生知道“他只是在思考。有时候你走出教室，门半开半闭，他则对着空荡荡的座位开始讲话”。对于许多人来说，交谈是一种有声音地组织还不完整思想的方式。施里弗逐渐“意识到，涉及严肃的科学研究的一般性谈话会由于语速过快而让人无法深入思考”。巴丁则给我们树立了另一种典范。“你应该整理你的思绪，删去大量你可能会说出口的蠢话。”长时

间的沉默之后，巴丁最后说出来的东西是“有意义的”。

巴丁在公众场合的讲话更为简练。他的同事萨支唐(Chih-Tang Sah)说，他只用“一句话，一个词或一句话来确定一个问题或一件事情。这样你就可以解决细节性的问题，或者他也会在黑板上给你一个简单的例子”[104]。

学生对于巴丁的教学方法看法不一。有些学生不愿向他提问，担心巴丁会以为他们非笨即懒。对另一些学生来说，尽管他的办公室始终向学生敞开，“但是他看起来总是那么忙碌，不会理会愚蠢的问题。”[105]对于那些向他提出简单问题的能力较差或不那么自信的学生，巴丁会礼貌地把恼怒藏在内心。但他不会浪费时间去解释那些已经在文献中得到很好阐述的问题。20世纪50年代同巴丁一起工作的丹·马蒂斯(Dan Mattis)尽量不去请教巴丁，除非自己对于某个问题已经有了一个大概的答案。“最好的策略似乎是尽量理解他大脑中的想法，然后尽快得出最后的答案。”[106]

另外一些学生觉得巴丁的办公室总是向他们敞开的。1975年完成博士论文的艾伦德(David Allender)说：“巴丁很容易找到。如果我想找他谈话，他总能抽出时间。”[107]在伊利诺伊大学念本科和研究生的亨利·包(Henry Pao)回忆道，他有问题时，“总是去巴丁那里讨教，并且不会感到害怕”[108]。巴丁不会作出很详尽的解释，但是“会给你一些引导性的东西让你去研究，从而让你理解问题”。包认为工程师“较为实际”，他们不会像物理学家那样把巴丁置于一个显要的位置，因而不敢向他提出一些实际问题。

同事们在研究中遇到问题时，也会请教巴丁。拉扎勒斯回忆道：“我遇到问题时会向他求教。”[109]有时科尔曼(Paul Coleman)会从工程系来到他办公室向他请教。通常他们会聊一会儿彼此所爱好的高尔夫球，然后科尔曼才提出他的问题。

他非常感激对方回答问题的方式，巴丁从不会说“你是说你不知道”[110]这样的话来让他感到尴尬。阿尔珀特(Dan Alpert)认为“人们如此尊重巴丁的一个原因是：如果你到他那里请教那些反映你知识水平的问题的话，你无须向他证明你自己”[111]。

当被问及巴丁是什么样的老师时，阿尔珀特的回答是：“这取决于什么样的学生。”[112]就他而言，巴丁“是这个校园里最伟大的老师之一，而他的学生则是系里最优秀的学生。他当然有自己的研究生，但是整个物理系的学生都是他的学生”。巴丁平等地对待每一个同事。“如果我要问一个特别的问题，他总能够切中问题的要害。他从不胡说八道，他给你留下的最终印象就是他对此知之甚多。”

在和学生们一起工作时，巴丁采取了一种人性化的方法。他是乔治·拉塞尔(George Russell)的论文委员会成员，当拉塞尔告诉委员会他不能够找到他所研究的某方面的论文资料时，巴丁坐在那一言不发。但是“当开题报告结束之后，巴丁走过来给我一个书单，上面开列了一些晦涩难懂的学术刊物”[113]。对于拉塞尔而言，巴丁似乎“了解他所从事的那个研究领域的一切”。

有时候，巴丁也帮助其他教授带的学生。惠特利(John Wheatley)建议他的学生安迪·安德森就某些实验数据求教巴丁。在计算液氦^{3}He 和某种固体的卡皮查界面热阻时，两位杰出的苏联理论家贝可拉维奇(I. L. Bekarevich)和卡拉尼可夫(I. M. Khalatnikov)在一个参数上存在分歧。当安德森在黑板上写下他的数据时，巴丁静静地在一边观看。年轻人说完话后，巴丁呆呆地坐在那里看着远方。

安德森不安地向门口走去，正准备去拉门把手，巴丁忽然开口说话了。他告诉安德森，他了解苏联科学家所从事的工作，他们犯这样的错误不太可能，但是他不愿意对这样一个没

有经过深思熟虑的问题下明确的结论。“于是我就溜走了，对自己用这样一个愚蠢的问题来打扰他感到很尴尬。”[114]安德森回忆道。然而，几个月后，巴丁向刚刚毕业的法国博士后贾沃雷(J. Gavoret)请教了这个问题，后者发现资料的来源有误，并把这个问题刊登在了《物理学评论》上。“直到那时我才意识到巴丁对我很认真。”

巴丁从未一次带好几个研究生(见表 10－1)。他在 20 世纪 60 年代早期的一个知名学生是麦克米伦。麦克米伦是一个真正意义上的个人主义者，他有明显的口吃，留着浓密的胡子，喜欢用独创性的方法来解决挑战性问题。在写论文的时候，他说服了巴丁让他运用蒙特卡罗(Monte Carlo)的统计样本方法来计算超流体氦的基态属性。这种状态类似于超导性状态，只是它的粒子没有电荷，液体无摩擦流动。巴丁对蒙特卡罗法知之甚少，但是他感觉自己可以相信麦克米伦，让他去判断这些数据是否可以应用到这个问题上。麦克米伦于 1964 年完成了他的博士论文，获得了物理系的年度最佳论文奖。

表 10－1　巴丁的研究生，1952～1974

学生姓名	论文题目	年份
保罗·J·勒尔冈斯(Paul J. Leurgans)	锗的激子和带声子杂质的原子之间的相互作用	1952
小尼克·哈隆雅克(电子工程系)	表面态对整流结特征的作用	1954
托马斯·诺兰·摩根	锗在液氦温度下的光电导性	1955
牛顿·伯纳德斯(Newton Bernades)	超导体基于能隙模型之上的比热理论	1957
丹尼尔·查尔斯·马蒂斯	量子理论的传导性问题	1957
J·罗伯特·施里弗	超导性理论	1957
R·C·西林(电子工程系)	对于 N 型锗的表面态问题的研究	1957

续表

学生姓名	论文题目	年份
迈克尔·弗朗西斯·米利亚(Michael Francis Millea)	硅内杂质扩散的重掺杂效应	1958
弥尔顿·威廉·瓦伦塔(Milton William Valenta)	锗内杂质扩散的重掺杂效应	1958
魏凌云(Ling Yun Wei,电子工程系)	在锗中银、铜、钴和铁的扩散	1958
斯蒂芬·雷诺兹·阿诺德(Stephen Reynolds Arnold)	对半导体表面进行离子轰击的效果	1959
威廉·马诺斯·波特诺伊(William Manos Portnoy)	纯净锗表面的电导	1959
理查德·埃尔默·库弗特(Richard Elmo Coovert)	硅上的表面磁致电导率实验	1960
皮沃塔·B·米勒(Piotr B. Miller)	在普通和超导金属中与频率相关的霍尔效应	1960
小罗兰德·A·米斯曼(Rolland A. Missman,Jr.)	同纯锗表面相关联的载流子的电磁属性	1960
肯德尔·特鲁·罗杰斯(Kendal True Rogers)	小系统的超导性	1960
恒藤敏彦(Toshihito Tsuneto,论文提交给日本京都大学)	第一部分:超导体和电磁吸收的横向集体激发 第二部分:超导体的超声波衰减	1960
杰罗米·路德·哈特基(Jerome Luther Hartke)	非结晶质硒薄膜的空间电荷限制流以及电子和空穴的漂移迁移率	1961
肯尼斯·罗斯(Kennth Rose,电子工程系)	用微波技术研究高阻抗超导体中的欧姆定律的背离	1961
彼得·万斯·格雷(Peter Vance Gray)	从金属到超导体的隧穿	1962
丹尼尔·沃伦·霍恩(Daniel Warren Hone)	液氦^{3}He 的自旋扩散和其他的输送性质	1962

续表

学生姓名	论文题目	年份
威廉·L·麦克米伦	液氦^{4}He 的基态	1963
约翰·沃伦·威尔金斯（John Warren Wilkins）	第一部分：超导体的隧穿：二阶过程和寿命效应 第二部分：电子声子相互作用理论的贡献	1963
韦恩·厄尔·特夫特（Wayne Earl Tefft）	液态金属的电阻率理论	1964
约翰·理查德·克莱姆（John Richard Clem）	超导能隙的各向异性效应	1965
小威斯利·N·马修斯（Wesley N. Mathews, Jr.）	博戈留波夫方程及其对正常超导边界的应用	1966
Sang Boo Nam	强耦合电磁属性和不纯超导体理论	1966
莱纳·库梅尔（Reiner Kümmel，论文提交到德国法兰克福的歌德大学）	A：隧道结中依赖于层厚的量子化效应 B：一型和二型超导体居间态和混合态的研究	1968
大卫·威廉·艾伦德（David William Allender）	平面几何的超导电性激子机制的模型	1974
詹姆斯·威廉·布雷（James William Bray）	伪一维系统中的电荷密度波的涨落电导性	1974
贾里德·洛根·约翰逊（Jared Logan Johnson）	非均匀超导体内的电流	1974

在贝尔实验室有限的工作期间内，麦克米伦和洛威尔（John Rowell）一起通过隧穿数据来研究超导体的晶格振动光谱，麦克米伦于 1972 年回到伊利诺伊大学任教授。回到厄巴纳之后，他继续研究液晶、光散射、热容测量、电荷密度波、电受驱结构相变以及它们同超导性之间的相互作用。巴丁对麦克米伦的期望最高，他曾经说麦克米伦“非常聪明、有独创精神——需要自律”[115]。后来他收回了最后一句话，认为麦克米伦“或许要更好地利用自己的时间，而不是把所有的时间花在各门功课上”。1978 年，他告诉麦克米伦，他“从隧穿数

据派生出声子谱的研究具有重大的意义，也是超导性被看作是最容易理解的固态现象的一个主要原因”[116]。

巴丁和他的许多学生以及博士后之间的纽带力量，使他们中的许多人回到了伊利诺伊大学，至少一度曾经如此。巴丁夫妇经常邀请学生、同事和朋友们到他们家做客，尤其是他们早年刚到尚佩恩—厄巴纳的时候，当时那里的餐馆和娱乐场所很少。简负责做饭和安排，通常形式比较简单。“形式很随意，基本上是自发的。”[117]每个人都很欣赏她的慷慨和热情。大家在她面前既感到很放松，又能够得到照料。在社交场合，“我总是马上去找简聊天，因为她很随和。”[118]从奥地利来的博士后赫斯（Karl Hess）如此回忆他在尚佩恩—厄巴纳的早期生活。对于赫斯和他的妻子来说，他们在美国的第一个圣诞节是灰色的，直到巴丁夫妇邀请他们去庆祝圣诞前夜。赫斯记得约翰把他的奖章和一个里面装有晶体管收音机的奇怪的高尔夫球给两个孩子看。还有一年，当博士后特沃德特（Ludwig Tewordt）和他的妻子发觉无法回到欧洲和家人共度圣诞时，约翰和简在圣诞节那天到他们家，并给他们的孩子带来了礼物。[119]

当回忆起在巴丁家举行的社交活动时，学生们总是会用“轻松”和“随意”等字眼。房子的装修与其说是为了美观，还不如说是为了舒适。厨房是中心，钢琴上面摆满了相架。墙上挂着从简的亲戚哈默那里拿来的艺术品，书架上堆了书和旅行中购买的纪念品。总体的感觉就是很简洁。约翰或简都不认为他们是有钱人或上层阶级。赫斯和他的妻子记得，当他们穿戴整齐地去参加巴丁夫妇邀请的聚会时，惊诧地发现其他人都穿着短裤。更令人感到意外的是，伟大的诺贝尔奖获得者巴丁竟然在厨房里准备饮料。[120]

巴丁依然深受孩子们的欢迎，他的沉默不属于孩子们。

他经常通过孩子们的眼睛来观察这个世界，钻到被子下面和孙子玩“疯子”游戏，或同朋友们的孩子在门廊的地板上玩牌。约翰的侄子汤姆对约翰叔叔在同他们玩耍时的投入劲感到高兴。[121]戈德瓦泽记得物理系野餐会时的一次“绝妙”经历。[122]他的一个孩子鼓起勇气问了巴丁一个有关相对论的问题，这位诺贝尔奖获得者尽量用一个10岁孩子所能理解的语句来作解释。

当巴丁夫妇招待客人的时候，经常会向客人的孩子发出邀请。一位作家永远也不会忘记1985年的一个下午，巴丁亲自打电话邀请他的儿子迈克尔·贝姆(Michael Baym)以及尚在襁褓之中的女儿卡罗尔·贝姆(Carol Baym)参加聚会。几年后，当巴丁去世的时候，9岁的迈克尔感觉自己失去了一个朋友，坚持要参加巴丁的纪念仪式。

对于自己的孩子来说，约翰是一个专心于工作并以此为乐的科学家楷模。随着孩子的成长，巴丁经常回答他们所提出的有关自然科学的问题。正如吉姆所说，他的方法“是打开很多扇门，而不是强迫我们穿过这些门”[123]。这种方法对于培养孩子们在物理学方面的兴趣颇有成效。后来吉姆和比尔成了物理学家，贝特茜先后从事人类学和计算机程序的研究。1966年，她嫁给了物理学家格雷塔克(Tom Greytak)。

第十一章

破解超导性之谜

巴丁在伊利诺伊大学所建立的支持网络为他继续从事超导性研究工作提供了大环境。1950 年 5 月，在塞林打电话告诉巴丁有关晶格振动的发现之后，巴丁依然在努力争取进一步的发展。7 月，他向派尔斯抱怨说，他所尝试的解决超导性问题的各种办法都没有成功。但是他依然感觉研究工作正在朝着正确的方向前进。“我觉得沿着弗里茨·伦敦所建议的路线可以发现有关超导属性的解释。”[1]

支撑巴丁信心的线索不是很明显，但却很重要：“磁场对于电子波函数影响不大。”巴丁确定能找到解决办法的原因是，超导波函数具有“刚性”，而这种刚性来源于能隙。不知出于何种原因，他认为这与长程有序化有关。他觉得这就是超导体排斥磁场（迈斯纳效应）的原因。但这些都只是直觉。他尚不能用任何语言来表达，更不用说用数学公式来表达了。

巴丁关于超导性的笔记和信件让其他人沿着他解开谜底的艰难路线前进。[2]1951 年，他的手写笔记列出了以下他认为对解决整个问题有用的一些小问题：

（1）从伦敦方程中导出多连接体。[3]

（2）以单电子波函数来验证电流和有效质量理论。

（3）以较小的有效质量来分析电子气的抗磁属性。

（4）将（3）推广到包括高频和电子散射（电场效应）。

（5）薄膜的界面能。

（6）更好地计算相互作用能。

（7）比热和其他的热属性。

所有的这些“子问题”都可以通过实验研究或理论研究来解决。

首先要做个实验，观察电流围绕环形物（多连接体）的流动。在第二项中，巴丁希望通过电流和有效质量理论来深入理解单电子波函数。抗磁属性是至关重要的，因为实验证明超导体与磁场相排斥。对高频的考察能够通过实验为超导体的动力学提供信息。界面能和相互作用能对于研究来说也很重要，尤其是科学家可以通过薄膜实验来研究表面附近的区域，那里的磁场没有像在厚样品中那样被完全排斥。最后，比热和其他的热属性也可以测量出来，它们能够用来验证某个研究者对于超导态的理解。

这些问题是不能通过自由电子模型来解决的。巴丁知道，它们来自电子之间以及电子和晶格之间的无数个相互作用。巴丁担心，使用了假定电子在自洽场中独立运行的标准哈特里—福克近似方法之后，他可能会遗漏这个系统当中最重要的方面。正如那一年晚些时候他在一次演讲中所表述的，他希望能够利用二战后由费恩曼、施温格尔和朝永振一郎发展起来的新场论工具。[4]“场论对于解决粒子间具吸引相互作用的费米气的多体问题可能会起到作用，这一点变得越来越明显。”[5]

从1950年开始，巴丁只是例行公事地给研究生讲授场论，这并非他研究的主攻方向。对他来说，利用新形式的最快捷方式是找到一个合作者。他对玻姆（David Bohm）——奥本海默的博士生——在伯克利发展的多体形式尤为感兴趣。

玻姆的新理论是关于被称为电子等离子体的电离气体内

电子电子相互作用的,[6]这个问题受到曼哈顿计划的关注,因为等离子体从电磁学角度来说是与分离铀同位素相关的。1946 年,玻姆在进入普林斯顿大学任教之后继续研究这个问题。他同他的研究生格罗斯(Eugene Gross)和派因斯(David Pines)一起,推广了他为电子气内部的电子相互作用建模的方法。[7]

1950 年春巴丁去普林斯顿大学访问期间,了解到玻姆的研究工作,并开始对他的理论——将短程单个粒子的激发与长程库仑相互作用分离——产生兴趣。他认为这种方法同样可以运用于超导体中的电子间的相互作用。1951 年,他询问玻姆有没有学生有兴趣到伊利诺伊大学读博士后。玻姆推荐了派因斯,后者于 1952 年 7 月来到厄巴纳。

巴丁要求派因斯先考察跟超导体有相同物理学的较简单的问题。弗洛里希早年研究极化子问题,主要研究的是电子进入晶格时是如何使之发生畸变的——他打了个比方,这就好比孩子踩在软床垫时会让床垫变形一样。在极化子问题上,晶体中的离子引起了环绕在电子外面的晶格畸变。通过运用"正则变换"法,并根据那些能够增加或移动系统粒子的算符确定能量的推导("二次量子化"法),弗洛里希是率先把场论引入固态物理的科学家之一。巴丁想要推广这项研究工作:电子如何与离子运动耦合形成波("晶格振动")。

一位年轻的理论物理学家(未来的诺贝尔奖得主)李政道,在 1952 年夏天作为巴丁的博士后呆在厄巴纳。派因斯同他讨论了这个问题之后意识到,李政道新近在自己的场论研究中所运用的"中等耦合法"[8] 可以运用到极化子问题中来。伊利诺伊大学物理系的助教洛(Francis Low)也加入了这个讨论。李、洛和派因斯在他们接下来的论文中用公式表达了极化子问题,[9]这一公式后来直接运用于在超导体中确定最低能

态的基态波函数。

巴丁继续同派因斯一起工作，将玻姆—派因斯公式推广到对付晶格振动中的电子耦合问题。一种计算方法是比较两种电子电子相互作用：晶格振动引起的吸引相互作用（即“声子”）和类似于电极排斥的一般排斥相互作用。

派因斯和巴丁逐渐意识到，声子感应吸引相互作用类似于极化子，晶体中的电子移动时，推动了正对着它的正晶格。当晶格移动时，它也推动了其他电子，这样，电子实际上就相互吸引了。它们像电荷一样，以常规的方式相互排斥。但是巴丁和派因斯通过计算发现，当能量转换不大时，吸引相互作用实际上要大于排斥相互作用。[10]这一令人兴奋的结果表明：对于费米面附近的成对电子来说，净相互作用表现为吸引相互作用！这可能是超导性背后的作用机制吗？巴丁还要花费5年以上的时间来准确无误地解答这个问题。

1953年，巴丁开始为主要的物理学评论百科全书《物理学手册》撰写一篇有关超导性的综述论文。每年，主编［那时是弗拉格（Sigfried Flügge）］都会选择一个他认为成熟的研究课题，委托作者进行评论。弗拉格为1956年的《物理学手册》选择了低温物理这个主题。他请塞林评论实验部分，请巴丁评论超导性的理论前景。

巴丁在1954年集中精力从事这项工作，大约写了100页。为了确认当前超导性问题研究方面的遗漏以及建立一个完整理论所需要的概念，他赞同伦敦提出的“量子效应在空间远距离延伸的有序相”[11]这个概念。他断言超导体“可能具有某种序参量特征并在相变时化为零”，但是，他承认：“我们对于如何用物理名词来理解序参量毫无概念。”

巴丁的文章还考察了正常态和超导态之间相变的性质。根据弗里茨·伦敦的理论，巴丁竭力想要搞清楚波函数的

“刚性”所导致的电子激发谱内能隙的含义。此时，巴丁尚无法解释能隙，但是通过假定它的存在，他可以揭示超导体的电动力学特性，并对伦敦方程进行归纳，这类似于皮帕德在几年前提出的基于超导体的电动力学的非定域经验主义表述。

巴丁综述的另一个重点是计算超导体内部的电子间以及电子和声子（格波）间相互作用的理论手段。最近形成的一些场论方法，如朝永振一郎的强耦合方法以及玻姆—派因斯理论都吸引了巴丁，他强调考虑电子的重要性：当电子穿过整个系统的时候，电子被环绕在它们周围的正电荷云所屏蔽。巴丁的评论总结如下：“关于超导性的令人信服的理论框架确实存在，但是这个问题特别难，需要一些全新的理念。”[12]

当巴丁忙于撰写《物理学手册》的评论时，施里弗——超导性 BCS（巴丁—库珀—施里弗）理论中的“S”——从麻省理工学院来到厄巴纳。他在斯莱特指导下完成了有关过渡金属原子多重结构内能级空间的论文后，于 1953 年秋来到厄巴纳。施里弗在斯莱特的研究小组中所接触的工作让他对理论物理研究产生了兴趣。他记录道：“我脑子中形成了一个模型：创造力的产生方式以及以限定的步骤从已知到达未知的结构化过程是非常重要的。”[13]他还逐渐意识到“一个人不可能马上取得直觉性的飞跃，在此之前还有一大堆艰难的工作要做”。

施里弗对于斯莱特的研究方法并不完全满意。他认为斯莱特研究小组中的人看起来“总是在进行大量的计算工作”[14]。施里弗认为他“想要继续接受研究生教育，这样就可以让个人具备更大的创造力”。在申请了好几个研究生项目之后，他“十分意外地”收到伊利诺伊大学寄来的一封信，邀

请他同巴丁一起工作。他已经“听说了有关巴丁教授的许多事情”。

施里弗同他的新导师会面的那天,发现巴丁的办公室空无一人。但是当施里弗在大楼里面遛跶时,“我连续 3 次在台阶上碰到一位绅士,碰巧他就是巴丁教授。”[15]施里弗在接下来的一年半时间里学习了巴丁的课程,解物理习题,并在巴丁的半导体实验室做实验。施里弗至少“每周要同巴丁会面一次,有时次数更多”。他从未感到“拜访他、同他聊天时存在任何问题。他很容易沟通,总是给我提出如何解决困难的建议”。

1955 年春,同巴丁一起工作了一年半之后,施里弗向巴丁请教如何选择一个研究课题。巴丁胸有成竹,从抽屉里拿出一个单子,上面列有 10 个他认为合适的问题。看了单子后,施里弗注意到有一个问题是为什么含磁性杂质金属的电阻—温度曲线中会有电阻最小值。通常电阻会随着温度的变化以一条平滑的曲线上升。在近藤淳(Jun Kondo)20 世纪 60 年代末解决这一问题之前,巴丁和其他的多体理论家已经意识到,解释电阻最小值问题是一项重要的工作。

施里弗的注意力集中在单子的最后一个问题——超导性上。巴丁问:“你为什么不考虑这个课题呢?”[16]施里弗知道选择超导性这个研究课题是有风险的。科学家们对这一课题“进行了长时间的研究,并遭受了很多失败”。因为校对巴丁在《物理学手册》上发表的文章,他对这个问题已经了然于心。“我一直在想:我是否能够做些什么,是否能有所贡献呢?另一个问题是巴丁教授是否能够集中精力从事超导性的研究,这样在某种程度上我们就可以进行很好的交流。”

施里弗征求了洛的意见。洛问他:“你多大了?”[17]“24

岁。”“哦,那你耗得起一年的时间来进行尝试。”施里弗把这一回答“看作是自己应该从事这方面研究的有力佐证”。

当施里弗告诉巴丁自己将从事超导性研究时,巴丁说:“可以,很好。”[18]巴丁提到哥伦比亚大学一位年轻理论家库珀会加入他们的研究队伍。他认为库珀“具备场论的研究背景,这或许会有所帮助”[19]。库珀曾在雷恩沃特(James Rainwater)的指导下研究核理论,后者于 1975 年同奥格·玻尔(Aage Bohr)和莫特尔松(Ben Mottelson)一起,因为发展了基于原子核内部集体运动和粒子运动相结合理念的核结构理论而获得诺贝尔物理学奖。

库珀——BCS 中的“C”——的加入,对于巴丁创造性利用团队的做法产生了另一种影响。派因斯计划在结束 1954~1955 学年的学习后,离开厄巴纳到普林斯顿大学任教。费恩曼和弗洛里希在这一领域占据巨大优势,但巴丁只有有限的场论,因此他一直在寻找某个“精通场论并愿意从事超导性研究的人”。1955 年春,巴丁打电话给当时在普林斯顿高等研究院的杨振宁,请他推荐合适的人选。

巴丁记得“当时研究最多的一个多体理论问题是原子核的结构问题——多个中子和质子形成了一个原子核。[20]我认为有那个领域研究背景的人,可以为电子间的相互作用以及金属的晶格振动提供有用的信息,这两种现象组成了超导性”。杨振宁推荐了当时已经在研究院做了一年博士后的库珀。库珀在“使用最新和最流行的理论技巧方面”[21](当时包括费恩曼图、重正化方法以及泛函积分)走在最前沿。

当巴丁被研究院留下同库珀会面的时候,这位年轻的物理学家说他对于超导性一无所知。巴丁告诉他“这无关紧要,他会教给我一切,他现在正在寻找熟悉当前场论方法的科学家”[22]。库珀还告诉巴丁,他对场论解释超导性的作用表示

怀疑。库珀接着补充说自己正准备离开普林斯顿。到那时为止,“场论方面的进展相当让人泄气。”尽管研究院的大多数理论物理学家依旧在努力地研究,以期场论能有伟大突破,但“第一个兴奋期过去了”。回顾施温格尔、费恩曼和朝永振一郎的工作,他们“过去总是坐在那里说:‘这些家伙解决了所有的简单问题,把难题留给了我们。’”爱因斯坦于那年春天逝世,这给研究院蒙上了一层阴影。

库珀对巴丁的邀请考虑了好几个月。那年初夏,他还在西西里度假,当时他认定超导性将成为“我要解决的问题”[23]。回到普林斯顿之后,他便驱车去了厄巴纳。

库珀到达后发现自己“打心底里不喜欢这个到处是玉米田的地方”[24]。但是很快他就发现“物理系相当不错。那里的人都很好。这里的工作氛围很棒”。他很怀念“聚会和同事间的友谊。我们总是聚在一起”。

因为场论将被用于电动力学,巴丁要求库珀举行一系列有关场论的非正式研讨会,巴丁还认为场论可能会对多体理论有所启发。库珀讨论了与费米气的虚拟激发相关的费恩曼图。他把一个有关费恩曼概念的讨论也包括在内:正电子或空穴等价于一个及时反向运动的电子。库珀说图表法“基本上是一种微扰法,不能产生相变或相关物质的质变”[25]。施里弗感觉库珀的讲话“逻辑很清楚”,但他对通过这种方法来解决超导性感到悲观,因而心烦意乱。

库珀确实认为施温格尔在耦合格林函数法方面的工作或许有用,虽然它们不一定是微扰法。但是“我们并不想使用那些我们丝毫不熟悉的数学”[26],施里弗回忆道,因此这种方法也被舍弃了。后来苏联的戈尔科夫(Lev Gor'kov)成功地运用了这种方法。

为了帮助库珀自学超导性方面的知识,巴丁建议他去阅

读最近出版的两本教科书，一本书的作者是弗里茨·伦敦，另一本的作者是勋伯格。[27]伦敦的教科书出版于1950年，重新整理了他早期关于宏观量子态下大范围系统内电子秩序的观念。伦敦回忆超导性是“宏观尺度上的量子结构”[28]。这种状态来自于电子的平均动量分配的“凝固或凝结”。库珀校对了巴丁发表在《物理学手册》上的评论文章，他也认为：“如果我们能够获得类似于伦敦的长程序，那么我们就可以解决超导性问题。”[29]数学问题可以填补中间的步骤。

对称破缺概念为超导性概念的形成搭建了一个有用的框架。举例来说，它描述了磁场可以指向任何方向的球面磁体。但是任何一个给定的球面磁体都有一个南北极。也就是，它一旦选择了以某个方向为轴，就破坏了系统的对称。

普通的酒瓶底部为我们提供了对称破缺的一个熟悉例证：酒瓶底部中间的曲线总是向上的。如果酒瓶是对称的，那么剩余粒子可以全部放在隆起部分的中心。但是任何一个瓶子都不是对称的，因此大多数或所有的粒子滚下来，部分流到了酒瓶边缘的无穷多个位置上，那里的仰角较小。粒子可以全部滚到酒瓶的某一点，这样就破坏了对称。

库珀把研究重点放在能隙上。就正常金属而言，“你知道它是什么样子。”[30]但对于超导体而言，它的“性质则不同。问题在于这种性质是如何产生的”？他认为如果“单个粒子的能隙存在巨大差异的话，那么所有的问题很可能就迎刃而解”。就库珀看来，“这其实是一个非常简单的问题，通过基本量子力学就可以解决。何必大动干戈呢？”

后来，库珀如此来描述自己解决问题的方法：首先考察问题的最基本特征，并找到其最简单的解决方法。“我认为人们自欺欺人的一种表现方式是：在解决较简单的问题之前竭力去解决更为复杂的问题。”[31]库珀的方法就是巴丁宣称从维

格纳那里学到的方法。

1955 年的最后几个月里，库珀开始转向对付“如果你有一个具吸引相互作用的高度简并系统会怎么样”[32]的问题。他考察了一个简单的例子：费米面外围两个反方向自旋的电子。他竭力“想要搞清楚在什么样的情况下可以出现迈斯纳效应”。通过几种假设，他解释道，如果两个电子间的净作用力表现为吸引力的话，那么它们就会在正常状态的连续统下形成一个束缚态，并通过能隙把连续统分隔开来。到 1956 年 2 月底 3 月初时，“有一个事实已经很明显了：如果整个基态可以由这样的电子对组成的话，我们就可以获得一种同正常态性质定性不同的基态。”[33]这种基态——超导态——可以通过能隙同激发态区分开来。

回忆起库珀发现束缚态的那一天，施里弗说：“库珀非常兴奋。”[34]“无论耦合多么弱，但是它确实存在。”库珀回忆道，“这些东西让我感到非常兴奋。但是我痛苦地意识到，在接下来的几个月中，还有很多事情要做。”[35]那时，库珀同巴丁之间的交流暂时中断了。“我们经历了一个艰难的时期，巴丁以为我的脑子出了问题。”[36]

巴丁并非没有意识到“库珀对”（Cooper pairs）的重要性，他只是不想让这一充满激情的步骤掩盖了巩固已知事实的解决方案的重要性和艰巨性。他承认在考虑解决问题之前还有大量工作要做。正如库珀所发现的那样，“巴丁未能领会我在做什么事情。”[37]

尽管他们之间产生了一些紧张，但是库珀依然感到他们三人是个特殊团队，“每个人所作出的贡献都是至关重要的。”[38]若干年后，他说：“我无法想象比这更好的合作气氛了。一个人取得的进展推动另一个人取得进展。”这种团队之间的相互促进作用，让人回想起晶体管发明之前贝尔实验室半

导体研究小组的合作氛围。

巴丁以他最喜欢的社交模式——家庭——来构建 BCS 团队。在团队中,他是家长,孩子们则希望融入其中。他通过布置任务、激励团队成员、撒播理论的种子来充分发挥每个成员的独特才能。同自己的父亲一样,巴丁把他的学生看作是和自己一样的探索者,给他们言论和行动自由,并让他们为自己的行动承担后果。他和他们共同分享自己对固体量子理论的深入理解,约翰·米勒(John Miller)说,这种认识可以"一直追溯到 20 世纪 30 年代"[39]。在讨论问题时,巴丁通常会引证他读过的某一专著的某一部分,这给他的学生和年轻同事留下了深刻印象。

在把超导性问题拆分为几个小问题之后,巴丁要求施里弗对布吕克纳(Keith Brueckner)最近研究核子时所建立的"t 矩阵方法"进行考察。他要求库珀对玻姆—派因斯理论以及 1954 年巴丁和派因斯对电子电子相互作用的研究进行考察。与此同时,他还找到了其他一些线索。施里弗强调了"一家人在一起工作的巨大快乐"[40]。

简·巴丁是"最和蔼可亲、最可爱以及最外向的人之一",她扮演了培育孩子的母亲般的角色。[41]施里弗说:"从我成为这个家庭的一份子之后就是这样。"他记得自己曾为贝特茜讲述"佛罗里达的蛇和鳄鱼"的故事。

巴丁和库珀通常会独自在他们共有的办公室——位于格林大街物理实验室 307 房间——工作。施里弗同其他的研究生一起在三四楼之间的一个大房间工作。门上挂着一块牌子"减速研究所"[42]。对于那个阶段的研究生来说,"如果你能够搬到减速研究所,就已经取得了成功。"一旦有空桌子,"每个人都争先恐后地挤去看谁将搬进去。"通过与房间里的其他学生交谈,施里弗发现自己学到了很多东西。

当施里弗来到巴丁的办公室同库珀或巴丁交谈的时候，两人都会“坐在椅子上转身”[43]加入讨论。施里弗说：“这类似于一种循环赛，我想约翰和利昂不可能比在这里讲更多的话了。”施里弗还回忆这种合作是“一种非常愉快的关系，这在很大程度上归功于没有足够的办公室”。

回忆起同巴丁在一起工作，库珀说：“他很固执，但是我也很固执！”[44]库珀对这位年长的物理学家在短时间内的计算以及学习能力感到惊诧。“举例来说，如果我突然明白了他所不明白的东西，我会告诉他，然后，只要一个早上的时间——难以置信！——他就能弄明白。当天下午他就开始使用了。他学得很快。”

施里弗宣称他和库珀都很欣赏巴丁搞物理学的风格——他选择问题时的喜好、他那基于实验之上的方法论、他破解问题的方式以及他尽量少使用理论工具的方法：“使用你武器库中的最小的武器去杀死一头怪兽。”[45]

施里弗还发现巴丁从维格纳那里批发来的建议很有用：“把问题拆成几个小块，然后各个击破。”[46]施里弗在后来的回忆中又补充了一句座右铭：“集中精力破解各个难题，然后重新组合。”巴丁“总是对某些人感到怀疑，他们一开始就建构一个巨大的形式体系，然后推导证明”，他认为破解“构成大问题的小问题”更有效。把各个小的部分综合成一个大画面之后，“只要再一使劲，大问题就迎刃而解了。”最重要的是“仔细确定哪个部分最为关键”。就施里弗看来，这“就是[巴丁]处理一切问题的方法——仔细考虑，然后分离开各个相关的部分，最后再综合起来”。

伦敦书中的最后一章给出了如何处理微观理论问题的建议，巴丁对此非常重视。他认为“那些建议正好指明了前进的方向”[47]，尽管怎样“把它转变成数学实在以及详细的理论

尚不是很清楚”。施里弗记得巴丁“不断地说，实际上‘这一体系很严密，但肯定有一个突破口’”。巴丁同意伦敦的观点，并强调电子的凝结必须发生在动量空间，而不是普通空间。

巴丁还采纳了伦敦的其他指导性意见。其中一个是“在一个隔离的单连通超导体内，在一个给定的外加磁场内，由于迈斯纳效应的存在，只有一种稳定的电流分布”[48]。另一个提法假定在热平衡状态下，“在一个隔离的超导体中没有永久的电流（遵循布洛赫定理），除非这一超导体置于外加磁场之中”。还有一个则是“这些电流的能量不守恒，它们随着外加磁场的强度和方向的改变而改变”。

巴丁让他的研究团队通过使用“相位相干性”的参量来搞清长程序概念，这一参量决定了“库珀对”的大小，无论它们的运动距离是多少。皮帕德提出这个距离是一微米的量级。施里弗注意到巴丁对于那些靠近费米面的电子的凝结“有些认识”[49]。在每立方厘米的大约 10^{23} 个电子中，只有 10^{19} 个电子可以靠近费米面，但是这一被凝结的电子的数量已经够庞大的了！

20 世纪 20 年代，玻尔提出一个称之为“对应原理”的理论，帮助同时代年轻的物理学家们探索当时尚不清楚的量子力学。作为一种宏观体系，即最高量子数范围的体系，这一原理为波动力学和牛顿力学建立了联系。同样，巴丁也为他的团队引入了一个原理，以帮助其团队了解新的未知领域。这个原理使人们更加了解了具备无相互作用电子状态属性的正常态中的相互作用电子。依据朗道的费米液体理论，巴丁意识到，尽管正常态下的电子不是自由的，研究者还是可以在相互作用态和自由电子态之间建立一种一一对应关系。研究者可以通过缓慢地开启相互作用以及不断地使相互作用系统内

的电子气发生畸变而得到相互作用气。他希望在真实的各种超导状态之间形成一种一一对应关系，在这种简化态下，只有弱相互作用能够对超导性起作用。

巴丁认为，他们需要做的是“把正常态看作是一种自由电子气，并激发自由电子气的一一对应——真正的电子之间的相互作用是巨大的，但是我们必须考虑遵循有效激发，这包括它们进入正常态之后的强相互作用”[50]。换言之，巴丁认为大部分的相互作用效应将决定正常态，而被理论所忽视的正常态下发生的小的剩余相互作用产生超导性。他认为研究者只要从这些剩余相互作用对自由电子的效应着手就可以解决问题。

施里弗解释道，巴丁引入了朗道发展起来的费米液体理论的基本原则，[51]“准粒子”和“有效电子”同自由电子气的电子存在着一一对应关系。巴丁在西方世界还没有完全弄懂准粒子的概念之际独自引入了朗道的这个表述。

库珀仍然认为巴丁忽略了他到达厄巴纳几个月之后产生的突破。尽管几乎“在一年中处于无人理睬的境地”，但他还是竭力想要说服巴丁，“库珀对”是解决问题的关键。[52]他意识到自己当时的心理状态：“这里根本没有人认识我这个狂妄的小子……而我坚持说那是解决办法。”

巴丁坚持认为库珀的解决办法是不完善的。他们尚不清楚如何从单个的“库珀对”发展出一个完全的多电子理论。施里弗回忆道：“我们尝试了许多方法，但是依旧没有进展。”[53]一个主要的障碍是同时对付多个电子对，而大多数的电子对是重叠在一起的。即便是对这种情况下定义，也变得很困难。

一年后，施里弗找到了一个办法，即通过使用很多对夫妻在拥挤的舞池中跳扭摆舞这个例子来描述这个问题。[54]扭摆

舞在20世纪50年代很流行，参加的数对夫妇都分开同他人跳舞，但是两人之间通过手拉手连在一起，即便彼此之间会隔有其他的舞者。问题在于如何以数学的方式来表述这种情况。施里弗记得巴丁说过："这对于我们来说非常困惑，这种情况处于一个动量空间。你不应该过多考虑坐标空间。如果你用正确的语言来看待它的话，就没有那么困惑了。"

在探求波函数的过程中，他们还担心近似法的有效性。如果他们只是研究造成成对的那部分系统，他们是否忽略了其他更为重要的问题呢？施里弗回忆道："我们有一种被击败的感觉，因为在利昂作出贡献之后，我们并没有很快取得什么进展。"[55]

1956年11月1日，施里弗在街上碰到巴丁。巴丁微笑着说："哦，我刚想告诉你——我获得了诺贝尔奖。"[56]他依旧处于适应这个消息的过程之中。早上7点，他在为全家人煎鸡蛋时意外地听到了这个消息。他暂时担负起了煎蛋这个职责，因为去年暑假简染上伤寒之后，医生叮嘱她要好好休养。贝特茜和比尔突然冲进厨房，大喊着爸爸获得了诺贝尔奖。美国哥伦比亚广播电台的"世界新闻摘要"播放了这个消息。约翰手中的煎锅掉到了地上。

"嗯，我想我最好刮一下胡子。"[57]在全家人收听重播的新闻时，约翰慢吞吞地说。简随意地写下了那天的一些新闻："孩子们兴高采烈，约翰脸色有些苍白，仿佛沉浸在梦境之中。"[58]在她把孩子们都送到学校之后，"接祝贺电话成了当天最高兴的杂务。"布喇顿也给他打了祝贺电话。

卢米斯要求简把约翰留在家里。那天晚上，她像"普通的周四晚上"[59]一样，做了一顿牛排晚餐。门铃响的时候，巴丁打开门。他看到卢米斯带领着一队人，"大约60名物理学家

和他们的妻子跟随在后面,手里拿着手电筒'火炬',高唱'因为他是一个快乐的好人。'"他们带来了"香槟、杯子和蛋糕",要举行一个"短暂而快乐的聚会"。简回忆道:"看到这些人在黑夜里唱着歌,挥舞着手电筒从山上下来,真让人感到兴奋。"[60]汉德勒说:"每个人都兴高采烈,每个人都很开心。"[61]

在广播播放了此消息的第二天,记者们聚集在巴丁的家门口以及办公室外。宾夕法尼亚州华盛顿的当地一家报纸《华盛顿观察者报》(Washington Observer)报道说:"本地一女子的丈夫获诺贝尔奖。"[62]贺信和贺电像雪片般从同事和朋友那里传来。维格纳写道:"我无法告诉你,作为你以前的同事,我多么为你感到自豪,为你获得的荣誉感到多么的高兴。"[63]范弗莱克写道,这一奖项"对我来说是一种个人的愉悦和满足"。他还补充道:"我很喜欢回忆你和布喇顿同我一起学习量子力学的时刻,尽管我从未宣称这对你们将来的事业发展会有任何好处。而且,听到诺贝尔奖的获得者是一个麦迪逊人,一个威斯康星大学的毕业生以及哈佛研究院的成员,这也让我感到很高兴。此外,研究者也不会再轻视明尼苏达大学,因为你我都在那里教过书,阿比盖尔(Abigail)[范弗莱克的妻子]也是那里毕业的,布喇顿在那里读了博士。一切都说明,这一奖项是最令人感到满足的。"[64]奥斯特豪特——巴丁的大学朋友以及海湾实验室的同事——写道:"格雷琴(Gretchen)和我在收音机里听到这个消息都感到很激动。"[65]

巴丁对于这一光荣的奖项感到非常高兴,但是他内心并不能完全沉浸到庆贺之中。拉扎勒斯回忆道:在内心深处,"他并不认为自己应该因晶体管获得诺贝尔奖。"[66]11 月下旬,巴丁写信给飞利浦实验室的维威(E. J. W. Vewey):"我怀疑委员会中的很多人都不确信这项技术值得这个奖项。我自己也感到怀疑。"[67]

庆祝仪式对于巴丁的超导性研究工作来说是一个巨大的干扰。施里弗和库珀或许感到自己陷入了困境，但是巴丁却认为他们正在接近突破口。他也清醒地意识到了竞争——尤其是来自于费恩曼的竞争。[68]费恩曼在9月的西雅图国际理论物理学大会上，已经对超流性和超导性进行了阐述。费恩曼以对超导性问题的论断作为讲话的结尾："当研究者开始对超导性进行研究时——在开始前我警告你们——他最后会意外地发现：他愚不可及，根本无法解决这个问题。"[69]

就简看来，去斯德哥尔摩之前，约翰将把所有的时间都花费在研究上。她在她的诺贝尔日记中记录道，他"夜以继日地工作，一直到11月29日我们离开尚佩恩"[70]。一个发现巴丁爱好高尔夫球的记者如此评论："喔！就像艾森豪威尔总统！"巴丁咕哝道："是的，只是我没有他那么多的打球时间。"[71]

已上四年级的施里弗对巴丁的奖项也有一种"复杂的情感"[72]。他为巴丁感到非常高兴，并为巴丁"对我们的鼓励"感到兴奋。但是他有一个个人问题需要解决。他想要接受来年去欧洲读书的国家科学基金会的奖学金。但问题在于他已经开始写论文，而且去的条件是他必须完成论文的撰写。巴丁去斯德哥尔摩前几天，他去找了巴丁。他谨慎地问巴丁，自己转向另一个问题——或许是铁磁性——的研究是否有意义，他已经"偷偷地"开始研究了。巴丁咕哝着说："再等一个月或一个半月时间，等我回来，我们继续工作。或许会发生些什么事的。"

去斯德哥尔摩的准备工作颇费精力。"组委会分别给巴丁、沃尔特和比尔打电话，分配有关诺贝尔颁奖仪式的讲话，这些讲话都必须由个人亲自撰写。"[73]此外，还必须有适合所

有活动的衣服。简希望能够为这正式的仪式找到一些“不同寻常的”[74]衣服。塞茨回忆道:“女孩子们都跑来帮她选衣服。”[75]但约翰则开始担心简会“在买到衣服之前花完所有的钱”。某个下雨天,简跑遍了小镇也没有买到合适的衣服,于是她坐了一辆灰狗长途汽车到印第安纳波利斯,最后在那儿买到一件品蓝色的罗缎礼服和其他一些正装及配饰。[76]

庆祝活动在巴丁夫妇到达斯德哥尔摩之前就已经开始了。11 月 30 日,负责贝尔实验室研究工作的副总裁贝克(William Baker)在纽约城举办了一个斯德哥尔摩颁奖仪式之前的晚宴,庆贺那些获奖者。吉姆向哈佛大学请假去参加为父亲举办的盛宴。许多从贝尔实验室来的朋友和同事也参加了宴会。

系列演讲是庆祝活动的一部分。鲍恩作了“晶体管发现缘起”的演讲,赫林作了“晶体管的发明对基础科学知识的贡献”的演讲,莫顿作了“对晶体管作用的评估”的讲话,达罗(Karl K. Darrow)作了“诺贝尔奖,特别是诺贝尔物理学奖的历史”的讲话。约翰和简住在新泽西的菲利普·安德森和乔伊斯·安德森(Joyce Anderson)夫妇家里。安德森一家可以感觉到巴丁对于盛会的期盼。某一时刻,当约翰以为边上没人时,乔伊斯听到他在咒骂一只鞋子。[77]

当时 15 岁的比尔和 12 岁的贝特茜同朋友们一起呆在尚佩恩的家中。简说:“我们认为把他们带在身边不太合适。”[78]她还认为两个孩子在去年暑假“已经去欧洲旅行过了”。后来,简后悔没有带孩子们参加典礼,因为瑞典国王古斯塔夫·阿道夫六世(Gustav VI Adolf)问她:“巴丁夫人,你们有孩子吗?”“有的,我们有 3 个孩子。”“为什么你不带他们来呢?”

约翰和简同沃尔特·布喇顿和凯伦·布喇顿一起旅行。布喇顿带了他们幼小的儿子比利。他们 5 个人以在纽约城以

及哥本哈根的度假作为庆典的开始。在纽约，某顿早餐后，约翰去“买了一件背心以搭配他的行头”[79]。

在去哥本哈根的飞机上，吃过晚餐，小睡了片刻之后，他们都感到很渴。“我们向乘务员询问飞机上是否有香槟，”布喇顿记录道，“他不仅说有，而且还说今年是一个葡萄丰收年。”[80]他们获知一瓶香槟只卖4美元。

> ……这样，我们喝了一瓶之后，约翰指出我们每少喝一瓶就损失4美元，因为一瓶香槟在美国要卖8美元，因此我们又叫了一瓶。之后约翰还想再喝一瓶，但是其他人说你要省就自己省去吧，因此我们就睡觉了，并在纽约时间中午12点醒来吃早饭，然后飞机在哥本哈根降落。

凯伦和简在哥本哈根这个“购物天堂”[81]玩得很开心，沃尔特和约翰则拜访玻尔的研究所。在顺便拜访瑞典的哥德堡时，布喇顿在查默斯技术大学作了一次演讲。他们会见了沃曼（Wallman）教授，后者同巴丁、塞茨和布喇顿一样都是普林斯顿大学的毕业生。简担心布喇顿比约翰更受欢迎，她在给家人的信中写道：“我希望我们到达斯德哥尔摩的时候，约翰能够受到更好的待遇。”

他们于12月6日到达斯德哥尔摩，第二天乘车去斯德哥尔摩的大饭店，然后就是几天的观光以及对新环境的适应。布喇顿注意到瑞典是一个“有许多湖泊的低矮丘陵国度——覆盖着四季常青的松树林和冷杉林，但并不如人们在太平洋西北部能找到的森林那样繁茂”[82]。

按照传统，盛典将于12月10日诺贝尔去世的周年纪念日举行。瑞典外交部为每一位诺贝尔奖获得者分派了一个导游，负责帮他们安排忙碌的记者招待会、照相、庆典仪式、午餐以及晚宴庆祝。“当我们走出火车站时，到处是闪光灯，迎接我们的汽车已经等在了外面。”巴丁记录道。

当巴丁和布喇顿拜访半导体研究所(Hafo)时,他们被"赠予了一个嵌有一块像珠宝一样切割过的硅晶领带夹"[83]。肖克利因为航班的延误而没能赶上这个聚会。他和艾米乘坐法航的飞机到巴黎,但是巴黎的机场被大雾笼罩,因此他们不得不在波尔多的一个不供应热水的小旅馆过夜。周六赶到斯德哥尔摩时,他们几乎没有足够的时间梳洗就去参加了庆祝活动。[84]

巴丁和布喇顿更像兄弟而非同事,他们一起享受以往都未能享受的美好时光。周一庆典那天,他们都有点肚子痛。布喇顿"突然想到用一瓶奎宁水来止痛,巴丁也喝了一点,然后我们随便吃了一顿午餐,就到房间里穿上了礼服"[85]。当凯伦、比利和沃尔特正在换衣服时,电话突然响了起来。"约翰在最后一分钟打电话过来借一条领带,因为他那里出了一点意外。"布喇顿对此已经习以为常了,因为"巴丁已经借走了他的一件背心"。约翰在纽约买的那一件背心"已经被染成了绿色"。

颁奖仪式在音乐厅举行。舞台奢侈地用黄菊花进行了装点。所有的获奖者都要按照既定程序向负责颁奖的国王阿道夫六世及王后鞠躬。布喇顿对此感到有些担心。[86]简写道:"这是国王唯一一次站着接受他们鞠躬,因此是一种莫大的荣誉。"[87]布喇顿看着肖克利"第一个上去,并恰如其分地向国王和王后鞠了躬"[88]。当他看到国王突然插到巴丁和王后之间使约翰对王后的鞠躬显得有些尴尬时,布喇顿有些害怕。布喇顿跟在巴丁身后顺利地完成了仪式。仪式中最紧张的那部分就这样过去了。

匈牙利流产的革命遭到了苏联的镇压,所以有传闻说当晚国王在市政厅所举行的千人晚宴可能会因为这场政治动乱而取消。[89]晚宴并没有取消,但是缩小了规模,只有 175 名客

人参加，地点改在证券交易所举行。[90]

正餐之后，聚会转移到大饭店的宴会大厅。布喇顿夫妇把比利送上床之后，加入到巴丁夫妇和其他诺贝尔奖获得者及其随从的人群中。他们一直庆祝到凌晨，相互不停地用香槟祝贺。巴丁后来说："这是一个美妙的时刻，我们当然玩得很开心。"[91]第二天早上，他"兴高采烈地"起了床。

第二天晚上，国王在自己的私宅招待了诺贝尔奖获得者。简写信告诉家人"交谈没什么障碍"[92]，因为王室成员都是"极为真诚的人"。她很喜欢国王的艺术收藏以及他的兰花，并注意到"从某种意义上来说，他们的客厅很像我们家的客厅，因为桌上堆满了书"。

接下来的几天，获奖者们慢慢放松下来。约翰和简抽出时间给一些朋友及家人寄明信片，提及他们在庆典时期的"美妙生活"[93]。"我们只有睡觉、吃饭和参加聚会的时间。"斯德哥尔摩"很不错，但是日程安排很紧"，约翰在写给哈隆雅克的明星片上这样写道。参加诺贝尔奖的那些接连不断的活动"让人就像生活在另一个世界"[94]。他还说他们在"图画般的王宫里参加了晚宴。很快就要回到一个较为普通存在的世界了"。

当时，哈隆雅克是美军驻横滨信号团的成员。他所在团里一位身体粗壮的上尉担负着一项特殊的任务，"中午前为我们取信，然后把邮件交给我们。"[95]在 1956～1957 年冬的一天，上尉回来对他大喊："哈隆雅克！你认识瑞典的一个名叫巴丁的家伙吗？"后来，当哈隆雅克回忆起巴丁在明信片上错拼的"existence"（存在）一词时，总会露出微笑。他告诉朋友，约翰说过他在拼写方面的问题是小学时跳级留下的后遗症。

巴丁和简回到尚佩恩—厄巴纳后，他费了好几天工夫进行调整，以重新适应日常的生活。他把诺贝尔奖章带到办公

室给同事们看。当他把自己在斯德哥尔摩的鲁莽举动告诉他们时，斯利克特认为巴丁“以一种最好的方式同他们分享自己的经历”[96]。

最后，巴丁给孩子们买了一台电视机，[97]补偿他们未能参加在瑞典举行的盛典。好几年以来，约翰一直反对家人买电视机，他说要等到晶体管彩电的价格下跌后再买。后来家人们有趣地发现，约翰看电视的时间比其他人都要多。尽管他很少做饭，但却很喜欢看蔡尔兹（Julia Childs）的烹调节目。他喜欢看体育节目，但从不看娱乐片。他对那些他参加的体育项目倾注极大的热情。[98]

不久，巴丁实现了他众多人生目标中的一个：一杆进洞。这恰好是在尚佩恩机场附近的大学高尔夫球场完成的。[99]就施里弗看来，“他认为这一成就可以比得上诺贝尔奖。”[100]数年之后，当巴丁被问及诺贝尔奖和一杆进洞，哪个对他来说是更大的成就时，他答道：“或许两个诺贝尔奖的价值大于一个一杆进洞。”[101]

到圣诞节时，巴丁再次沉浸于超导性的研究之中。孩子们说这个问题“对他来说至关重要”[102]。从哈佛大学回来度假的吉姆看出父亲对待超导性问题的态度同9年前对晶体管的研究态度截然不同。“我记得他当时非常紧张，”急于“努力完成工作”。贝特茜记得，那个圣诞节父亲埋头于另一个世界里。[103]但是问题并没有在假期里得到解决。

1月底时，转机出现了。施里弗和库珀在东海岸参加两个物理学会议——一个是于1月28～29日在新泽西霍伯肯的史蒂文斯理工学院举行的有关多体问题的研讨会；另一个是1月30日到2月2日由美国物理学会在纽约城举行的年会。施里弗经常乘坐公共交通工具往返于两个会议以及他所

借宿的撒密特的朋友家。一天,在赫德森地铁上,施里弗写下了超导体基态的波函数。

他把建立波函数的过程看作是一种智力熔补。有关 π 介子、质子和中子之间的相互作用以及其他一些讨论时常出现在脑海之中。其中包括"库珀对"和朝永振一郎曾用在 π 介子-核子中的变分法。他一直在思考超导性的问题。

在地铁上时,他在便签本上进行运算,"我意识到代数方法很简单。"[104]他想起巴丁的架桥原理并形成了"波函数是与类正常态位形相干的叠加"。然后,他用朝永振一郎的方法来表达这一函数。验算结果时,他发现自己的方法并不能让电子数守恒。和那些统计力学的巨正则系综一样,他补充了一个"化学势能项"来解决这个问题。

当晚,施里弗在朋友家进一步研究了这个表述。早上,他做了变分计算以确定隙方程。"我只花了几个小时就解决了隙方程的截止势能。"[105]在表述扩展公式时,他写下了在真空状态下把电子加入其中的数学算符式子。在他所使用的一系列术语中,每一个都同不同数量的电子对相对应。对此,他几乎无法相信。这一公式"真的是为动量空间量身定作的",基态能量"在能量的指数级别上较低",符合状态稳定的条件。

施里弗和库珀碰巧一起乘飞机去尚佩恩。施里弗必须在下飞机时把波函数公式演示给库珀看。库珀深受鼓舞。"我立刻认识到我们可以计算出来,"他回忆道,"你可以用这个奇妙的、一流的、微妙的公式来进行运算。[106]从根本上说,这个公式不会让你觉得麻烦。你只需要把一对电子放在一起,这样它们就可以满足泡利原理。"库珀说:"我们早上就把这个消息告诉约翰吧。"[107]

第二天早上,巴丁看了波函数,然后说"他觉得里面确实有些东西。因此我们就此谈论了好几个小时"[108]。施里弗记

得巴丁“深信激发谱中一定存在着能隙”，然后用波函数去计算能隙，“约翰指出能隙就是同一个参量 δ——当时我们称之为 ε_0——我已经找到了基态能量的入口！”

不久，库珀走进他和巴丁共同的办公室。巴丁问：“你们一起写一篇有关超导性的论文如何？”[109]库珀答道“我愿意这么做。然后我们就开始投入到计算中，没日没夜地计算了 6 个月。”

工作中最令人兴奋的时刻发生在几天后，巴丁根据能隙和临界场来计算凝结能量，并获得了这两种实验量之间的关系。“我们从廷克汉姆研究小组中获得了有关能隙的实验数据。现在我们知道了临界场，所以问题就在于转换单位。”[110]起先巴丁“很沮丧，因为他算不出来”。最后他们完工之后，“9 而非 11 是合适的单位，我们真的感到很高兴，简直是非常激动。付出终于有了回报。”所有的拼板都合在一起了。

一旦巴丁“感到这是正确的研究方向，操作模式显然就要发生变化了”[111]。施里弗回忆道，经过一段时间的思考，把“几乎所有的拼板”[112]拼凑起来之后，巴丁知道该怎么做了。他想出“如何最终来解决这个理论问题”，他也知道“应该解决什么问题，你的实验应该用什么样的理论，你应该作什么实验预测，这些都是理论各个不同部分的关键所在”。库珀说：“因为他已经对正常金属进行过各类运算，所以他知道发生的一切。”[113]他们的工作是“进行普通的运算”，然后再使用超导体的波函数来进行运算。“关键在于他知道要做的一切，他很在行，速度也很快。我的意思是我是年轻人中的高手，但我要告诉你的是他比我算得更快。我感到惊诧。有时候他使用很陈旧的办法，但是依然最先得出答案。”

这一切只是发生在施里弗首次写下波函数后的一星期，但是他们依然感受到了巨大的压力。他们知道费恩曼正“使

用各种复杂的场论”[114]来研究这个问题。担心费恩曼“很可能用另一种方法来解决这个问题”并抢先进行报道，整个研究团队在接下来的6个月里进行了详尽的计算，强行通过了计算关。

巴丁布置了工作计划。为了节省时间，他给团队的成员分配了任务，要求施里弗研究超导体的热力学性质，要求库珀对迈斯纳效应和其他的电动力学性质进行研究，他自己则研究超导体的传输以及非平衡属性。当同事向他请教问题，却被告知很抱歉他没有时间考虑其他时，他们就知道出毛病了。[115]施里弗的波函数开创了库珀经历过的一个“最集中精力的、最充满激情的也是最难以置信的成果期”[116]。

施里弗取得突破后两周，整个团队离大功告成还有很长一段路。他们尚未取得二级相变的推导。巴丁决定以书信形式在《物理学评论》上刊登一则声明。2月15日，他给杂志发出了信。他给《物理学评论》的编辑古德斯密特（Samuel Goudsmit）写了张便条：“我知道你不喜欢书信的形式，但是我感到这一工作代表了超导性理论方面的一个重大突破。我写这便条是为了让它能得到特别的重视。”[117]

2月18日，该刊收到了那封信，信中解释了超导性如何来自电子和声子之间的耦合，在这种相互作用下，系统形成了一种相干超导性基态，个体粒子以配对的形式存在。“这样如果其中的一个粒子存在，那么另外一个粒子也就存在。”[118]

这封信归纳了这个理论的优点：

（1）它创立了一个有助于解释电磁属性的能隙模型。

（2）它给出了同位素效应。

（3）序参量可以理解为以虚对状态存在的位于费米面之上的电子分数，它是自然产生的。

（4）能量中的指数因素或许可以解释 kT_c 比 $\hbar\omega$ 要小得多这样一个事实。

（5）这个理论相当简单，因此可以计算超导状态下的热、传递以及电磁属性。[119]

当编辑收到这封信时，他们已经理解了二级相变。施里弗后来回忆道：不久，巴丁在家里招待了一位著名的瑞典科学家。

> 当晚，约翰不知为何去了克劳德大街 7 号，谈话经常出现很长的中断，因为约翰总是盯着天花板。尽管谈话还在进行中，但是谈话方式却很奇怪。显然约翰在努力思考着什么。他所考虑的是如何得到二级相变，并精确地写出波函数。[120]

第二天早上，巴丁打电话给施里弗。“他非常兴奋。”[121] 施里弗记得那个电话“一大早就把我给叫醒了”。巴丁茅塞顿开了。“我想在那一时刻他认为一切都是正确的。”

巴丁在大厅撞见了斯利克特，并以其独特的方式宣布了这一突破。同往常一样，他在遣词造句。然后他慢吞吞地说：“嗯，我想我们已经解决了超导性问题。”[122] 斯利克特和他的学生赫布尔（Charles Hebel）最早用实验确证了这一新理论。在测量了原子核自旋在铝中的弛豫速率之后，他们发现，当温度降低到铝变得具有超导性的温度以下之后，核磁共振的速率不但没有减小，反而提高了：它的值是正常状态下的两倍多。但是当温度进一步降低到超过相变温度之后，速率再次开始下降。

众所周知的 BCS，也就是巴丁—库珀—施里弗理论可以很容易地解释这个效应。当研究者想要使核自旋整齐时，它们因电子撞击而弛豫。在此过程中把自旋传给电子。当在正常金属上发生电子撞击时，核子交换自旋，直到一半向上一半向下为止。然而，在 BCS 理论中，翻转的核子数大大减少，因

为电子被锁在了一起。这样,弛豫的过程就要长得多。库珀说斯利克特"花费大量的时间"[123]在计算上,"到四五月时,他已经可以和我们一起计算,并指出我们的错误了。"

在几个月之内,其他研究机构的许多实验者证实了 BCS 理论的有效性。在尚佩恩—厄巴纳之外最先证实这一理论的有布朗大学的 R·W·摩尔斯(R. W. Morse)和 H·V·伯姆(H. V. Bohm)以及伯克利的格洛弗(Rolfe Glover)和廷克汉姆。摩尔斯和伯姆研究声衰减,将其作为温度的函数。与 BCS 理论一致,他们发现温度在低于相变值之后,纯超导体中的声衰减迅速减弱。格洛弗和廷克汉姆的实验通过超导薄膜来研究远红外传输,这为能隙与吸收的两倍频率相符提供了直接证据。[124]这些实验仿佛在说:"加油,波函数看来是正确的。"[125]

1957 年 3 月,团队在致力于固态物理学研究的美国物理学会年会上宣布了 BCS 理论。年会在那一年的 3 月 21 日至 23 日之间在费城举行。塞茨打电话给固态物理分会的秘书伯斯坦(Eli Burstein),谈到了有关突破的情况。摘要交给了协会的秘书达罗。此次会议专门安排了两篇有急速时限的论文,一篇是施里弗的,另一篇是库珀的。去新罕布什尔写论文的施里弗接到参加会议的通知时已经太迟了,因此库珀必须交上两篇论文。

巴丁决定不参加 3 月的会议。"他要确保年轻人能够获得荣誉。"[126]施里弗认为这次会议是非同寻常的,它标志着"最终到达了个人事业的顶峰",现在巴丁"让位给两位年轻人"。巴丁说"你们去告诉全世界,我呆在厄巴纳",施里弗把此话看作是转让荣誉的"杰出范例"。"此外,巴丁尽量快地把年轻人培养成专业研究者,并把他们看作专业人士,让他们自力更生。"

3月，整个团队着手研究“库珀对”的大小以及相干因数。他们所关心的是：超导波函数似乎不能遵守粒子数的守恒，从而不能遵循规范不变性，这是麦克斯韦电动力学中的一种对称状况。他们怀疑其表述的完全有效性，因为它要求叠加态具有数不同的电子。最后，他们终于弄明白叠加态只是一种简化数学计算的把戏而已，它并不真的意味着电子不守恒。

春季的紧张工作同个人的事件交织在一起。4月，听说凯伦·布喇顿死于癌症，巴丁感到很难过。在享受了12月份的斯德哥尔摩之行之后，她在两个月后突然病倒了，“几个月后，她就走了。”[127]约翰放下了手中的一切去探望沃尔特。在这次访问中，年轻的比利迷上了约翰的太阳能电池的晶体管收音机。[128]约翰主动把它给他看。比利永远也不会忘记那个动作。

1957年5月6日早上4点30分，库珀的第一个女儿降生了。在确保母婴平安之后，他决定继续工作。每天早上10点左右到达办公室发现巴丁已经在那里时，他总是感到有些尴尬，因为巴丁8点就已经到了。巴丁如此安慰库珀：“如果我想工作的话，我可以用任何方式进行工作。”[129]但是库珀依然为自己的迟到而感到尴尬。

一天早上库珀冲出家门想要改变这种状况。他冲完澡，剃完胡子，微笑着想：“这次我会第一个到。”但是当他在七点半左右到办公室时，发现“门已经开了，约翰坐在桌前工作。那天早上，他决定更早来上班”。（库珀并没意识到这段时间巴丁上班一天比一天早。）

狂热的工作节奏一直持续到夏天。到7月时，他们已经决定把他们完整的论文寄给《物理学评论》了。在这篇现代物理学的杰作中，他们更详尽地介绍了他们的理论如何解释：

(1)1911 年昂纳斯发现无限传导性;(2)1933 年,迈斯纳和奥森菲尔德发现了抗磁(磁场排斥)效应;(3)临界温度下的二级相变;(4)塞林和马克斯韦尔首先观察到的同位素效应;(5)伦敦兄弟首先提出的激发谱的能隙。他们的论文还表明 BCS 理论与许多实验数值相符,包括比热以及近表面的磁场穿透深度。[130]

大多数研究超导性的实验家对 BCS 理论非常感兴趣。但是许多理论物理学家,尤其是那些花大量时间在这个问题上的理论物理学家,对这个新理论提出了质疑。(既是理论家又是实验家的)皮帕德给巴丁写了许多尖锐的信。他为自己同巴丁讨论 BCS 理论的细节而感到抱歉:"为了避免给你留下的只是毁灭性批判意见的印象,让我马上告诉你,我确信你已经在超导性理论方面迈出了重要的一步;我并不能完全肯定你已经得到了最终答案,但是我认为它会朝着你所建议的路线前进。"[131]

约翰在 9 月参加麦迪逊会议时写信给简说,对他产生怀疑的"大多是那些自己没有取得成功,未能真正理解我们所从事工作的人"[132]。他对于如何对付阻力充满信心。"我希望他们最终能够改变看法。实验数据的验证进展得很好。"他还写信给库珀,告诉他有关麦迪逊会议的情况,他认为会议"相当有趣,很值得参加"。他还对 BCS 理论的受接受程度进行了评论:"人们对超导性理论表现出了极大的兴趣。因为很少有研究者有机会仔细地研究这个理论,所以得到的反馈基本上是积极的。实验家对于这个理论尤其感兴趣。反对大多来自于那些事先就认为这一理论应该是什么样的理论家。"

巴丁、库珀和施里弗花费了一年多时间反对"数量巨大的研究者,他们沉迷于自己对超导问题的研究,认为我们没有

解决这个问题，坚决对此进行辩护”[134]。这个团队面临一个不可能的问题，因为他们的对手“想要确信这是一个正确的解决办法”，而当时并没有一个简单而确切的方法可以证明BCS理论。“这是一种直觉的升华。”他们只能凭借一系列的实验的“连接点”，“最终你可以通过某种理论演绎法到达那里，但是当然现在还远没有达到。”1957年9月底，巴丁写信给皮帕德：“为了表述我们的理论，我们竭力构建能够体现实际金属最基本超导特征的最简模型。用这种模型，我们就可以找到一种与实验相符的定性乃至半定量方法。我们找到的大部分特性一致的情形让我们感到惊讶。”[135]

该理论的一个主要缺陷是缺乏一个规范不变性。[136]关于粒子数的守恒让整个团队都感到焦虑不安。想要解决规范不变性问题的愿望最终催生了安德森、派因斯、施里弗以及其他人撰写的几篇重要论文。他们提出该表述内部的规范不变性确实存在。10月，巴丁写信给安德森，他的手稿“确实为规范不变性提供了答案”[138]。

南部洋一郎（Yoichiro Nambu）原先是BCS理论的反对者，后来他把BCS理论的重要副产品以及“对称破缺”引入了粒子物理的框架。韦斯科普夫在1960年对此表示哀叹：“粒子物理学家在这些年江郎才尽，只好借助于多体物理产生的新事物。”[139]

1957年秋，施里弗在伯明翰同派尔斯一起工作，冬天则在意大利工作，然后在1958年5月至8月间“来到哥本哈根”[140]，“那里的天气还不错”，他和玻尔谈论BCS理论。玻尔对于超导性理论的兴趣可以追溯到20世纪20年代。玻尔对施里弗说：“这不可能是真的。我不相信。这是一个有趣的想法，但是本质不可能那么简单。”然后施里弗“花了大约两小时笔录回忆玻尔说过的话”。

施里弗根据笔记给巴丁写了一封长信:“不幸的是,这是错误的。玻尔认为这是不正确的。”[141]施里弗立刻收到了巴丁的回信,内容简单扼要:“玻尔并不清楚自己在说什么。”问题在于玻尔的评论击中了他的弱点。施里弗自己也认为“结果太简单了,那不可能是答案”。

第二年,BCS 团队的所有成员继续阐述他们对于 BCS 理论含义及其应用的理解。结束了一年的由欧洲国家科学基金资助的学习后,施里弗又到芝加哥大学呆了一年。然后他回到了伊利诺伊大学,在那里做了 3 年助教,1963 年去了宾夕法尼亚大学。库珀在伊利诺伊大学拿到博士学位之后去俄亥俄州任教一年,然后他去了布朗大学,在那里他最终改变了研究方向,成了神经网络方面的专家。

BCS 理论被看作是物理学界的“重要理论之一”[142],被运用于解决多个研究领域的问题。1958 年,奥格·玻尔、莫特尔松和派因斯提出了核物质的超流性(没有电荷的超导性),1959 年,米格德尔(Arkady B. Migdal)和别里亚耶夫(Spartak T. Belyaev)进一步发展了这个理论。之后,巴丁在伊利诺伊大学的多体理论小组成员贝姆(Gordon Baym)、佩锡克(Christopher Pethick)和派因斯提出了超流对理论,米格德尔和后来的金兹伯格(Vitaly L. Ginzburg)以及柯兹尼思(D. A. Kirzhnits)把这一理论应用于中子星内部的物质。很自然,中性的^{3}He 系统在低温下也会变成超流体。理查逊(Robert Richardson)、大卫·李(David Lee)和奥谢罗夫(Douglas Osheroff)通过实验发现了这一现象,莱格特(Anthony Leggett)从理论上解释了那种氦态的性质。

显然,这些问题都同电子的基本属性联系在一起,由此泡利第一个发展了固态量子理论,理论所涉及的粒子遵循费米—狄拉克统计法:研究者不可能把它们同时置于同一个量

子态。如果说一个系统内有吸引相互作用的话，那么无论这些“费米子”是否带电荷，都会通过形成相互配对的系统而形成超导体或超流体。正如拉扎勒斯所指出的，BCS 理论得到了“普遍承认”[143]。

第十二章

两个诺贝尔奖胜过一个一杆进洞

巴丁逐渐成了物理系的领袖，成了可以向其咨询任何问题的权威。在伊利诺伊大学的物理系和电子工程系，“约翰会知道的”成了大家耳熟能详的口头禅。塞林于1958～1959学年在伊利诺伊大学任客座研究副教授，他观察到巴丁的许多同事和学生去他的办公室寻求帮助。塞林后来告诉同事，这就好像“同佛祖呆在一个办公室”[1]。

巴丁的科学殿堂超越了大学，甚至超出了物理学界。他接受了诸多邀请，其中包括1962年4月在白宫举行的宴会，参加者包括49名诺贝尔奖获得者以及一群杰出的客人，如宇航员格伦（John Glenn）、诗人弗罗斯特（Robert Frost）以及作家帕索斯（John Dos Passos）。肯尼迪总统在国宴厅和边上的蓝厅招待了客人，并留下了一句即兴的名言：“除了杰斐逊（Thomas Jefferson）曾独自在这里就餐外，我想这是白宫有史以来最非凡的汇聚了杰出人才和人类知识的时刻。”[2]简写信给家人：“在那里同那么多名人在一起，我们感到非常荣耀。”[3]

1963年，绿街以东几个街区建造了新物理楼，巴丁搬到了的一个更大的房间，接下来的27年他一直呆在那里。为了纪念卢米斯，这幢建筑物后来被命名为卢米斯物理实验室。

1909年建立的老实验室在头20年中为物理系提供了足够的工作空间。但到20世纪40年代，大楼的剩余空间也被

充分利用以满足各种需要。回旋加速器不得不置于一个车库之中。到50年代,“从地窖到阁楼的每一个角落”[4]都被充分利用了,因此物理系计划建造一幢新大楼。起先,物理系的资金只够建半幢大楼,东边部分先造好了,西边那一半则裸露着混凝土墙。1961～1963年,当西边的建筑得以完工时,这些墙成了房间的内墙。

1963年9月,包括巴丁在内的多体研究小组搬到了新物理楼三楼一间有多个办公室的套间。4个办公室中的3个并排朝南,另外一个朝西。巴丁选择了一间朝南的办公室。他在房间朝东的墙边放了几张桌子,上面放置了书架作为自己的图书馆。其他的墙面都嵌了黑板。窗边放了两个文件柜。巴丁通常在窗边工作,他可以通过窗子看到下午的阳光照耀宿舍门厅附近的树。[5]上班时,他总是让办公室的门敞开着。

巴丁的搬迁对于同事们来说产生了一个意想不到的问题。在拥挤的旧大楼,巴丁和同事们在一个办公室工作。当某个同事向他请教时,他们不必呆上半个小时等待巴丁的答案。巴丁办公室的同事会把答案转交给提问者。[6]但是在新物理楼,这种运行体制就无法奏效了。

然而,这种新的安排促进了多体研究小组内部的合作。巴丁办公室隔壁的派因斯在接下来的数年中,经常同巴丁一起就若干多体问题展开讨论,这些问题包括量子等离子体、金属内的电子、固体中的集体激发、超导性、原子核结构、致密液氦以及高温超导性。1959年,在普林斯顿担任4年的助理教授以及高等研究院成员之后,派因斯回到了厄巴纳。

新近聘用的两名年轻的理论家卡德诺夫(Leo Kadanoff)和戈登·贝姆搬进了套间剩下的两个办公室。完成了哈佛大学的研究课程后,两人都作为博士后在哥本哈根的理论物理

学院(现在的尼尔斯·玻尔学院)工作。他们一起合作,使用格林函数,如"规范不变性"和其他的对称量来解决多体体系的传输问题。他们还共同署名,撰写了一篇有关量子统计力学研究的论文。[7]卡德诺夫和贝姆分别于1961年和1962年在伊利诺伊大学接受了终身职位,并被看作是多体理论的代言人。伊利诺伊大学已经和贝尔实验室以及莫斯科的朗道研究院一起,成为了多体物理学的3个最重要的中心。[8]

巴丁、派因斯、贝姆和卡德诺夫以一种宽松的合作关系一起工作,他们经常到某一人的办公室讨论各种问题。他们曾同惠特利进行了一次令人难忘的合作,后者是研究低温状况下^{3}He费米液态属性的实验家。获知俄亥俄州的爱德华兹(David Edwards)已经演示了^{3}He可以溶解在超流体的^{4}He中时,巴丁马上意识到,研究某种可成为超流体的费米液体的机会到来了。

3位理论家巴丁、贝姆和派因斯同实验家惠特利、爱德华兹以及惠特利的前研究生、现在已经是博士后的安迪·安德森建立了一种合作关系。惠特利的实验室就在物理楼的下面,3位理论家经常去看他做实验。巴丁、贝姆和派因斯发展了一种吸引人的^{3}He和^{4}He混合物的理论——它之所以吸引人,是因为^{3}He是遵循费米—狄拉克统计法的费米子,而^{4}He则是遵循玻色—爱因斯坦统计法的玻色子。尽管^{3}He粒子形成了正常的流体,但在巴丁的建议下,他们使用"有效相互作用"来描述^{3}He。计算表明:^{3}He在超低温度下(几毫开)会成为超流体。这一体系将成为具有不同属性的两个相互独立的超流体的复合体。(这一现象不能通过稀释实验观察到。)巴丁再次成为团队的领袖,他知道要问什么问题。[9]

伊利诺伊大学的多体小组继续围绕着巴丁而发展。博士后佩锡克于1966~1967年加入了小组。1966年初,研究磁

系统、后来又研究相变的沃蒂斯(Michael Wortis)来到大学担任助理研究教授。1972 年,3 位新成员加入小组,担任终身副教授和教授:核多体问题的专家 Vijay Pandaripande、天体物理学的学生拉姆(Frederick Lamb)以及从贝尔实验室回来的巴丁的学生麦克米伦,后者 1963 年毕业之后就去了贝尔实验室。1982 年,曾于 1964 ~ 1965 年攻读博士后期间以及 1967 年成为博士后以后加入研究小组的莱格特永久性地加盟了。

巴丁花一部分时间来回答同事和学生们提出的问题。因为他拥有物理学方面广博的知识,他往往可以直接击中问题的要害——并提出解决办法。[10]但有时巴丁的同事无法理解他的意思。有些人请求他进行解释,但多数只是接受了他作出的判断——毕竟之前他作出了无数次正确的判断。并非只有同事和学生们相信他的直觉,巴丁自己也相信。有时这种习惯导致了尴尬的局面。

在经典物理学领域,粒子无法穿过混凝土墙。但是如果作多次尝试的话,它们可以在量子力学领域做到这一点。实际上,在这个奇怪的世界里,如果一个电子或其他的基本粒子足够小的话,那么它必定能够"穿透"某个物理屏障。然而,就超电流来说,穿过介于两个超导材料之间的屏障基本上是不可能的,因为一对电子必须同时穿过屏障。

1962 年,皮帕德的 23 岁的研究生约瑟夫森(Brian Josephson)仔细研究了这一问题。他的理论预测超导体中的电子对应该能够穿透介于两个超导体之间的薄屏障。这一现象被称之为"约瑟夫森效应"。它成了巴丁和约瑟夫森之间著名的争论点。物理学家麦克唐纳(Donald G. McDonald)曾经研究过这场发生在 1962 年 9 月一次重要物理学研讨会上的争论。[11]麦克唐纳采访了许多当事人,并查阅了当时的一些档

案。他的研究使人们了解了这两人的争论。

巴丁于1960年夏被邀请去参观纽约州斯克内克塔迪通用电器研究实验室,他加入了超导体隧穿效应的讨论。在那里他同塞茨新近毕业的博士研究生哈里森(Walter Harrison)进行了讨论。他们讨论了哈里森还在伦斯莱尔工艺学院时贾埃沃(Ivar Giaever)曾做过的一些实验。这些实验表明:电子通过隧穿这种量子力学效应从一块正常材料进入一块超导材料。

当哈里森指出在某些体系下,贾埃沃的假定需要进行修改时,巴丁说他对于仔细地考察超导体的隧穿问题有兴趣。他同哈里森商议以确保这样做不会"打断"他的研究[12]。哈里森向巴丁保证没有问题。那年秋天,巴丁提出了一个假设:在障碍区,电子"没有成对,波函数实质上同正常态相同"[13]。在此基础上他提出了超导体的隧穿理论。

巴丁关于超导体隧穿理论的论文遭到了芝加哥大学物理系理论家菲利普斯(James C. Phillips)的批评,他认为巴丁的论证不够清晰。菲利普斯跟他的同事法利科夫(Leo Falicov)和科恩(Morrel Cohen)一起对隧穿问题进行了讨论,并于1962年2月发表了联合论文。[14]他们通过一个分隔超导体与正常金属的屏障来研究隧穿问题。

5个月后,巴丁在另一篇论文中就同一问题回应了菲利普斯等人。这篇论文包含了一个脚注,提到了约瑟夫森的最近出版的一部著作。在原先假定屏障区的电子不成对的基础之上,巴丁凭直觉判断约瑟夫森所提出的"不产生准粒子的穿过[两个超导体间]隧穿区的超流体"是不可能的。巴丁认为"配对现象并不会扩展至屏障内,因此不可能存在这样的超流体流"[15]。

那时约瑟夫森即将在剑桥大学的皇家学会蒙德实验室读

完二年级。他曾经师从菲利普·安德森，学过多体理论。当时菲利普·安德森于1961～1962年利用休假，离开贝尔实验室去剑桥大学执教。安德森发现讲授这门课程“让人困窘，我向你保证”[16]。因为“一切都必须是正确的，否则[约瑟夫森]会就此在课后要求我解释”。作为课程的一部分，安德森把对称破缺的概念引入了超导体。约瑟夫森“被对称破缺的想法所吸引，并考虑是否可以通过实验来观察到这个现象”[17]。

得知了贾埃沃的隧穿实验，并研究了迈斯纳最近的实验工作和帕门特(Robert Parmenter)的理论工作之后，约瑟夫森告诉皮帕德超电流其实是可能的。皮帕德自己认为“超导体完全可能通过‘超导对’对正常金属产生影响，这样超电流就会从一边传输到另一边”[18]。但是他也认为，效仿贾埃沃，让两个电子同时穿过绝缘屏障的可能性很小，几乎是观察不到的。[19]

约瑟夫森对此不太确信，尤其是他看了安德森出示的科恩、法利科夫和菲利普斯关于超导体—屏障—正常金属系的论文预印本之后。他想要把计算应用到双边障碍的超导体的情况下，但却意外地发现了一个取决于相位的项。电流是电压的偶函数，但当电压变为零时，电流并没有消失。尽管皮帕德怀疑电子对的穿透过于细微以至于无法观察，但超电流确实存在。约瑟夫森同皮帕德和安德森一起讨论了这个令人疑惑的发现。约瑟夫森说：“几天后，我确信自己并没有算错。”[20]

“约瑟夫森、皮帕德和我以及其他人同往常一样坐在蒙德实验室喝茶，并在接下来的数周参加了讨论。我们对电流取决于相位的事实感到纳闷，”安德森写道，“到这时我已经足够了解约瑟夫森，我很可能接受他所相信的一切。然而，他自己看起来有些怀疑，因此我花了一个晚上来检查组成电流

的项。”[21]安德森和约瑟夫森一起“讨论了对称破缺是如何让这种奇怪的电流成为可能的”。约瑟夫森的结果很可靠。他准备把它发表。

后来，约瑟夫森在他的诺贝尔演讲辞中写道：这项工作“令人尴尬的地方”[22]在于“预测的效应太大了”[23]。因为对于结果感到有些不安，他于1962年6月8日把他的论文交给了《物理学快报》(Physics Letters)而非《物理评论快报》(Physical Review Letters)。他写道：在隧穿实验中的金属都是超导的，“因为电子对可能穿过障碍，准电子的分布状况并没有改变，这样就能预测到新的效应。”1962年6月8日的《物理学快报》接受了这篇论文。两周后巴丁把他的论文呈交给《物理评论快报》，在脚注中挑战了约瑟夫森的理论。[24]

巴丁的挑战引起了第八届国际低温物理会议(LT－8)组委会的关注。会议于1962年9月16日至22日在伦敦大学玛丽王后学院举行，组织者“希望能够把宏观量子现象作为会议的主要议题”[25]。哈佛大学的物理学家马丁(Paul Martin)是负责隧穿现象议题的主席。他邀请约瑟夫森和巴丁同时出席，并进行面对面的公开辩论。当时，约瑟夫森所预测、巴丁所怀疑的效应尚未被证实。

尽管这场辩论并没有在会议记录中提及，但是很多科学家加入了辩论。巴丁以弗里茨·伦敦纪念演讲为会议开场白，然后很快就同约瑟夫森进行了交锋。贾埃沃回忆道：“我在伦敦把巴丁介绍给了约瑟夫森。”[26]当约瑟夫森竭力想要把自己的理论介绍给巴丁时，巴丁“轻轻地摇摇头说‘我不这么认为。’因为他已经仔细考虑了这个问题。在短暂的谈话中，我一直站在那里。然后巴丁离开了，约瑟夫森感到很不安”。

麦克唐纳写道，他们走进会议室时，“已经是傍晚时分，会议室里挤满了人，等待聆听这场辩论”[27]。巴丁坐得比较靠

后。约瑟夫森简短地陈述了安德森关于超导体对称破缺的概念。根据戈尔科夫对于 BCS 理论的表述，他解释了他的计算是如何“预测到电子对的隧穿会产生大的效应”的。然后“巴丁起身对他的单粒子隧穿理论进行表述，其中包括先前发表的电子不能进入障碍的观点”。约瑟夫森用提问打断了巴丁。巴丁用回答进行了反驳，并反问约瑟夫森。“交锋持续了好几个回合，约瑟夫森对巴丁提出的每一个批评都进行了回复。场面还是比较文明的，因为双方的声音都不高。”但是正如科恩所回忆的那样，两人“似乎说着不同的语言”。

就卡塞尔大学的热力学教授克洛斯（Wolfgang Klose）看来，“巴丁显然对约瑟夫森效应感到怀疑。”[28]但是“约瑟夫森并没有屈服”。当巴丁说，他认为约瑟夫森的想法“几乎不可能是事实时，约瑟夫森不断地问巴丁：‘你计算过吗？没有吧？我计算过’”。约瑟夫森赢得了辩论。后来，克洛斯注意到“巴丁用他的手臂环抱了约瑟夫森，就像父亲对孩子那样。他们就这样离开了演讲厅”。

后来，约瑟夫森如此解释道：“巴丁的基本错误在于他忽略了戈里科夫理论内在的非定域性并假定了在电势和电子对之间存在着一种定域联系。”[29]1963 年，安德森和贝尔实验室的实验家洛威尔的联合论文最终解决了这一问题，后者观察到了约瑟夫森预测的隧穿超电流。[30]安德森和其他人在戈里科夫对 BCS 理论阐述的框架之内解释了约瑟夫森效应。

在安德森和洛威尔把他们的论文上交给《物理评论快报》的两个月后，巴丁写信给安德森：“你的证据，尤其是磁场对于超电流产生的效应非常令人信服。”[31]他建议为了调和他同约瑟夫森之间的观点分歧，有必要“考虑从矩阵元素中获得的超导能量，以帮助电子对穿越屏障……我没有把这个能量考虑到隧穿超电流存在的可能性中去”。

现在,约瑟夫森效应已经是准确无疑的了。1963 年 7 月,夏皮罗(Sidney Shapiro)发表了一篇论文,报告了“约瑟夫森效应几个惊人的伴随产物”[32]。那年晚些时候,也就是在 1963 年 8 月的一次会议上,巴丁公开收回了自己的反对意见。两年后,约瑟夫森接受了巴丁的邀请,于 1965 ~ 1966 学年到伊利诺伊大学的多体理论研究小组进行博士后研究。在那里,约瑟夫森写了一篇有关超流态二级相变的论文,这篇文章现在已经名满天下。[33]

约瑟夫森效应已经产生了重要的实用价值。有两个最著名的应用例子,一个是超导量子干涉仪(SQUID),它可以用来测量非常微弱的、甚至是近乎静止的磁场;另一个是根据约瑟夫森结而发明的开关。

巴丁的同事们有时候会刻意表现出他们对他的尊敬。1968 年,物理系为他举行了庆祝六十大寿的盛会,来自世界各地的朋友和同事参加了聚会。

施里弗制作了一件艺术品,作为生日礼物送给导师。他向巴丁所有的学生“寄信索取小照片”[34]。然后他“用棕色的毛毡剪成学生们的身形,并使之拿起小提琴”。他把这些身体贴在一张大的招贴板上。“约翰穿着燕尾服,戴着红色的绶带,像一个大合唱团的超级指挥家。”巴丁把这幅拼贴画挂在自己的办公室里。另一件非同寻常的礼物是约翰·范弗莱克送给他的。范弗莱克给每一位来宾发了一张缩微胶卷卡片,上面囊括了巴丁生平的著作。巴丁写道:“见笑。”[35]

巴丁 1953 年首次日本之行结交的朋友、索尼公司的鸠山道夫为巴丁带来了一个特殊的高尔夫球。这个礼物是专为承认巴丁在晶体管方面的工作、并纪念巴丁同索尼公司的朋友们在高尔夫比赛中度过的快乐时光而设计的。球的大小和形

状同普通的高尔夫球无二，但是它的内部有一个装有微型喇叭的晶体管收音机，还有一个可充电电池。[36]

后来，巴丁有时会在讲课时用这个高尔夫球状的收音机作为演示，或者在高尔夫球场中同他人开玩笑。[37]有一次，他把对手的高尔夫球换成这个像高尔夫球的收音机，当对手过来推杆时，“具有魔力的”球正在播放电台节目。巴丁犹豫的性格决定了他不擅长讲笑话，但是他经常用这样的恶作剧来表达他那顽童般的幽默感。

一段时间后，这个收音机接触不良或是短路了，巴丁不得不挤压或是拍打它让其恢复功能。他写信给哈隆雅克：“我不得不拆开来修理。”[38]1985 年秋，他接受了哈隆雅克提出的由索尼公司服务部来修理收音机的请求。到圣诞节时，他又可以用它来逗朋友们玩，或讲解晶体管的历史了。

1971 年，巴丁的关门弟子布雷和艾伦德解决了关于超导性新机制的颇具争议的问题。[39]在这个问题上，相互吸引的电子作用对于电子空穴对的虚激活态起作用，而不是对电子声子相互作用态起作用。布雷承认他开始从事研究时，对于激子超导性的复杂性并没有概念。但是当巴丁为学生提出一个问题之后，他就明白了，这并非“让你陷入困境中”，因为“他脑子中已经有一些想法了”[40]。事实上，巴丁的“大脑中有一个如何去解决激子的超导性问题的框架”，并沿着这个框架前进。当论文要发表的时候，他坚持把自己的名字放在论文联合署名者的最后。

那年晚些时候的某一天，巴丁在伊利诺伊大学的同事萨拉门（Myron Salamon）回忆道：“休息时间我坐在[材料研究实验室的]208 号房间，约翰走进来对我说：‘你看过这个吗？我们应该好好研究一下。’”[41]宾夕法尼亚大学的黑格（Alan Heeger，他在 2000 年获得了诺贝尔化学奖）刚刚宣布：他发现

了一种可以导电的一维有机材料 TTF－TCNQ。他相信这种物质是超导的。萨拉门和其他人测量了物质的热量同电导性的比率(维德曼—弗兰兹比)。他们"把测量的结果给约翰看",后者正好在附近查收信件。"我说:'我们发现维德曼—弗兰兹定律是成立的。'于是他抬起头说:'我猜熵是一个运动常量。'然后他就走开了。"萨拉门问布雷:"这是什么意思,发生了什么,怎么会这样?他在干嘛呢?我们花了一周时间才搞懂约翰的意思。"

巴丁对解释奇异材料的电荷传输有一种直觉。事实证明那根本不是超导性。巴丁建议把一维有机系统内的电荷传输看成是带电流的滑动电荷密度波。这个想法让他重新回到了1950 年所从事的超导体研究工作。黑格的发现为"低维度材料"、尤其是这些材料的非线性特性的研究开辟了一个新领域。这些材料内部的电荷是沿着长分子传输的,它们同其他材料一样表现出电荷密度和自旋密度波。因为巴丁意识到这样一个机会,布雷说:"于是我们着手进行研究。"[42]接着布雷研究了"这些一维有机系统的过剩导电性"[43]。布雷和艾伦德于 1974 年,即巴丁退休后不久完成了他们的论文。

20 世纪 70 年代早期,贝姆和佩锡克一起研究超流体^{4}He。他们对于"旋子"携带动量的问题感到困惑不解。旋子是一种短波长激发的现象。"于是我们去向约翰请教"[44],他们认为约翰对这个问题颇有研究。"他确实如此。"巴丁像猜哑谜般地回答了他们的问题。他说,用麦克斯韦方程组来表达磁场的两种方式"就好像是 **B** 和 **H** 之间的区别"[45]。"我们根本不明白他的意思,"贝姆承认,"很难理解这句话。"他们尝试了好些方法去破译巴丁那句暗语,最终他们把这个问题搁在了一边。

大约 10 年后,佩锡克和贝姆竭力想要理解金属内电子之

间的长程磁相互作用。“于是我们再次向巴丁请教。”[46]他再次答道:“嗯,那就好像 **B** 和 **H** 之间的区别。”他们再次感到困惑不解。“但是这次有所不同,因为他给了我们一个参考文献——他和施里弗在《低温物理进展》(Progress in Low Temperature Physics)中撰写的一篇综述。”文章写于 20 世纪 50 年代末,其中提及 **B** 和 **H** 之间的区别,但是对他们来说,这句话的含义依然是模糊不清的。

贝姆说:“还好我在两天后要去圣塔巴巴拉拜访施里弗,因此我带了一份文章的复印件。”[47]进入施里弗办公室时他感到很兴奋。他希望搞清楚 **B** 和 **H** 之间的区别,也希望这句话对电子间的旋子或磁相互作用问题有所启发。“我把它给鲍勃看,然后说:‘请告诉我这句话的意思。’”施里弗笑了,“哦,约翰总是说这是 **B** 和 **H** 之间的区别。”他转身对贝姆说,“我也从未弄懂这句话的意思,但是他坚持要把这句话放到这篇文章中。”这次拜访后不久,只要研究小组的成员遇到了解释不清的问题时,他们总会开玩笑地说:“嗯,那只是 **B** 和 **H** 之间的区别。”[48]然后所有在场的人都会异口同声地发出:“哈!”

人们开始在背后谈论巴丁第二次获诺贝尔奖。诺贝尔物理学奖曾经颁发给了成就不如 BCS 的人,但是还没有人在同一个领域获得过两个诺贝尔奖。巴丁担心的是,如果瑞典科学院固守传统的话,那么他的第一个诺贝尔奖就会剥夺施里弗和库珀获奖的机会。

1967 年 11 月,巴丁获知美国物理学会给施里弗颁发了巴克利奖,他非常高兴。但严格意义上说,这个奖项并不是为了表彰 BCS 理论,而是对他过去 5 年里工作的肯定。巴丁写信给基特尔:“然而,毫无疑问的是,施里弗对于微观理论的贡献是他获得这一奖项的重要因素。”

巴丁提出把美国科学院的康姆斯达克奖同时颁给库珀和施里弗。“康姆斯达克奖比巴克利奖更重要，因此联合奖项应该可以弥补库珀可能因施里弗单独获得巴克利奖而产生的一些嫉妒，这也是可以理解的。”[49] 巴丁的提议起了作用。1968 年的康姆斯达克奖因为他们“对超导性理论作出贡献”[50]而同时颁给了施里弗和库珀。

但是巴丁还是认为施里弗和库珀应该获得诺贝尔奖。他决心尽其所能让他们因为 BCS 理论而获得诺贝尔奖。巴丁在伊利诺伊大学的同事斯利克特认为，巴丁“开始意识到，要让施里弗和库珀获得诺贝尔奖的唯一途径，是让奖项颁发给 BCS 理论之后的一个研究成果，而且这个成果取决于 BCS 理论”[51]。巴丁想了一个办法。他“意识到诺贝尔奖评奖委员会关心的是国际性的研究团队”。超导隧穿现象自然是一个课题。这项研究成果取决于 BCS 理论，因为约瑟夫森的工作直接建立在 BCS 理论的基础之上；贾埃沃的工作让科学家们看到了晶格振动光谱；江崎二极管则是建立在隧穿效应的基础之上。如果诺贝尔奖颁给了江崎玲於奈、贾埃沃和约瑟夫森的话，那么获奖者将是日本人、挪威人和英国人。

1967 年，巴丁建议把诺贝尔奖颁发给固体中的电子隧穿效应，“这个研究领域在近些年有了极大发展。”[52]他写信给诺贝尔奖评奖委员会：

> 我提名把诺贝尔奖颁发给江崎玲於奈，因为他发现了半导体内部的带间隧穿现象，并发明了隧道二极管；我提名贾埃沃，因为他进行了分隔两种金属的薄层二极管的隧穿实验，尤其是两种金属之一或两者都是超导体时；我还提名约瑟夫森，因为他预测了通过隧穿结的超流体。这 3 项发明开辟了新的研究领域。

1971、1972 以及 1973 年，他继续先前的提名。[53]1973 年的

诺贝尔奖颁给了隧穿理论——约瑟夫森因为提出超导隧穿理论而获奖，贾埃沃因为隧穿实验而获奖，江崎玲於奈因为观察到 P—N 结的隧穿效应而获奖。1972 年的诺贝尔物理学奖则颁发给了 BCS 理论。

“约翰是一个非常精明老练的人，”斯利克特指出，“人们一直以为约翰是一个不谙世故的人。我则不这么认为。我确信约翰·巴丁想办法让自己因超导体研究而获诺贝尔奖。”[54]

巴丁最早从一个住在纽约的瑞典记者的电话中得知自己再次获得了诺贝尔奖，那天是 1972 年 10 月 19 日，星期四。巴丁说，“我不太相信他的话，因为经常会有一些谣言。”[55]但是，第二天清晨，他被瑞典官方打来的电话吵醒了。

接着，平静的尚佩恩—厄巴纳再次掀起了波澜，他们的诺贝尔奖获得者再获此荣！一群记者跑来就超导性和其他问题采访巴丁。那天早晨，当巴丁想要离开家时，车库的电动门突然出现了故障。《新闻周刊》(Newsweek)和其他的一些杂志把报道的重点放在晶体管的发明者居然为晶体管设备所困这样一个讽刺性事件上。巴丁急忙解释：出问题的不是晶体管，而是门外的开关。“我让我的妻子修好了。”[56](实际上，他断开了晶体管。因为晶体管非常灵敏，飞过上空的飞机发出的声音把门给打开了。)“这个门我们已经用了很多年了，以前从未出过岔子。”[57]

最后巴丁来到大学，参加了一个午餐研讨会，并讨论了大卫·李在康奈尔大学进行的有关超流体的研究。那天同往常自带午餐唯一不同的是，派因斯和哈隆雅克点了香槟。[58]

一个记者尾随巴丁进教室听课。许多同事和其他一些学生也参加了，因为有传闻说巴丁将讲授超导性。整点前几分钟，[59]巴丁低着头走进教室……他走到讲台前，看看手表，然

后微笑着说:“我想现在讨论超导性问题是合适的。”这个记者还参加了一场新闻发布会,巴丁“说得很轻,很慢,几乎有些不情愿。仿佛他对于这一切感到困惑不解。但是他脸上还是露出了喜不自胜的表情”[60]。

消息宣布之后的那个星期六,约翰去观看了伊利诺伊主场的足球赛。“巴丁穿上外套,戴上帽子,用纸巾包了一个苹果,然后驱车去纪念馆体育馆,观看了伊利诺伊对密歇根的比赛,当时的比分是 0 比 5。”据说,“巴丁不会错过主场的比赛”[61],另外,据同事们说:“他坐在那,全神贯注,一动也不动。”

接着就是照例举行的庆祝活动。当哈隆雅克开玩笑说,巴丁现在所需要的只是“和其他两个家伙一起获得另一个诺贝尔奖,这样你就获得了一个完整的诺贝尔奖”[62]时,约翰开心地笑了。数以百计的祝福从巴丁的朋友、同事以及陌生人那里飞来。布喇顿写道:“很遗憾你不能打开车库的大门!”[63]他说他和新妻子艾玛·简(Emma Jane)会在 12 月 10 日那天想他的,并且补充说:“不要在颁奖前的最后一分钟去借或购买衬衫。”约翰回信说:“简和我经常会去翻看 1956 年购买的纪念品,它们让我们回想起那些美妙的经历。16 年后能再次前往那里真让人觉得意外,同时也让我们兴奋不已。”[64]

巴丁的高尔夫球友乔治·拉塞尔是那一年的尚佩恩乡村俱乐部的董事会主席,他写道:“当我们说这样一个意义重大的奖项颁发给这样一个不能再好的人时,这表达了俱乐部所有成员的心声。”[65]另一个崇拜者给当地的一家报纸寄去了一篇有点挖苦的社论,他在其中抱怨:与其他大学教工的知名度相比,巴丁因为第二次获诺贝尔奖而获得了过多的关注。“让我们正确看待这些现象。一个诺贝尔奖获得者每天都会出现,但是一个新的足球教练或者运动员指导也许你一生只

能遇到一次。”[66]

巴丁尽量回复所有的信件，但到最后他既没有那么多时间，也没耐心去完成这一工作。他尤其注意回复那些年轻人的信件，比如他那教艺术的侄子所在中学的八年级学生写来的信。他们告诉他：“因为我们是八年级的中学生，所以对你获得的第一个诺贝尔奖非常感兴趣，因为你发明了晶体管，我们中的许多人都用上了晶体管收音机。”[67]一个巴西的修女写信给巴丁，同他分享模糊但美好的记忆：她曾在二战期间同一个名叫巴丁的科学家一起在匹兹堡工作过。“如果你就是那个绅士的话，我会感到非常高兴！”[68]巴丁回信说，她可能是同他的弟弟汤姆一起工作过。[69]当时汤姆住在匹兹堡，并且有了同她描述很相似的孩子。

简再次选择穿一件蓝色礼服参加典礼，这件礼服是用单丝线的绉布做成的，上面“缀满了漂亮的珠饰和刺绣”[70]。简时常回忆起1956年古斯塔夫国王曾责备她把孩子留在家里，这次她坚持全家人都去参加典礼。当时3个孩子都已经成家了，而且有了两个孙子。这是一个大家庭团聚的机会。

旅行开始于12月4日，期间发生了一段小插曲。因为冰冻，他们在尚佩恩乘坐的航班被取消了。派因斯建议大学提供一辆车，把巴丁一家送往芝加哥的欧海尔机场，这样就给他们省下了一天的时间。“尚佩恩以北不远的路况很好，”简在日记中潦草地写道，“因此我们及时赶到了欧海尔机场。”[71]

第二天，吉姆和他的妻子南希（Nancy）在哥本哈根同约翰和简会合。他们给自己两个晚上和一个白天的时间“休整和适应时差，以便投入到接下来斯德哥尔摩繁忙的庆典活动中去。”[72]家庭的其他成员在当天也陆续到达。12月6日，整个家庭同奥格·玻尔和他的妻子玛丽埃塔（Marietta）共进午

餐。之后,约翰和简拜访了奥格的母亲、尼尔斯·玻尔的遗孀玛格利特·玻尔(Margrethe Bohr),并同她一起喝茶。

12月7日,一到达斯德哥尔摩,他们就立即卷入到了诺贝尔颁奖仪式的各项活动中。简很高兴同她的孩子、她的兄弟吉姆·马克斯韦尔及其妻子、他们的朋友盖洛兹(Gaylords)一家以及比尔妻子玛吉(Marge)的父母一起分享这一切。她很高兴看到有那么多的家庭来参加盛典,但她在日记中写道:"可惜几乎没有时间像1956年那样去购物和游览城市。"[73]12月10日,颁奖典礼的那一天,巴丁和伦德奎斯特(Stig Lundquist)一起走在前面。伦德奎斯特是瑞典哥德堡大学的物理学家,后来成了诺贝尔奖委员会的主席。他们经过大厅时,简注意到"约翰的害羞让他有些畏缩不前,伦德奎斯特只好拽着他往前走"。面对观众时,约翰把注意力集中在自己的家人身上——简、三个孩子、两个媳妇、一个女婿、两个孙子。他笑着告诉记者:"我们全家倾巢而出。他们占据了观众席较前排的位置。"[74]

在斯德哥尔摩时,巴丁担负起回复贺信的巨大工作。简已经整理好了感谢和问候卡片,[75]他们一起在上面签名。后来,约翰写信感谢施乐公司瑞典分公司的弗纳森(Carl Vernersson),因为后者安排了一个秘书帮巴丁寄卡片,巴丁写道:"如果贵公司12月的利润出现巨幅下滑,你就会知道是什么原因了。"[76]

在回伊利诺伊大学途中,巴丁一家在瑞士作短暂的逗留,孩子们在那里参加了滑雪,约翰和简则欣赏雪山的美景。[77]他们还到默里山参加了贝尔实验室为纪念晶体管发明25周年而举行的聚餐活动。菲斯克已经成为贝尔实验室的总裁,他在请柬中夹了一个便条,上面写着:"约翰·巴丁因超导性研究而获得了第二个诺贝尔奖,这为举行欢庆活动提供了另一

个理由。”[78]

当巴丁一家最终回到家时，发现威斯康星电话公司给他们寄来的一封信，通知巴丁：他们准备把 12 月 23 日，即晶体管展示给贝尔实验室高层人士看的那一天命名为全国性的“约翰·巴丁日”。“当然，我们威斯康星电话公司的全体成员为你对人类作出的研究贡献而感到骄傲。”[79]巴丁回复道：“我一直对我出生的州怀有一种很美好的感情，非常感谢你们给我这一殊荣。”[80]

伊利诺伊大学的多体研究小组和贝尔实验室继续竞争。巴丁一直很喜欢前沿研究中的竞争精神，但有时这种交锋让他感到心烦。[81]

艾伦德、布雷和巴丁关于激子超导性的论文对菲利普斯来说是另外一个挑战，后者于 1968 年离开芝加哥大学，加入了贝尔实验室的多体研究小组。1972 年 9 月期间，他和巴丁就这项研究工作频繁地进行书信交流。他们不能达成一致意见。[82]于是菲利普斯写了一封言辞激烈的批判信给《物理评论快报》，而因为编辑的重大失误，[83]这封信于 12 月 4 日，也就是菲利普斯反对的艾伦德、布雷和巴丁的联合论文发表前两个月被刊载。菲利普斯的信起到了暗中破坏的作用，削弱了人们对巴丁论文的接受度。

从斯德哥尔摩回来后，巴丁发现了这封信。布雷后来回忆说，巴丁对这个“无法宽恕的错误”[84]感到十分恼怒。这是我“第一次目睹他破口大骂的样子”。1973 年 1 月初，巴丁写了一张言辞激愤的便条给《物理评论快报》的主编古德斯密特：“作者当然有权利先看到他的文章面世——在其歪曲和误导的言辞散播到各处之前。”[85]古德斯密特回信说，编辑以为“作者一定已经同被引用论文的作者联系过，并征得了引

用的许可”[86]。针对巴丁提出的建议——杂志“应该建立程序以避免类似情况的发生”。古德斯密特的回答是:“如果没有联邦调查局的协助,我不知道如何能做到这一点。”

赫斯记得之后不久同巴丁和麦克米伦一起吃饭时的情形。麦克米伦说物理系对于这一事件的反应有些滞后。因为他没有意识到巴丁最近同菲利普斯有过交锋。他说,“我们是否应该去邀请一位有趣的人呢?”他暗指菲利普斯。赫斯看到,一想到让菲利普斯到伊利诺伊大学来,一阵愤怒的红潮就涌上了巴丁的脖子和脸部。“可怜的麦克米伦永远也不会知道自己做了什么。”[87]

那年晚些时候,当菲利普·安德森和因克森(John Inkson)在《物理评论快报》上针对布雷—艾伦德—巴丁有关激子超导性的联合论文写了一篇批评性的评论后,他们的论文引起了更大的争议。艾伦德、布雷和巴丁回应说,因克森和安德森误解了论文,而且研究“具备不同物理属性的半导体”[88]。于是他们轮番对彼此进行评论和反驳,双方继续着没有结果的争论。安德森认为巴丁并没有准确地理解他和因克森的评论,巴丁过于顽固,无法考虑他人的看法也有可能正确。他们最终“承认彼此的分歧”[89]。

这些争议因为诸如打高尔夫球这样的运动得到了缓和。艾伦德、布雷和巴丁经常在一起打高尔夫球。布雷回忆道:“我在做他的研究生时打得比现在好。如果哪天天气突然放晴,那么我就会看着窗外。”[90]如果天气合适的话,“我们会一起去”机场附近的大学高尔夫球场。“同他一起打球是一种乐趣。他在高尔夫球场上同样是绅士,同样不喜欢多说话。他是一个优秀的高尔夫玩家,通常会击败我们。”

获知艾伦德的父亲也打高尔夫球时,巴丁建议老艾伦德来尚佩恩,他们和布雷打一场四人赛。老选手的得分远远高

于年轻选手。回到格林克劳夫特55号后，巴丁拿出他的诺贝尔奖章给艾伦德的父亲看。“对此，我的父亲终身难忘。”[91]

户外体育运动让巴丁得到放松，并感到精力充沛。打球时，他很少用车，[92]宁愿选择步行大约4英里的路程来完成18洞的比赛，并设法避免自己的体形变得如晚年的父亲查尔斯那般圆胖。高尔夫球为巴丁提供了一个机会，让他表现出使之成为一个优秀游泳者、保龄球手、接球手以及伟大科学家的品质。对于最优秀的选手来说，高尔夫场地是另外一个征服挑战性问题以及培养“坚韧不拔的意志”[93]的领域。没有打过高尔夫球的人或许会以为这项运动只是在绿地上闲逛，但对巴丁来说绝非如此。每一杆都考验他的控制力。

高尔夫运动还考验选手们长时间的注意力，一场比赛一般要持续4个小时以上。多年以来，巴丁会抓住每个机会去玩这项运动。同科学家一样，大多数的高尔夫球手都要进行连续数年但却相对平淡无奇的操练，其中偶尔能取得几次成功。高尔夫球手越是培养起一种自信和乐观主义，他们就越能够长期地应用高难度技巧，并长时间保持这种状态。从短期效果来看，不论球打得好不好，一个球手都得到了积极和消极两方面的强化刺激。如果一个球手因为多次不成功的推杆感到泄气，或者因为某一次成功而过度兴奋的话，那么这个球手在比赛中就会失利。[94]

尽管巴丁喜欢同其他球手进行对抗，但最重要的是挑战自己以前的水平和得分。无论在乡村俱乐部还是在大学的高尔夫球场，他都是一个受欢迎的高尔夫球手。随着年龄的增长，他的手略微有些发抖，这或许是年轻时某次高烧留下的后遗症，但令人感到惊诧的是，这对于他的高尔夫运动来说几乎没有什么影响。20世纪70年代一直同巴丁打球的布雷说：“他来到球场，然后挥舞着球杆，仿佛没有任何问题。他挥舞

球杆的动作很流畅，非常漂亮。”[95]另外一位高尔夫玩家说，巴丁“向来是不紧不慢，在挥杆时也是如此”[96]。他中年时的最好成绩不到80杆，这对一个从事脑力劳动的人来说已是相当不错的了。即便他在六七十岁时，成绩也只下降到了相当不错的80多杆。[97]

巴丁喜欢高尔夫运动，因为它既是一种精神活动，也是一种体育运动。他在乡村俱乐部结识了许多球友。[98]组成的一个四人团体[99]（可进行两两对抗）包括巴丁、当地的一个商人兼多才多艺的业余漫画家凯克（Charles Keck）、农产品代表卡贝尔（Myron Kabel）以及体育学教授麦克里斯特尔（King McCristal）。韦斯特勒（Esther Werstler）的丈夫是另一位经常和他们一起打球的选手，她很感激巴丁经常向她询问有关医院的工作。约翰“从来不会让我感觉”[100]因为她是一个妇女而不希望她参与到运动中。

1969年12月，卡贝尔心脏病突发（后来痊愈）。凯克在一张庆祝他康复的卡片上画了一幅漫画：其他3位站在乡村俱乐部高尔夫球场第一个发球区的高尔夫车边瑟瑟发抖，焦急地等待着他们的朋友。画上的约翰说：“再给他打个电话吧！”[101]凯克希望有一瓶波旁威士忌酒让他镇定下来，而麦克里斯特尔只是嘴里发出“悉——”的声音。

对他的高尔夫球友来说，约翰只是另一位优秀的高尔夫球手。他们不在乎他在科学方面的知名度。[102]斯利克特很喜欢这样一个故事。巴丁在尚佩恩乡村俱乐部的一个老朋友转身对他说：“告诉我，约翰，我一直想要问你。你到底是以什么为生的？”[103]斯利克特评论道：“我想如果我像约翰那样两次获得诺贝尔奖，我会想方设法在谈话中提及获奖的事情的。”

跟约翰的兄弟比尔、朋友奥斯特豪特以及同事布喇顿和哈隆雅克一样，巴丁的几个球友用他们的热情弥补了他的沉

默寡言。一天,科尔曼很高兴地看到饶舌的伯蒂斯(Louis Burtis)兴高采烈地进行比赛,而巴丁则愉快地保持着沉默。[104]

巴丁不断从高尔夫比赛中寻求乐趣,即便他不在绿荫场上也是如此。20 世纪 60 年代末的一个春日,巴丁和他的同事哈里·德里克默(Harry Drickamer)在一个招待会上闲谈。这个世界似乎四分五裂了。全国各地的学生都在抗议美军入侵越南。国民警卫队被派往厄巴纳—尚佩恩以控制局面。简颈椎骨折,不得不戴上了支架,德里克默的女儿最近进行了一次矫正手术。哈里说:"伙计,最近不太顺吧?"[105]约翰答道:"不太顺。"经过了约翰特有的长时间的停顿后,"他的嘴角露出了一丝笑容。眼角也露出了笑容,'你知道,哈里,'他说,'我在用铁杆练习击球。之后一切就变得不顺了。'"

获得第二个诺贝尔奖后,巴丁开始为 1975 年 3 月的退休作准备。在伊利诺伊大学执教了 20 年之后,他希望把所有时间都花在研究上。当新生们要求同他一起工作时,他礼貌地作出了解释:自己不可能带他们到毕业,因此不想让他们半途而废。

巴特就是这些学生中的一个。1972 年,他从印度来到伊利诺伊,希望能同巴丁一起工作,但当巴特完成了早期的一些研究工作之后,巴丁已经不带学生了。尽管感到有些失望,但当巴丁把他推荐给麦克米伦之后,他感觉好多了。"如果不能师从约翰的话,那么比尔是我能够找得的一个好导师。"[106]麦克米伦在超流体氦的问题上指导了巴特。巴特完成博士学位后,同 10 年前的麦克米伦和二战后的巴丁一样,去了贝尔实验室。巴特感到,通过与麦克米伦一起工作,自己"继承了约翰所倡导的一些物理学研究风格"。

巴特学习了巴丁讲授的最后一门课——物理 463,[107]这

是一门同量子流体相关的高级研究生水平课程，也是巴丁最喜欢的课程之一。课程的要求非常高，是当时受到关注的一个领域——这是伊利诺伊大学出了名的高级课程。课程要求学生们接受最少的指导，自学并解决问题。因为想要利用这最后的机会，学习两度获得诺贝尔奖的物理学家的课程，大约有60名学生报了名。通常报这门课的学生不会超过10个。因为大部分学生都没有对课程进行充分的准备，所以巴丁的教学方式很快就让班级的人数变成先前的数量了。

有人要求为巴丁的退休举行庆祝，但是当时的物理系主任西蒙斯(Ralph Simmons)必须考虑巴丁"对任何正式的退休庆祝活动感到厌恶"[108]。1976年10月15日，他想方设法把巴丁的退休庆祝变成了一个有关"凝聚体新领域"的研讨会。研讨会的晚餐菜单如下："多相小火鸡、尚佩恩香葤、斯德哥尔摩汁水肉丸、固态螃蟹、让娜清炖鸡汤、巴丁牛肉、桂冠土豆、晶体管烤西红柿、多体色拉、PNP小面包、超导果汁冰糕、一维或多维果汁。"整个活动还包括拉扎勒斯创作的几首歌。有一首歌是根据"共和国赞歌"的曲调哼唱的，歌词如下：

有BCS和APS(美国物理协会)
有PSAC(总统科学顾问委员会)
还与美国德州仪器公司和施乐公司结为朋友。
(你不希望那就是你吗?)
P—N结做成了晶体管
维格纳的训练一定要经历。
我们的约翰不断在前进!
(合唱)：
把你的希望放在电子上。
你猜测的是一对还是一个。
诺贝尔奖放入囊中。

我们的约翰不断在前进。[109]

在成为保留头衔的退休教授之后，巴丁依旧每天去办公室上班，有时会到物理系的图书馆研究最近的一些文章。他依然敞开大门，欢迎同事和学生打电话向他咨询。米勒是巴丁80年代中期的同事塔克(John Tucker)的研究生，他记得巴丁对于电荷密度波和高温超导性研究的最新理论和实验状况“出奇地了解”。当实验家们请巴丁解释实验现象或设计实验时，他表现出“固态物理学方面真正的百科全书般的知识”[110]。

同事们注意到巴丁退休后发生了少数几个变化，一个是他不再戴领带了。第二次获得诺贝尔奖之后，他看起来更为放松了，也更为友好了。他告诉记者：“在获得诺贝尔奖之后，你会感到更自信。”[111]在阳光灿烂的下午，他更多地出现在高尔夫球场。大家经常可以看到他把双腿翘在桌子上，让人回想起他在海军军械实验室的岁月，而不像是一个杰出的大学教授。他更愿与同事们进行闲聊。事实上，对他的同事来说，他们越来越难摆脱这样的谈话，甚至有时候因此而不能准时上课，因为巴丁有时会说很多话。到70多岁时，以前很少说话的人变得有些饶舌了。[112]

第十三章

涉足产业[1]

20世纪70年代末的一天，巴丁经过赫斯的办公室。赫斯是一位年轻的博士后，刚从奥地利到这里拜巴丁为师。赫斯曾经师从西格（Karlheinz Seeger），西格则在几年前同巴丁一起工作过。赫斯就如何选择某个恰当的物理学问题向巴丁请教。

巴丁慢条斯理地一边掰手指，一边告诉赫斯，选择一个适当的问题有3个必要条件。“首先”，要看看这项研究“是否存在一个技术基础”[2]。“如果你觉得某个理论具有可研究性，但从技术上来说永远也无法实现的话，你就是白干。”其次，这个问题必须具有挑战性，“因为如果它过于简单，可以在信封背面轻松解决的话，这个项目就结束了。”第三，这项研究必须有应用前景。“那是大多数基础科学研究者的目标。如果你正在从事某项研究，并希望它是有意义的，它对普通人来说就必须是有意义的。”当问及如何去对待那些没有实际应用前景的问题时，巴丁微笑着说：“我会选择另一个问题。你不必选择那些过于深奥的问题，但你必须选择能够产生重要结果的问题。”[3]

巴丁高度重视物理学的实用性，自然希望同产业界保持一种很强的联系，即便在他回到大学教书之后也是如此。他的朋友化学家伦纳德（Nelson Leonard）提到，巴丁在谈论科学、技术和产业间的相互关系时，总是“兴高采烈”[4]。3M

公司的科学家加洛(Charles Gallo)回忆巴丁在明尼苏达的矿业和制造业协会谈论高温超导体时,"从不谈论那些抽象而深奥的动机。他只强调巨大的实用价值和经济上的可行性。"[5]

巴丁同产业界的漫长合作始于1952年,当时他同纽约罗切斯特的一家小公司签订了合同。哈罗伊德公司对静电印刷术进行了投资,[6]这项技术在当时还很新,尚未得到发展。它在科学和机械方面的问题让科学家们感到气馁。没有人能够预测哈罗伊德公司对静电印刷术的投资能坚持多久。

1906年,哈罗伊德公司建立那一年,它在高质量照相纸的生产上占优势。它在强大竞争对手柯达公司的边缘生存。20世纪30年代中期,哈罗伊德公司兼并了雷克迪格拉夫公司,并获得了后者的影印技术,该技术需要使用哈罗伊德公司的照相纸。雷克迪格拉夫公司的德绍尔(John Dessauer)成为哈罗伊德公司的研发部经理。

1945年,德绍尔在柯达公司的《每月简报》(Monthly Abstract Bulletin)上看到了一条简讯,简讯提到一种名叫静电复印的技术。他立刻就想到了这项技术的商业潜力,并请哈罗伊德公司的总裁约瑟夫·威尔逊(Joseph Wilson)对此加以关注。[7]

静电复印技术的提出还不到十年。它是由一个专利律师卡尔森(Chester F. Carlson)发明的,卡尔森一直想要发明一种可以复印文件的有用技术。在研究了当时可以获得的照相技术——雷克迪格拉夫公司的影印技术和柯达公司的染料转印复印技术——之后,卡尔森设想利用塞莱尼(Paul Selenyi)首创的光电导性发明静电复印术。[8]有人曾劝这位匈牙利的物理学家把自己的想法应用于产业。卡尔森根据塞莱尼的定义,

开始研究如何让静电图像在光敏绝缘层上成形。这项研究工作使得他在1937年发明了静电电子摄影术,并在1943年申请了专利。[9]

为了把这项技术变成一种可盈利产品,卡尔森联系了许多公司,其中包括IBM公司、A·B·迪克公司和RCA公司。没有一家公司对此感兴趣,因为卡尔森建构的工作模式从未奏效过。但这个想法引起了俄亥俄州哥伦布的一家小型非赢利研究机构巴特尔纪念学会的戴顿(Russell Dayton)的关注。在柯达公司的《每月简报》中,德绍尔了解到巴特尔希望同一家大公司或大学实验室签订合同,以加深对电子摄影技术的研究。

哈罗伊德公司的总裁威尔逊同意德绍尔的看法:静电复印术同哈罗伊德公司的生产线是相吻合的。这样,哈罗伊德公司就同巴特尔签订了一个协议。一年后,也就是1946年,哈罗伊德公司从巴特尔那里购买了电子摄影的专利权。[10]1947年,这项技术被重新命名为"干印术"(xerography),这个词是来自于希腊语的"干"(xeros)和"写"或"画"(graphein)。威尔逊对卡尔森研究工作的支持部分来自于有保障的军事合同。这项技术可以用于制作存放军事档案的缩微胶卷。

巴丁同哈罗伊德公司的联系来源于德绍尔在几年后的一项决定:他希望依靠外界的科学家。哈罗伊德公司的一名员工克拉克(Harold Clark)建议让巴丁来担任公司的顾问。克拉克曾经在明尼苏达大学听过巴丁的课程,当他听说巴丁离开贝尔实验室之后就想到了他。德绍尔认为这样一位显赫的科学家不大可能同这样一家小公司合作,但是尝试一下未尝不可。[11]巴丁对静电复印过程的概念很感兴趣,并同意去马萨诸塞州的坎布里奇参加研讨会时同克拉克和德绍尔会面。

三人在查尔斯河畔散步时,谈到了科学和产业之间的关

系。巴丁还记得他在坎布里奇的哈佛大学读初级研究院时的快乐时光。倾听哈罗伊德公司的科学家解释复印机项目时，他又回想起自己在普林斯顿大学时曾面临的一项伟大任务：大学曾要求他把博士论文抄写两份。[12]毫无疑问，他同样为这项技术的巨大的社会和经济价值所吸引。后来，巴丁还补充说自己立刻被公司总裁威尔逊的理念所吸引，后者认为研究“对于我们的发展来说是一个关键”[13]。

巴丁很欣赏这家年轻公司的自我形象：它甘冒“为了长期的领先地位而牺牲自己短期内的有利位置的风险”[14]。于是他接受了德绍尔的请求。1952 年 10 月正式签订的协议要求巴丁每年到哈罗伊德的研究实验室来 6～8 次，当时的实验室“只是几间经过改装的木板房”[15]。1961 年，当哈罗伊德公司成为国际商业巨头的时候，公司改名为施乐。施乐 914 复印机被《财富》(Fortune)杂志评为“美国市场有史以来最成功的产品”[16]。

在哈罗伊德公司成长为世界 500 强公司的过程中，巴丁同公司的研究者一起就许多科学问题进行了讨论。举例来说，当硒被选作光电导材料之后，巴丁对特殊的设计步骤提出了许多有用的建议，诸如通过硒里面掺杂来更好地控制它的电特性，从而减少光电导盘在两次复印之间休息的时间(“疲劳延迟”)。他在 1958 年 2 月申请了专利，这项技术革新对于研究来说是一种巨大的贡献，但是却从未被直接运用到施乐的商用机上。[17]

每次去实验室接受咨询时，巴丁总会在早上作一个报告。两次访问的间隔期，巴丁会通过写信和打电话的方式向公司提出需要改进的地方。他对科学用人以及任命一个领导岗位提出了自己的意见。发展初期，哈罗伊德公司发现它很难吸引那些最好的博士。巴丁在公司担任顾问一职以及后来成为

董事会成员减轻了那些候选人的忧虑——担心自己无法获得自由或资源去从事尖端研究。[18]

施乐公司的科学家发现巴丁“会耐心地倾听他们的讲话”,给研究者们“一个机会把话讲完”[19]。但他那简短的讲话方式不禁让某些人“怀疑他是真正对这项工作感兴趣”,还是可能“出于好意不愿提出深入的问题”,以防他人看出他对差强人意的工作结果感到震惊。但即便是那些为巴丁的反应迟钝而困惑的科学家也会发现,“到一天工作结束时,他会提供关键性的指导。”

同世界最杰出的固态物理学家的联系也鼓舞了实验室研究人员的士气。施乐公司的科学家说巴丁提出了一个理念:“研究是去发现新东西而不是完善旧东西,”[20]最好的办法是“雇用最好的科学家,用最好的前沿科技去武装他们,让他们全力以赴地去工作”。此外,因为巴丁“非常善良、体贴、礼貌”,所以他致力于在“一个竞争激烈而自大的环境中建立一种人道主义的行为准则”。

巴丁的报告为施乐公司成功的产业研究提供了许多指导。举例来说,1978 年他规定只有“两种层次的努力”是可行的:“花大力气率先研发出世界公认的技术”,要么“稍稍花些功夫跟上其他方面的发展”。[21]对于施乐公司在纽约韦伯斯特的设备,他赞成采取第二种努力方式,鼓励它的科学家去选择“非主要问题”,诸如光电子光谱学,这将让施乐公司与其他主要的研究中心,诸如同宾夕法尼亚大学的表面项目进行合作。他认为这样的战略将使施乐公司“花费总项目中较少的成本成为占领先地位的研究机构”。

巴丁在施乐公司的讲话经常表达出这样一种理念:“发明并不是由真空产生的。”[22]大多数发明是“根据现实需要而产生的,因此在完成基础研究之后,有必要制定一个实际目

标;否则,研究将会毫无用处”。回忆起自己在晶体管发明之前,也就是在贝尔实验室卓有成效的工作时,巴丁认为半导体研究小组所从事的团队工作是“产业界应该完成的基础研究工作”。提到贝尔实验室在改进通信技术以及凯利在20世纪30年代末更新换代继电器和真空管的目标,巴丁说:“那些从事基础研究工作的人,应该清醒地意识到公司的长期目标以及他们正在从事的特定研究计划。”[23]1973年,他担心施乐公司那些“功于算计者”所提出的预算条件太强调“机会主义,只紧跟时尚潮流就行”。他认为缺乏长期的规划会“因为重点的逐年改变而使得各项任务和目标产生太多的不确定性”。

巴丁不断强调,最能产生收益的关键,就是把科学和工程学结合起来。晶体管就是一个例子。20世纪30年代,当贝尔实验室的工程师受挫于真空管的功能低下时,他们的科学家同事提出建议:“至少从理论来说,有可能通过半导体来控制电子流动。”[24]尽管在当时“没人指导如何做到这一点”。数年以来,“半导体已经成为物理学中最受欢迎的研究领域之一。”之后,晶体管的发明为“仪器的发展以及半导体的基础研究开辟了一个新时期”。这个例子表明了一个重要的循环:产品发展促进基础研究发展,反之亦然。

巴丁有关科学和产业研究之间关系的诸多讲话和文章,表达了用科学最大限度地为公众谋福利的理念。他认为应该首先考察技术基础,然后再去发展相应的科学,“而不是在科学中发现一些东西,然后去寻求它的应用。”[25]他强调:如果一项科学发明的目的不是把技术“应用到有用产品,尤其是同那些既有产品进行竞争的产品身上”,那么这种发明是很难产生的。就晶体管的发明来说,技术需要引导了科学,因此才有可能产生直接的社会效益。

巴丁不同意对基础研究和应用研究作出的区分。“国家科学基金会把基础研究定义为直接指向更完全的知识和理解，而非实际应用。我不同意它强调这一定义的后半部分，因为我相信，许多基础研究都在头脑中应用后才得以完成。”[26]他提醒他的观众：导致晶体管的研究项目“是一个基础研究，因为它是为了直接研究半导体的电特性。但是为这个项目工作的每个人都意识到了它的长期目标及其重要性”。他从根本上相信：“在基础研究和应用研究之间不存在明显的分界线。”[27]

巴丁还强调基础研究在发展高级技术过程中的重要性。在为施乐公司组织的一次研讨会上，他为公司应该支持基础研究列出了4个相互关联的原因。(1)研究使得工业研究不只是一个固定的职能。他提出了一些“有可能取得重大突破的领域”[28]来说明这一点。(2)它为变革提供了条件。(3)它有助于发展这样一种人事制度：可以依靠专家来解决棘手的问题。(4)它保证了产业同科学之间的联系。这样，公司通过支持基础研究，避免了1961年皮帕德在名为“猫和奶油”的演说中间接提到的“科学的尘暴区”[29]。

巴丁首先强调了人在产业科学方面的重要作用，他认为“最困难的是找到人才——具备领导力的合格科学家”[30]。他鼓励产业界向学术界学习，为它们最优秀的科学家提供最大的自由。巴丁把贝尔实验室的“开明的研究理念”当作一个可以效仿的模式。他认为，科学家应该能在组织结构的职责范围中自由选择研究课题，并“发表他们的成果，参加科学会议，去大学访问和演讲，偶尔放松一下以恢复精力。换言之，他们应该充分投入到科学界之中”[31]。巴丁还认为，产业界的科学家应该寻找机会让他们的工作变成可以赢利的产品。他指出：“创造性的工作是艰难的，这就需要为持续的工作提供

一种动力。”

1961 年,巴丁被选为哈罗伊德公司董事会的董事。[32]哈罗伊德公司也在那一年改名为施乐公司,同年公司的股票在纽约证券交易所上市。作为董事会的成员,巴丁不仅继续为正在进行的项目,而且为包括管理方针在内的远期目标提供建议。那年,他向德绍尔指出:“计算机的一个主要问题是一个好的可快速访问的内存,”这“或许是施乐公司未来的发展”方向。[33]此外,公司不断发展的规模表明电子研究项目“将越来越依赖于整体竞争力而非专利保护”。

20 世纪 70 年代,巴丁还为施乐公司的科学家委员会技术咨询小组(TAP)提供服务。委员会成员一年碰面两次,评估施乐公司各个实验室的研究活动,并就研究活动的总体质量对高层管理者提出建议。杜克(Charles Duke)认为巴丁的建议帮助施乐公司“在 20 世纪 70 年代有机和无序固态领域构建了世界上最好的工业实验室”[34]。

1968 年德绍尔退休之后,巴丁向施乐公司推荐哥德曼(Jacob Goldman)作为公司研发部的负责人。巴丁和布喇顿以前经常同他在美国物理学会会议期间一起打牌。巴丁一直佩服哥德曼在连续 13 年担任福特汽车公司科研实验室主任期间的所做所为,尤其是他擅长吸引顶尖的研究者并使他们充分发挥作用。

当哥德曼推动成立施乐公司帕洛阿尔托研究中心(PARC)时,巴丁对此表示支持。[35]作为董事会的成员和 TAP 的主席,他积极地支持研究中心以及纽约韦伯斯特研究所的发展。

帕洛阿尔托研究中心刚成立,公司就开始面临新的挑战。[36]施乐公司关键性的硒的专利已经到期,公司复印机的垄断地位受到了包括 IBM 和柯达在内的其他几家公司的挑战,

它们试图进军复印领域，并吹嘘自己拥有了施乐尚未整合的新技术。随着其他几项专利技术期限的临近，作为超级公司的施乐公司显然要面对反托拉斯法案的制裁并可能陷入困境。公司未能完成1970年11月和12月的利润目标，这对于施乐在70年代早期面临的危机来说无疑是雪上加霜。另一个问题是施乐公司不顾巴丁的反对，兼并了名为“科学数据系统”的计算机公司(SDS)。1975年SDS公司倒闭时，施乐公司的损失超过10亿美元。

施乐公司的研究计划遭到了来自会计师和工商管理硕士等“设计专家”的反对。[37]他们更关注改善公司短期的账本底线，而不愿支持科学家们所从事的以长期投资为目的的研究。在1971年的董事会上，哥德曼大发雷霆，而其他的董事们则讨论是否要放弃PARC。鉴于公司只给新研究中心提供了小额固定投资，这不一定能取得经济回报，放弃PARC似乎是一个明智之举。

巴丁和另一个科学顾问、来自康奈尔大学的斯普劳尔(Robert L. Sproull)对此表示反对。他们认为PARC的170万美元的预算是施乐公司全部预算费用的九牛一毛。削减经费将会使公司丧失新产品和新市场开发的大好机会，这种做法是一种目光短浅的，也是不负责任的行为。董事会的舆论得到逆转，PARC被救活了。在接下来的20年里，PARC的计算机科学家为即将到来的计算机革命奠定了坚实基础，包括第一台图形显示器计算机Alto[38]、第一个简易的手握“鼠标”输入设备、第一个家庭用字处理程序、第一批地区性通讯网络、第一个面向对象的程序语言、第一台激光打印机。当时的施乐公司为何没有在20世纪80年代在计算机制造和营销方面占据主导地位，这依旧是科技史学家们所重视的一个课题。

1973年，公司迁至达拉斯，并决定重新确定公司的办公

产品和信息系统开发工具，这限制了公司把数码办公技术推向市场的能力。达拉斯的得克萨斯美国德州仪器公司在晶体管研发和生产方面占据着美国市场，但那对施乐公司毫无益处。哥德曼说："达拉斯的文化同一般的数码世界，尤其是PARC的文化是格格不入的。"[39]他认为这次搬迁是施乐公司发展史上最大的失误。他同施乐公司的大多数科技人员一起反对这个决定，但是高级管理层以诸多理由，如劳动力、税收和交通等成本方面的考虑，对他们的反对不予理睬。

巴丁是最后一个得知施乐公司决定在达拉斯建厂的人。在打算寄给施乐公司的信中，他匆忙加了一段话：

> 就我看来，仅从远离施乐公司及其外部技术圈的优势这一点上来说，这对公司的进一步发展是一个巨大错误。美国德州仪器公司之所以成功，是因为它能够倚重贝尔实验室的技术，而我们没有这样的资源。[40]

巴丁还说，他希望这样一个重要决定能够推迟到一周后的下一次董事会上讨论。他对此十分关注，那天晚些时候他写了一封私人密信给施乐董事会的主席麦科洛（Peter McColough），详细阐述了他反对这个计划的理由。巴丁说"很难吸引那些公司成功所需要的关键人才去那个地区"[41]。而且，达拉斯"远离东海岸的波士顿—华盛顿复合体以及西海岸的主要活动中心"。

但为时已晚。[42]在麦科洛收到巴丁第一封信时，公司已经作出了决定。对于公司为了短期的成本节约而不咨询董事会和主要的科技顾问就作出这一决定，巴丁深感不安。[43]

1974年，巴丁退出了施乐公司的董事会，但是他继续为公司充当了6年的顾问。1980年，在同公司合作了差不多30年以后，巴丁辞去了公司顾问的职位。他写道："问题并不在于我去公司的次数，而在于我要尽量跟上各个科学领域的知

识,这样我才能真正了解问题所在。"[44]巴丁同德绍尔和哥德曼保持了终身的友谊。1976 年,德绍尔和他的妻子匿名为克拉克森大学捐钱以设立奖学金,他们希望巴丁同意这个奖学金能够以后者的名字命名。巴丁写信给德绍尔:"你的名字才值得纪念。你对新技术领域的开辟和发展远没得到回报。"[45]然而,德绍尔还是坚持以巴丁来命名奖学金。约翰回复说,他"对此深感自豪,这表明了我们多年的友情"。

巴丁在其他公司担任顾问的时间相对较短。1954 年,他开始担任通用电器(GE)公司的顾问,在 20 世纪 50 年代末和 60 年代初,他每个月去实验室一趟。他在那里主要同那些自己感兴趣的科学家会见。1959 年,当哈隆雅克离开军队,到纽约锡拉丘兹通用电器公司的研究中心工作时,两人偶尔会在通用电器公司的斯克内克塔迪实验室碰见。哈隆雅克注意到导师的名字出现在他三楼的办公室里,身份是半导体小组的组长。[46]1961 年,巴丁辞去通用电器公司顾问的职位,加入了施乐公司董事会。[47]

巴丁还担任了 1976 年成立的超科(Supertex)公司的顾问兼董事,这家公司是由巴丁以前的学生亨利·C·包创立的。超科专门设计、生产集成电路和电器元件。巴丁把这份咨询工作看作是对以前学生的教导,因此只是象征性地收取一些报酬。[48]

巴丁至少两次提出建议,最后挽救了超科,使之避免了冒险性的投机。他建议公司不要到印第安那建立一家为汽车制造业提供半导体的工厂。在最近一次去印第安那通用汽车公司时,他发现那里的工人工资过高,而且不愿意穿安全装备。与之形成鲜明对比的是,硅谷的工人则毫无怨言地接受了保护性的安全装备。[49]巴丁警告超科,工人间的矛盾会成为工厂

的顽疾。包从未为自己拒绝了印第安那发来的邀请而后悔。同样,巴丁反对去温哥华建厂这个看似充满吸引力的决定,超科听从了巴丁的建议。巴丁认为加拿大的社会民主政府较之于美国政府对企业更为苛刻。

包的父亲,一位成功的制造商也在超科的董事会中。老包和巴丁在每次开董事会之后总要一起打高尔夫球。包也开始学习高尔夫,为的是可以同他们一起玩,但他从未战胜过他们中的任何一个。包注意到,巴丁颤抖的手在午餐时很难握住叉子,但一碰到高尔夫球杆,颤抖就消失了。[50]

巴丁从未正式担任过索尼公司的顾问,但他多年以来一直同公司保持着一种友好关系。1989 年 10 月 6 日,索尼公司以巴丁的名义向伊利诺伊大学捐赠了 300 万美金,以向巴丁及其科学贡献致敬。巴丁的老朋友、索尼公司研发部主任菊池真琴告诉记者,晶体管技术开启了现代科技发展的大门。"约翰·巴丁是一位伟大的科学家,这是我们纪念他的一种方式。因为(伊利诺伊大学)对他来说曾是那么美好的一个地方,我们希望这一奖学金能够吸引(其他人)继续来这里。"[51]

经过长久考虑之后,遴选委员会确定哈隆雅克为第一位接受索尼公司教授职位的人选,让他担任电子和计算机工程物理学约翰·巴丁教席。菊池低声告诉简:"巴丁博士曾经(轻声地)告诉我,他希望尼克能够接替他的教授职位。他非常谦卑地补充了一句:'我并没有把这话告诉遴选委员会,这只是我个人的希望而已。'"[52]

1990 年 5 月,巴丁最后一次访日,这是为了感谢索尼公司在他担任伊利诺伊大学教授职位所作出的贡献。中岛贞夫回忆起巴丁在"东京的最后一天,邀请了许多日本朋友,也邀请了我和我的妻子。宴会的气氛就好像一个家庭的团聚。大家平

心静气地聊天。我想他喜欢以随意的方式同他人交往”。[53]

为了加强当地的产业界和伊利诺伊大学之间的联系，巴丁帮助建立了中西部电子研究中心。[54]目的是帮助产业界提高它们的研究能力，并同大学的研究保持联系。正如巴丁向伊利诺伊州长办公室解释的那样，中心主办各种主题研讨会，并建立了一个工业研究访问者计划：鼓励大学的科学家同中西部的公司诸如3M、霍尼韦尔和德科等保持联系。[55]

巴丁的电子工程系的同事保罗·科尔曼开玩笑说：“我和约翰一起出差时，我们一起去和公司的总裁聊天。如果我和其他人去公司的话，那么我们就和看门人聊天。”[56]科尔曼清楚地知道其他的一些著名科学家“忙于从事他们的获取诺贝尔奖的研究工作，不可能有时间乘飞机在暴风雨中飞到某个公司，帮助保罗和他的同事同产业界进行联系。”

巴丁一般会先去工厂参观，然后他会发表简短的讲话，接着他会同在场的科学家和工程师一起讨论公司的问题和目标。之后，参观者和公司的管理层人员会共进午餐，通常还会打高尔夫球。一如去其他地方，巴丁的这些旅行“保持低调，有些害羞，说话很慢。但是到高尔夫球场时，天哪，那个家伙真是强……他会尽全力击败你”[57]。有时公司会在一块牌子上刻上打球的日期和高尔夫选手姓名，以纪念巴丁的造访及球赛。巴丁在伊利诺伊大学的同事乔治·拉塞尔成为密苏里大学的校长之后，在墙上还保存着这样一块牌子。

巴丁和他的那些工程学同事在公司计划研发策略时会提供建议。1985年，参观了3M公司后，加洛写信向巴丁表示感谢：“我们3M公司的全体员工都很重视你提出的‘高温超导性值得研究’的建议。”[58]

来大学参观的公司人员也会帮助公司聘用那些有前途的

学生。如果公司的电脑或其他设备出故障了，那么科尔曼就会从大学带来一个技术专家。反过来，大学也为他的学生带来了工作的机会和其他一些附带利益，诸如因为公司技术更新而把全新的设备捐赠给大学等。[59]

巴丁始终相信：学术界和产业界科学家之间的交流会带来最快速的科学发展以及最大的社会福利。他不但把这种理念融入到他的咨询工作中，还把它融入到自己所从事的政府和职业学会活动中。

第十四章

科学的公民

巴丁尽力履行一个科学家的社会义务。其中一项有成就感的工作是从1959年到1962年期间担任总统科学顾问委员会(PSAC)的委员。这个委员会由总统艾森豪威尔领导,后由肯尼迪继任。1960年5月,他前往伊利诺伊州立师范大学,在优等生荣誉学会毕业典礼上向学生听众谈到了自己的这段经历。

巴丁告诉他们,从本质上来说,许多社会问题在于"很少有人能够透彻地理解当代生活的许多问题"[1]。他鼓励学生们考虑去政府部门工作或从事教学工作。然后他继续向他们解释PSAC是如何通过分析研究政府的研究项目支出、建议政府应如何把资金分配到不同领域和项目(诸如空间探索、发展导弹计划或科学教育)来协助政府的。他告诉他们,委员会"的工作是卓有成效的"[2]。

PSAC的成立缘于苏联1957年10月发射了第一颗人造地球卫星。苏联已经在空间探索方面击败了美国,这让美国人大吃一惊。11月份,艾森豪威尔创立了PSAC,以便让科学家同总统办公室的联系更为紧密。他任命麻省理工学院的院长基利安(James Killian)担任委员会主席,并作为他的科技"特别助理"[3]。基利安代表委员会参加内阁会议和国家安全会议。

然后基利安又邀请了18位杰出的科学家来新的委员会

工作，他们负责提高美国的科技竞争力，并使之反映在政策的制定上。20 世纪 60 年代中期，在 PSAC 工作的斯利克特说："他们在寻找通才，研究小组的每一个成员必须具有特殊经历和专长，他们必须有广阔的视野和独到的观点。"[4]后来，在巴丁进入 PSAC 的第一年，杰出的化学家基斯佳科夫斯基（George Kistiakowsky）接替了基利安的位置。

PSAC 成员的一个最为重要的职责是同各种科学组织和委员会进行商讨，然后反馈讨论结果。PSAC 科学家们会同各种各样的专家坐在一起，向他们询问"各种在不同领域可能出现的问题"[5]。巴丁说 PSAC 的"大多数实质性的工作"是由专家小组的两三名成员或一些外部专家完成的。专家小组面对的是一系列重要的课题：防御战略、导弹、核试验、计算机、空间科学、科学和工程学教育。委员会的全体成员每月会面两次，在白宫隔壁的行政办公大楼评阅报告。"我可以向你保证：在那里开会时，经常可以听到关于各种问题的激烈讨论。"一旦通过，报告就会提交给总统，然后传达到适当的政府机构。

巴丁把解决物理学问题的技巧应用到分析政府对科学所起的作用中。举例来说，他代表 PSAC 联系了国家科学院的大气科学研究小组，并建议：为了长期规划各机构之间的项目，"最好把这个研究领域分成若干个研究区，并建立各种积极的政府和非政府委员会，让委员会来执行各个领域的计划。"[6]然后就是通过大气科学部际委员会（ICAS）的审查把各委员会的工作整合在一起。他告诉肯尼迪总统的科学顾问威斯纳（Jerome Wiesner）："就我看来，ICAS 的问题在很大程度上取决于负责科学规划的各部门之间有效的跨部门计划。"[7] 10 个月前，他告诉基斯佳科夫斯基："我们所需要的是一个制定政策的组织，让它来协调并负责各科学机构的工作，对各项

任务进行评估，提出新的计划，评估并支持预算等等。”[8]

巴丁还谈到了国家的科学经费预算：“一段时间以前，科研迫切需要资金，可以说任何资金的增加都是需要的，但是现在的情况则有所不同。我们必须要评估我们的科学资金预算，特别要注意让它在一个广泛的基础之上健康发展，不要让我们的努力白费。”[9]

巴丁认为政府不应负担所有研究项目的经费。“我更倾向于由被援助机构来负担基础研究的经费。”[10]他用以下理由来支持自己的观点：

a）如果支出被分担的话，那么预算无须过于严格。

b）如果支付包括高级研究人员在内的所有费用，那么就不要限制大型研究机构的发展。顶级研究机构的发展将以牺牲那些小型研究机构为代价。

c）应该积极鼓励开拓其他资金来源。

d）如果支出被分担，而且有其他资金来源的话，那么研究机构就有更多的自主权，更不用担心被联邦政府所控制。

e）科研对于任何一个有研究生教育的大学来说是一个公认的职能，大学有义务支持科研发展。

同巴丁一起在 PSAC 供职的科学家还包括皮奥里、西里尔·斯坦利·史密斯、钱斯（Britton Chance）和西博格（Glenn Seaborg）。西博格说：“我们认为这项工作非常重要，我们同艾森豪威尔总统保持着良好的关系。同他见面时，他总是认真地对待我们。”[11]巴丁和西博格离开后，在 PSAC 供职的斯利克特对此表示认同：“在委员会工作的每个人都热爱这份工作，每个人都干得很卖力。”[12]尽管任务很繁重，但是巴丁感到，和这样一个被赋予重要社会使命、由许多杰出成员组成的委员会一起工作是令人愉快的。艾森豪威尔总统离任之后，巴丁写信说：“我为能在你的领导之下为政府服务而深表

谢意。”[13]

PSAC 的工作让巴丁更关心重要的科学政策项目，如军备控制、空间科学、工程学和科学教育、外交政策、核武器的大气试验等。[14]艾森豪威尔和肯尼迪认识到科学在国家中的重要作用，他们也愿意倾听杰出科学家们的意见，这一切都让巴丁感到鼓舞。最终，PSAC 的工作为国家航空和航天局（NASA）的研究奠定了基础，促成了（肯尼迪总统任期时出台）一项禁止核试验的条约，加强了美国的科学教育。[15]1963 年初，巴丁写信给肯尼迪总统：“在杰出才能的威斯纳的领导下，全体委员会成员集合全国各地的专家知识和智慧以解决各种问题，这是一个非常有效的手段。”[16]

从 PSAC 成员布鲁克斯（Harvey Brooks）那里我们找到一个名为《关于联邦政府的研究和发展事项》的备忘录，其中包括一系列巴丁手写的便条，它们为我们了解巴丁关于政府和科学之间的相互作用的思想提供了线索。[17]在“政府如何衡量专门的研究机构、专门的研究领域以及政府支持的质量和有效性”的问题下面，巴丁写上了一个词：“专家。”专家是社会利益的仲裁者，这一进步主义理念深深地植根于巴丁的家庭史及其科学生涯。尽管他意识到社会进步的新理念往往来自于社会中较年轻的成员，但他还是坚信，让那些经过专门训练、具备丰富经验的人来衡量社会利益是最合适的。

在回答“联盟政府应如何确定基础科学和应用科学的主要专门项目”时，巴丁的立场更为民主。他写道：“国会的职责。”就巴丁看来，国会在建立和通过预算时被赋予了一种责任，代表公民的最大利益。

在另一个有关调整联邦资助项目和“正规教育的程序和机构”问题后，巴丁写道：“博士后。”他一直强调教育的重要

性。1959 年,他告诉基斯佳科夫斯基:科学的研究生教育“是我最感兴趣的问题”[18],他把博士后教育看作是培养年轻科学家的一个重要途径。

布鲁克斯备忘录中的另一个问题是:“在支持基础研究时,政府如何保持自上而下的指导和自下而上的积极性之间的平衡呢?”[19]巴丁的回答是:“多种形式的支持是重要的。”他认为科学家应该具有追求自己研究兴趣的自由,即便这些兴趣同某个特殊的基金机构如国防部的当前目标是不吻合的。尽管面向项目的机构其目标和利益应该为从中获得资助的科学家所考虑,但是,他们也有权利和社会义务去从事有可能的基础研究。在可以获得多种资金的前提下,研究者可以平衡这些相互冲突的利益。

1969 年,参议院多数派领袖曼斯菲尔德(Mike Mansfield)促成了一项军事授权法案的修正案,禁止国防部资助那些同军事目的没有直接关系的项目。巴丁强烈反对曼斯菲尔德修正案,并于 1970 年 3 月写信给美国众议员达达里奥(Emilio Daddario):这个修正案“从长远来看将使得国防部不可能支持大学的基础研究”[20]。它将对高质量的项目产生“严重的负面影响”,结果“只能是灾难性的”。他强调,军队资助的研究项目让美国经济保持繁荣,并同时为国内外的消费者研发出新技术。“一旦美国丧失了技术上的领先地位,那么就很难再重新获得。”他建议“或者在 1971 年的预算中不考虑曼斯菲尔德修正案,或者重新对修正案进行修改”,以保证诸如固态物理等显然同军事相关的科学研究的基金。

尽管巴丁相信政府有责任为科学教育提供资金,他也意识到某些类型的项目从政治上来说是不可行的。西博格曾担任 PSAC 基础研究小组和研究生教育小组的组长。在一份被称为“西博格报告”[21]的著名文件中,他提出基础研究和研究

生教育“应该紧密结合起来”。委员会在1960年4月18日讨论这份报告时，巴丁指出：尽管从科学教育的观点看来这是可行的，但是“政府直接指导或对大学进行任命”的时机尚未成熟，“政府直接对大学拨款有可能产生政治问题”。相反，他建议“那些在大学里没有教学任务的搞研究的科学家可以暂时负责指导博士后”。

在PSAC文件中找到的另一张便条上，巴丁再次强调了在各个领域拥有一流科学家的重要性。在考虑“决定某些特殊学科的发展因素时”[22]，他把“可以获得的人力资源”添加到包括“科学发展前景、安全收益、民用收益和名誉收益”等考虑项目中。考虑到投入科研中的大笔联邦资金，巴丁认为有必要为投资的研究领域和资金的多少制定一个评估标准。1960年，他写信给拉比：“我认为要最大限度地支持那些能够充分利用每个美元并带来生产力发展的研究项目。提供更多支持有利于更快地实现目标，但利润则会急剧减少。”[23]

巴丁在为PSAC工作的前后为其他政府机构提供咨询。第二次世界大战为科学家例行地同政府机构进行合作建立了一个模式。同大多数在二战期间为国防项目服务的科学家一样，巴丁一直同政府保持着联系，多年以来为政府提供各种服务。举例来说，1951年春，他接受了海军研究办公室（ONR）提供的顾问职位，并签订了一份合同，同意提供免费咨询。他也是塞茨领导的固态物理专家小组的成员之一。

冷战期间，这样的合同要求提供忠诚信息报告和一份宣誓书，保证科学家不是“共产主义或法西斯主义者”[24]，不会从事“任何颠覆美国政府的行动”。尽管巴丁讨厌红色恐怖的狂热[25]，但是他没有理由不在诸如海军研究办公室的合同上保证效忠。同样，在1952年，当成立两年的国家科学基金会（NSF）要求巴丁为建议委员会充当一年的数学、物理学和工

程学分部顾问时，需要对他进行安全调查，以确保政府为他提供的技术信息不会“危机国防和安全”[26]。在确定任命之前，他需要签署一份宣誓书，发誓他既不是一名共产主义者也不是一个法西斯主义者，不会参加任何颠覆活动。后来巴丁还为其他类似的委员会服务，诸如人工影响天气变化特殊委员会。[27]

1965 年，巴丁受命加入专利系统的总统委员会。[28]在这个包括发明家、商人和专利律师在内的 14 人委员会中，巴丁是仅有的一位科学家。他为委员会服务了两年。1966 年夏，巴丁写信给（委员会的另一成员）马尔默（Alfred Marmor）：“我强烈地感到技术信息快速和自由的交流是增强美国经济的主要支柱，在这方面我们同欧洲不同。”[29]他认为美国的自由交换专利系统是保持经济权的“一个主要原因”。并非每个人都认为宽限期是必要的，但巴丁指出“宽限期是有意义的，因为它使得科技文章可以很快得到发表，专利产品在申请美国的专利之前在市场上得到验证”[30]。

1965 年，林登·约翰逊（Lyndon Johnson）总统授予巴丁国家科学勋章，这是美国对科学成就的最高级别的表彰。第一块国家科学勋章在 3 年前颁给了冯·卡门（Theodore Von Kármán）。勋章认可了一个科学家长期以来的工作对当前和对未来（可能）产生的影响。巴丁的肖像也作为富兰克林造币厂的“科学奖章历史”[31]的一部分，被刻在了“100 枚科学史上最伟大的事件纪念银质奖章”中的一块上。这一具有纪念意义的收藏品包括了哥白尼、伽利略、开普勒、牛顿、居里夫人和爱因斯坦的头像。

巴丁尽可能在外出旅行时打高尔夫。他最喜欢的高尔夫球场之一位于苏格兰圣安德鲁斯的一个小镇上。[32]这片场地

古老而具有挑战性，它的历史可以追溯到中世纪。圣安德鲁斯大学已经有400多年历史了，它的皇家高尔夫俱乐部也有200多年的历史了。整个场地位于海边的一个半岛上，周围的美景一览无遗。小镇弥漫着高尔夫文化，到处可以看到出售高尔夫用具的商店。

液^{4}He超流态的发现者艾伦（Jack Allen）是巴丁的好朋友，他在圣安德鲁斯大学任教。巴丁去欧洲时总会想办法拜访艾伦，他们既可以交流物理学问题，也可以一起打球。

1967年约翰和简拜访艾伦时，住在一个可以俯瞰大海的小旅店里。旅店历史悠久，海边到处是锯齿状的礁石。某个周日的上午，当杰克和约翰去打高尔夫球时，简决定独自去海边散步。在攀爬几块大岩石时，石头上的水草让她滑了一跤，掉在了下面的礁石上。海滩上的人把她送往最近的诊所。约翰得到消息后马上去看望她。[33]

简颈椎骨折，需要送往邓迪大学医院。整形专家说简还算幸运，既没死亡也没瘫痪。简写信告诉妹妹："几乎一点都不痛。大部分的不适来自于对新姿势的适应以及牵引。"[34]治疗包括佩带一个支撑脖子的撑架，需要卧床6周。

因为要延长在苏格兰的逗留期，巴丁不得不取消了同施乐公司的德绍尔的会面。得知了简的消息之后，德绍尔联系了伦敦分公司，公司"马上送去了一台投影仪"[35]以帮助简在卧床期间进行阅读。但整形医师想出了一个更好的办法。他为简配了一副玻璃眼镜，镜片的右侧带有镜子，这样简就可以通过这个简易设备来阅读放在胸口的书了。当约翰不得不把施乐公司好心送来的投影仪送回去时，"他感觉有些委屈"。[36]

简出事后的6个焦虑的星期中，巴丁呆在圣安德鲁斯，早上给简打电话，下午去医院探望她。他认为在圣安德鲁斯期间购买一套高尔夫用具比租用更划算。他们回家后，"巴丁

的高尔夫球杆”[37]依然留在圣安德鲁斯大学的物理系。这是巴丁在他最喜欢的地方之一送给他同事们的礼物。简告诉艾伦，约翰“度过了多年以来最好的一个假期，因为在通常情况下，他是一个工作狂。”[38]

艾伦还同巴丁有着其他的一些兴趣爱好。在1958年的莱顿低温会议（LT6）上，巴丁、艾伦、阿姆斯特丹的德博尔（Jan de Boer）和麻省理工学院的柯林斯讨论了世界上废弃氦的危险性。他们提出一个计划：从得克萨斯阿马里洛的土地上提取氦，然后再把氦放置在空井中留待使用。低温物理学家认为，没有足够的氦可以使用的话，“长期的技术发展”[39]会中途夭折。巴丁写道：“使用超导体来发电和传输就是一个例子。如果这个办法得到广泛采用的话，那么就需要大量的氦。”巴丁和其他科学家联系了议会的一些成员，通过同一些私营生产者签订协议，这个办法得到了实施。

1971年，当尼克松（Nixon）的内阁放弃了这项计划之后，合同被取消。[40]巴丁写信给艾伦：“对国会因为亚里桑那州和科罗拉多州的气井出产氦而降低了阿马里洛出产氦的价格而终止计划表示悲哀和愤怒。”[41]为了挽救这个计划，巴丁写信给美国科学院国家研究委员会的奥迪肖（Hugh Odishaw）博士。“这一保存计划的初衷在于它会在适当的时间产生经济回报，但现在那一初衷已不复存在。我们不需要理由就可预计，在不远的将来（比如说20年）——即便不再有商业囤积氦的行为——氦会供不应求。”[42]对这项计划的支持必须建立在保存的观点之上，“为后代保存唯一的、不可替代的资源。”他认为或许其他国家会愿意支付保存计划所需要的费用。“如果这项计划不能继续下去，那么未来的低温技术应用将会大大受到限制。”尽管他们未能挽救美国的氦保存计划，[43]但是巴丁和艾伦估计，已经实行的计划至少已经保存了大约

30 亿立方米的氦。

对巴丁来说,氦的保存计划和转让代表了一个巨大的潜在问题。他在 1974 年给同事的信中写道:“似乎我们的政治体系不可能制定任何真正的长期计划。”[44]此外,氦的保存“只是为后代保存资源的大问题的一小部分”。不到一年前,他曾告诉过一个电台记者:“多年以来,科学家和其他人已经认识到了能源危机。我们应该对此有所计划。”[45]他知道保护人类经济的自然基础的措施从政治上来说并不受欢迎,但是他坚持认为这是必要的。“我们制定的法律是要利用我们的自然资源,但是现在必须对此有所改变。从某一方面来说,这或许意味着重建我们的税收体系。”

15 年后,他几乎不再乐观。他说:“我最关注的是环境。我们必须学会不同的生活方式,更少地使用能源,排放更少的污染。我认为人们会越来越依靠在家办公,而非到处奔忙。”[46]他无法推测人类是否会懂得控制资源使用,但是他说:“我们必须对我们的行为负责。”

巴丁还支持类似于人口危机委员会这样的组织,它是一个致力于稳定全球人口增长的世界性组织。[47]早在环保运动之前,这一运动就已经得到了广泛的开展,他和 47 位其他诺贝尔奖获得者一起向肯尼迪总统和联合国秘书长吴丹(U. Thant)请愿,要求采取有力措施来减缓世界人口的增长。巴丁认为外交援助和节育是达到那个目的的可行办法。[48]他支持家乡的计划生育和环保团体塞拉俱乐部。[49]

巴丁在社会工作方面的一些努力有时适得其反。1968 年,他当选为美国物理学会(APS)主席,但这却变成了一个始料不及的负担。美国物理学会准备 1970 年在芝加哥的帕尔莫希尔顿酒店举行年会,而 1968 年民主党国民大会召开的当晚,芝加哥发生了暴乱。国家电视台播出了警察施暴的场面。

记者们真实地拍下了警察们试图把数千名示威者挡在希尔顿酒店之外时使用棍棒的景象。

许多专业学会取消了他们的芝加哥之行,以抗议芝加哥警察的暴行,芝加哥市长戴利(Daley)对此表示支持。美国物理学会的许多成员也希望取消会议,或者改变会议召开的地点。其他的一些成员则反对作为一个组织的美国物理学会表现出任何政治立场。赫林和一些人则认为,取消或转移会议地点"会让美国物理学会在一些问题上(不管可能多重要)上被利用,尽管这件事情与学会建立的初衷并无直接联系。"[50]

作为学会的新主席,巴丁发觉自己处于一个两头不讨好的调停者的位置。全国各地的物理学家写信给他,有些人的口气很尖锐。他采取了中立立场。即便美国物理学会想要改变会议地点,交通费也是难以承受的。[51]那时,几乎没有一个会议场所可以容纳近万人。1968 年 11 月 10 日,巴丁写信给希望改变会址的美国物理学会成员乔伊纳(William C. H. Joiner),向他解释为什么会议按原计划举行的原因:

> 如果我们重新安排会议的话,那么我们肯定会考虑大家的意见,甚至考虑少数人的意见。但是,我们已经同芝加哥的酒店签订了 1970 年的协议。到现在这个时候,我们很难再找到一个合适的会场……但我们还得举行会议,因为从法律上来说有义务这么做,但我们并不想以这样或那样的方式来讨论任何政治观点。[52]

巴丁在美国物理学会主席的任职期满后松了一口气。[53]芝加哥事件在当时给他带来了如此多的麻烦,"我的物理学工作几乎停止了"[54]。若干年之后,每当他听到某人同意担任物理学会主席时就会摇头。

1970 年,巴丁在担任国际理论物理学和应用物理学联合

会(IUPAP)低温委员会主席时也遇到了麻烦。抗议者威胁要破坏在京都举行的第 12 届国际低温物理学会议(LT12),巴丁负责此次会议的举办。日本物理学会(JPS)主席菅原正(Tadashi Sugawara)通知巴丁:如果同军方有联系的物理学家参加会议的话,日本物理学会的一些成员会来制造麻烦。然而,巴丁觉得因为政治原因不让物理学家参加专业会议是难以接受的。[55]

这个问题部分与如何定义军事研究有关,包括巴丁在内的许多美国科学家曾经得到军方的资助,但是他们并未参加武器的研究。3 月,他写信给菅原:"为了避免会议中可能产生的麻烦,你认为有必要不让军事机构代表参加会议,这让我感到很遗憾。"[56]

6 月初,同来自美国和加拿大的军事实验室的研究者会面后,巴丁再次写信给菅原:"这些研究团体根本没有参加武器的研究,把他们排除在外是不公平的。"[57]他还指出:"会议并没有牵涉到什么具体问题,很难看出会出什么大乱子。我对爱好和平和削弱军事机构力量的愿望表示同情,但是示威者应该找出一些更值得抗议的事情来。"[58]

因为这个事情带来的麻烦,巴丁同苏格兰的艾伦进行了联系。[59]艾伦在巴丁之前担任低温委员会的主席,他认为,非美国人采取的强硬立场可能更为有用。艾伦知道 IUPAP 制定过一个政策:允许所有具备资格的科学家参加会议,而不考虑他的资助者。1957 年,西德代表团没能成功地阻止东德的科学家参加罗马会议之后,IUPAP 的大会制定了这一规则。得到 IUPAP 主席的同意之后,艾伦同菅原进行联系,告诉他,如果任何人因为政治关系而被禁止参加会议的话,他们将立即取消会议。尽管菅原心存疑虑,但他很高兴得到了 IUPAP 的支持,同意不对参加会议者进行审查。

那年夏天，巴丁因为前列腺手术而错过了会议的部分议程。他写信请教艾伦，是否自己应该为大会开幕式写些什么，巴丁认为这是他作为一个主席的例行公事。[60]艾伦表示同意。尽管出现了种种变数，会议还是顺利地举行了。[61]

另一个事件也凸显了巴丁对于政治事件干涉科学自由的厌恶。1976 年，当两位以色列科学家因为政治原因而被排除在匈牙利举行的一次会议之外时，巴丁写信给会议的组织者，表达了自己“不对所有人开放的国际会议持严肃的保留态度”[62]。他“坚持认为，国际会议应该由科学精神来主宰，不能因为个人的国籍而把他排除在外”。

巴丁对于国际科学交流的看法也是自由主义的。1959 年，他写信给参议员小海宁斯（Thomas Hennings, Jr.），谈论了限制科学信息自由交流的恶果。他强调在固态物理领域，“其他国家没有设定什么限制条件，所以近年来这个领域在各国都取得了巨大发展。尤其是苏联的科学家，他们在固态物理领域非常活跃，发表了他们的科研成果，并在国际会议上做了报告。”[63]巴丁写道：为了让美国继续保持科研的领先地位，美国科学家必须能够“从自由交流的科学信息中有所收获”。23 年后，巴丁复印了这封信，并附了一张便条给白宫科学委员会的托马斯·H·约翰逊（Thomas H. Johnson）。他承认：“我不记得我当时写这封信的原因了，但是我认为其中的观点还是中肯的。”[64]

巴丁广泛从事的科学顾问工作超过了教学和研究工作，这也让他的健康不堪重负。1974 年 3 月，简写信给妹妹说，约翰再次为高血压所困扰。这个病好一些了，“但是他太拼命了”[65]。巴丁“明天再次去华盛顿特区同［参议员］达达里奥讨论有关科学和政府的事情”，简再次感到担心。一年前巴丁在参加国家标准局在华盛顿特区召开的一次会议时病倒

了。材料研究院办公室主任霍夫曼(John Hoffman)派人陪同巴丁一起回到尚佩恩,以确保他能够安全到家。后来,巴丁写信给霍夫曼表示感谢,并告诉他自己差不多在医院住了一个星期,接受了各项检查,"他们不知道是什么具体的原因引起了高血压,但可以用药物来治疗。"[66]

总统科学顾问委员会于1973年解散,当时通货膨胀严重,美国陷入了越战之中,联邦预算出现赤字,政治和社会冲突加剧。[67]政策制定者和公众对科学在增强和改造国民价值方面的作用表示怀疑。林登·约翰逊总统让PSAC失去了活力。委员会的一些成员因为约翰逊对越南采取的政策而感到泄气。1973年,尼克松最终取消了PSAC。

历史学家布鲁斯·史密斯(Bruce Smith)曾把二战后的美国科学政策分为三个阶段:1945~1966年、1967~1978年、1979年之后。第一个阶段从二战结束后一直延续到1966年,这是一个希望和自信的年代,科学"解放了人类"[68]。从20世纪70年代开始,这个时代开始让位于科学家和政策制定者之间的互不信任。1979年之后,对于科学力量是否能够改善这个世界存在着一种普遍的怀疑。PSAC的建立以及巴丁在那里的工作属于充满乐观主义的第一阶段。委员会的解散处于反科学思潮(antiscience trend)的第二阶段。

反科学的趋势在1981年里根(Reagan)进入白宫之前的第三阶段得到了逆转。里根把科学看作是扭转美国在世界经济和军事领域劣势的万金油,大力支持科学发展,并任命基沃思(George Keyworth)为他的科学顾问。里根还同基沃思一起组建了一个由杰出科学家组成的专家小组,这让人回想起PSAC。巴丁被重新召到新的总统科学委员会——白宫科学委员会服务(WHSC)。但WHSC和它的前任完全不同。

1982年初,当基沃思打电话给巴丁,邀请他参加到新的

专家小组时，巴丁说："你不需要我……我在超过两个人的组织里面是没有用处的。在一个两个人的组织里我可以自由做主，否则我一无是处。"[69]巴丁木讷的言谈举止确实影响他在一个大团体中的效率，但是他不愿意参加新的 WHSC 还有其他原因。他认为里根采取的是军国主义政策，是不负责任的。即便如此，同事斯利克特还是劝巴丁加入委员会，"因为我觉得他们确实需要有勇气和力量的好人。"巴丁接受了这个职位，"但他内心并不是很情愿。"就斯利克特看来，巴丁"根本瞧不起里根"[70]。

尽管巴丁对于白宫科学委员会有所保留，但他还是认真地工作，一如他在 20 年前对待总统科学顾问委员会那样。他所参加的委员会的一个项目是创建由政府出资的多学科的研究中心。这个做法让巴丁想到了他在贝尔实验室所遇到的那些富有创造力的研究小组。不同专业和知识的个人和团体可以一起合作，共同研究问题。就基沃思看来，"约翰非常擅长建立那样的组织。"[71]但是白宫对这个建议并不热心。[72]

巴丁从事的另一个项目是评估联邦实验室并提出办法来提高其效率。巴丁在工业研究和学术研究方面的经历让他对美国在世界科学和经济中的位置看得很清楚。他所关心的是："尽管这个国家在理论科学研究方面处于领先位置，但是它在应用科学的发展方面是落后的，而应用科学将拓宽未来产品的技术基础。"[73]他认为："这个国家在发展那些 10 ~ 15 年之后领先世界的科技方面处于弱势。"为了发展工业，"产业界应该发展长期计划"，但是他担心"短期利润的压力以及强调高利率的投资回报，会导致短期产品的优先发展"。然而，他相信政府应该鼓励长期规划。"只有少数几家公司（包括贝尔实验室、IBM 和惠普等）有资源和开明的管理模式去进行远期的基础研究和技术发展。在某种程度上，联邦实验

室和大学实验室有助于弥补这个缺陷，但是它们在同工业的结合方面存在着缺陷。”

要是白宫科学委员会及早注意到这些问题的话，巴丁或许会乐意效劳。但是他加入委员会还不到一年，基沃思和里根就将美国投入到发展太空导弹防御系统，正式称谓“战略防御计划”（简称 SDI），也就是俗称为“星球大战”的研究中。巴丁强烈反对这个项目。1983 年 3 月中旬，塞茨领导的委员会召开会议时，基沃思没有就这个 SDI 项目进行讨论。因此，1983 年 3 月 23 日，当里根向全国新教会发表由基沃思撰写的著名讲话时，委员会的成员对此难以置信。里根公开声称苏联为反美的“邪恶帝国”，美国将要发展一种“无法穿透的盾”。委员会对此一无所知。巴丁后来写道：“这样庞大的一个计划至少应该让科学委员会进行讨论，即便不让全部专家参加。”[74]

里根的煽动性讲话发表后两周，巴丁退出了委员会。在致基沃思的信中，巴丁说自己需要更多时间从事自己的研究。朋友和同事了解真正的原因，“这个委员会本应对真正重大的科技决策提供意见，但却无法做到这一点，因此再呆下去就没有意义了。”[75] 巴丁感到“自己只是被人利用了名字而已”[76]，他不想同任何“支持总统计划的委员会”发生关系。

巴丁告诉基沃思：“我认为我在 WHSC 并没有像原先所期望的那样富有成果。白宫最近的两个与科技相关的重大行为触发了该决定，WHSC 和其他的技术团体根本没有机会插手，所以我决定退出。”[77] 其中一个“最近的行为”是指 SDI。

另一个行为是建议在伯克利建立一个国家先进材料研究中心（NCAM）。这个提议是同固态物理相关的。在巴丁接受委员会职位时，他“曾以为我或许对自己所擅长的领域、尤其是材料科学和电子学有所助益”[78]。但是他大为失望，他写信

给基沃思:“就 NCAM 这个项目我和 WHSC 其他成员都没有咨询权,直到 11 月份召开会议,但那时再想要改变结局为时已晚。”他补充道,在“同许多来自大学和产业界的能人讨论了 NCAM 问题之后”,甚至希望“把这个建议付诸实践”,他还是找不到人支持这个建议。后来巴丁说:“我辞职时更关心伯克利的国家先进材料中心,而不是星球大战。”[79]因为国会收到了太多的来自科学家对 NCAM 的反面意见,所以这一项目的规模最终大大缩小了。

SDI 依然让包括巴丁在内的许多科学家感到担心。里根内阁建议花费数十亿美元来发展这个计划,目的是让战略性核武器“无用武之地”[80]。科学界一致反对在一个不大可能成功的项目上花那么多钱。[81]正如巴丁所看到的那样,SDI 不仅浪费金钱,也不大可能成功。这个项目会加剧军备竞赛,使科学人才脱离更有意义的工作。[82]他和厄巴纳的同事一起请愿,竭力反对“星球大战”计划。沃蒂斯和拉扎勒斯共同起草了建议,巴丁进行了仔细的审读。就拉扎勒斯看来,巴丁对“请愿书的诞生起到了积极作用,最终世界各地有许多物理学家在上面签名”[83]。“他是第一批签名的人。”

导弹防御系统让巴丁深感忧虑,于是他采取行动,写了好几篇有关其危险性的短文和社论,这是前所未有的。一篇社论寄给了《纽约时报》,当贝特和戈特弗里德(Kurt Gottfried)要求他同他们合作,让人们了解到 SDI 可能对社会产生负面影响时,巴丁收回了自己的文章。巴丁写信给贝特,阐明了自己的立场:

> 正如我给《纽约时报》的信中所写的那样,我所关注的是以消费者经济和大众科技的发展为代价来大规模发展 SDI 而产生的后果。通常我们只注意到副产品所产生的较小的积极作用,忽略了把资金和人才从产出量更高

的部门抽走所产生的巨大的负面影响。歪曲这种优先考虑的一个方面是，基沃思在过去的两年中，把 50% 的时间放在 SDI 上，最近则是把 85% 的时间用在上面。应该对这个问题进行更为明确的研究，或许阿波罗登月计划可以作为一个研究范本。[84]

他提醒贝特，总统科学顾问委员会引用了“250 亿美元和 10 年时间”[85]这些数字表示不鼓励阿波罗计划，但总统和国会还是实行了这一计划。“我认为这个项目让人才脱离消费者工业付出的间接代价要远远大于实际支出。”

1986 年 5 月 17 日，由戈特弗里德执笔、巴丁和贝特联合署名的社论出现在《纽约时报》上。[86]巴丁对文章的观点表示认同，很高兴它借用了自己名字。这篇文章谴责导弹防御系统计划缺乏科学基础，指出该计划耗费了大量的金钱和科技人才，但收效甚微。他们认为导弹防御系统会削弱美国在国际市场上的竞争力。文章还强调需要重建某种科学顾问体系，它可以针对科学问题为国家领导人提供独立的判断——即便那种判断在“政治上是令人不快的”。他们所描述的组织类似于已经解散的总统科学顾问委员会，贝特和巴丁都曾在艾森豪威尔总统和肯尼迪总统在任期间供职于此。他们认为，那种委员会“即便基本上是由武器实验室的科学家组成，还是可以让里根先生明白，他那针对核武器进攻的防御系统是没有科学依据的”[87]。

巴丁把美国经济的下滑主要归咎于人们致力于美国政府所热衷的军备竞赛这种目光短浅的研究项目。他认为军备控制是“我们这个时代最重要的事情，未来的文明取决于它”[88]。在《今日军备控制》(Arms Control Today)的一篇社论中，巴丁把这个问题同导弹防御系统联系在一起，针对其造成的包括人才流失在内的“令人震惊的”危险、成本和“空间的军事

化”[89]表示哀叹:“在我们的民用经济需要帮助以在世界市场保持竞争力的时代,这个国家的最好的科技人才却被调去从事一个其价值尚不确定的项目。”

除了在军备控制和环境方面的坚决态度之外,巴丁不太愿意用自己的地位来为政治观点作辩护。戈德瓦泽说巴丁“对于自己的签名非常谨慎”[90],当他处于被要求就一系列话题进行评论的两难境地时,这位诺贝尔奖得主只同意“就自己在科技方面的专业知识发表意见,而不愿意对公众事务发表看法”。巴丁不愿意在公开场合发表自己的看法,那些不太了解他的人以为他对政治和社会事务毫无兴趣。[91]

举例来说,当和平研究院要求他支持一个声明——采取各种措施以防止1962年古巴导弹事件升级时,他回电如下:

> 我同意总原则,愿意在关乎重大利益、极端危险的冲突过程、冷却期的重要性以及寻找替代性解决办法的简短声明上签字。但我不愿意在整个文件上签字,因为我不具备这方面的专业知识,也不参与其准备工作,因此,我反对其中的一些声明。[92]

他“反对”的一个声明是让教皇作为调停人。巴丁在那个建议边上的空白处用力写了“不同意”。

还有一次,欧洲的犯罪问题委员会询问巴丁:作为一个诺贝尔奖获得者,你对“死刑在现代社会中的地位”[93]有何看法?巴丁的回答是:“我不认为我获得了诺贝尔物理学奖就具备了对这个问题发表看法的特殊资格。然而,我个人是反对死刑的,在和平年代尤其如此。”[94]同样,当有人要求他支持一个考古项目时,他答道:“我不认为自己应该把名字借给某个组织,除非我在其中起到积极的作用。”[95]

有时,巴丁会用一些小手势表达自己的想法,他的学生或一些关系亲密的同事可以轻易地看懂。1972年,隔壁办公室

的布雷在收音机里听到实行种族隔离的阿拉巴马州的州长华莱士(George Wallace)受到枪击之后,冲到走廊里把消息告诉巴丁,巴丁"没有说一句话。只是看了我5秒钟,然后露出一丝微笑,就回头去工作了……那就已经告诉我他对华莱士的看法了"。[96]

约翰和简都很讨厌种族主义。简通过当地的妇女选民联盟从事这方面的工作以及其他一些社会事务。20世纪50年代,她沮丧地发现,当地的非洲裔美国人不能坐在当地的电影院里看电影,"一想到要为每个人争取自由,我就投入到反对种族歧视的运动中。"[97]她协助建立了一个由4名妇女组成的联盟委员会,凑巧的是,她们的教名都相同。"简委员会"负责同尚佩恩—厄巴纳当地的种族歧视作斗争,并和具有同情心的宗教团体一起,呼吁当地的零售商雇用非洲裔职员。一个商人断然拒绝:"我会雇用犹太人,但我不会雇用黑人。"[98]委员会花了数年的时间才让这家公司雇用了一些非洲裔的美国人。1961年,"简委员会"还策划并发起了一场运动,成功地把厄巴纳联盟的一个分会——一个致力于为非洲籍的美国人争取社会和经济平等权利的组织——吸引到尚佩恩镇来。[99]简相信:"一旦你打开了大门的一条缝,那么整扇门就打开了。"[100]尽管约翰赞同简在民权和人权方面的一些信念,但是他并不喜欢政治激进主义。他往往通过支票簿间接地支持简的活动。

20世纪六七十年代,肖克利"科学地"证明了有色人种在基因上比白人低劣,非洲黑人的大量生育会引起美国人的平均智力水平下降,这一观点让约翰和简感到震惊。巴丁并未公开地谴责他以前的上司,但有时他也发表一些评论,以表达自己对肖克利的基因理论的厌恶。[101]他说:"你不可能通过测智商或其他的简单办法来衡量一个人的智力。智慧有很

多种。”[102]

有时，巴丁会代表某个特定的候选人或事项参加政治活动。他参加了由当地的一群科学家组成的策划指导委员会，[103]他们中既有民主党人也有共和党人。在1964年的总统选举中，他们联合起来共同反对戈德沃特（Barry Goldwater）的极端保守主义，支持林登·约翰逊，一如巴丁在差不多20年后坚决反对里根那样。尽管他们承认需要增强军事实力，但是他们同样认为政府有责任积极“消除贫穷；解决城市问题；解决水和空气的污染问题；改善交通状况；改善并防止疾病；发展医学，改善医疗设施，让所有人都能够得到治疗，无论他是否有钱看病”[104]。

委员会认为教育是防止平庸的最好手段。委员会告诫人们要反对偏狭，同意“原则声明”：“在所有的领域中，我们反对一切基于种族、信仰和性别方面的歧视，这些歧视是不道德和不民主的，极大地浪费了国家的人力资源。”[105]在这场运动中，巴丁负责舆论宣传，以鼓励当地人投票支持约翰逊-汉弗莱（Johnson-Humphrey）。[106]

巴丁坚信高质量的公共教育对一个国家的发展至关重要。1981年，因为预算的削减，需要关闭伊利诺伊大学的实验中学。作为附属于大学的实验中学是大学教育的一个辅助项目，为了保护大学免受预算削减的影响，大学决定取消实验中学。理论物理学家张绍进回忆，当时他的两个孩子艾里斯（Iris）和迈克尔（Michael）都要在那年读大学附中，“他们听到这个消息后伤心欲绝。他们的许多同学都在学校里痛哭。”[107]

得知这个消息后，物理系的几个老师和巴丁一起讨论关闭大学附中的问题，巴丁的3个孩子也参与了讨论。约翰说自己在1951年考虑接受伊利诺伊大学的邀请时，曾在贝尔实验室同菲利普·安德森谈到过大学附中。安德森也是大学附

中的毕业生，他告诉巴丁，厄巴纳—尚佩恩是一个抚养孩子的理想地，大学附中是一个非常好的学校。那次谈话也是巴丁决定接受伊利诺伊大学邀请的一个原因。他同意写信帮助挽救这个学校。他先写信给戈德瓦泽，然后又写信给伊利诺伊大学的副校长，说明大学附中"对于我们来伊利诺伊大学起到了很重要的作用"[108]。州政府直接把情况报告给校长，把附中作为大学的一个组成部分保留了下来。

巴丁还对其他的许多教育问题感到担忧，如州预算削减会影响伊利诺伊大学的教育质量以及招生数量。"你不可能一直在削减预算，同时希望一直保持一流的大学。"[109]回忆起自己的大学时代，巴丁认为他可以享受许多自由，学习自己感兴趣的东西。考虑到这种教育方式对自己的影响，巴丁要求改变课程设置，从而让学生们有更多的选择自己感兴趣东西的自由。他尽量用那种方法来指导自己的研究生，让他们有更多的选择余地。

就巴丁看来，在硕士研究生和博士研究生之间设置一个中间的高级学位是合适的。他认为这样的学位适合于"那些学习成绩不错，对于学科知识也有很好的认识，但是并不适合从事创造性研究工作的人"[110]。这些人或许会成为杰出的大学教师，但是在论文方面能力有限阻碍了他们的发展。他认为这是一个最好的解决办法，如果"这不是一个令人感到安慰的学位，至少是一个代表某种培训和成就的中等学位"。

巴丁相信：让人们更喜欢科学的关键在于"对更多的人施行更好的科学教育。"[111]戈德瓦泽记得巴丁"非常支持这个想法，所以我们不得不进一步改善中学和大学的科学教育"。巴丁对于自己的儿媳、比尔的妻子玛吉在费米国家实验室为此所做的工作感到自豪。她发明了一种程序，教师和学生们

可以应用这个程序加深对数学和科学的认识。她还同美国教育部和能源部一起积极改善全国的科学教育,[112]并在国家科学基金会的支持下从事自己的教育研究。

1958 年,巴丁参加了大学附中关于自然科学教育的专家小组。他和其他同为大学教授的成员都有孩子在大学附中里。这个小组的成员包括塞茨、冯·弗斯特尔、威尔(Frederick Will)以及舍温(Chalmers Sherwin)。他们认为所有的学生都应该受到包括英语、数学、语言和科学在内的全面教育。他们认为,那些有天赋的少年尤其应当在个人发展方面给予机会,但这种发展不能以丧失基础教育为代价。他们在报告中写道:"自然科学家并非都是天才。他们是各种各样的人。在每一个天才的身边有成千上百个不那么出色的人,但他们依然是非常重要的。尽管许多人在年龄很小的时候就对科学产生了兴趣,但并非所有的人都是如此。"[113]小组成员普遍同意"提高等级的教育有益于未来的科学家,高中的科学教育的范围应该是广泛的"。巴丁认为我们应该"培养基础的思维而不是死记硬背",因为"基础知识是牢固的"。巴丁自己的教育就遵循了这样一个模式,他也尽力用这种模式来教导伊利诺伊大学的学生。

其他国家的科学家也认为巴丁是一个楷模。他认真地担负起自己作为一个科学大使的职责。1960 年,他参加了美国科学院创立的一个交流项目到苏联进行访问。因为他是总统科学顾问委员会的成员之一,因此出访必须得到特别许可。[114]美国方面的授权得到了通过,但是苏联方面的问题使得他的旅行被取消了。那年夏天,欧洲还有另外一个会议,他同苏联的物理学家约飞(A. F. Ioffe)和沃尔(V. M. Vul)讨论了这个问题。在他们的干预下,苏联方面突然决定给他颁发苏联护照,于是巴丁于 9 月 7 日离开布拉格,到达莫斯科的乌克兰

酒店。[115]

约翰写信告诉简，开始的几天“因为关注专业接触而过得特别慢”[116]，但是接下来的进度加快了，他马不停蹄地到处作关于超导性和半导体的演讲。他同许多因为冷战而素未谋面的著名科学家会面。其中包括卡皮查（Peter Kapitza）、卡拉尼可夫、戈尔科夫、塔姆、凯尔提绪（Leonid Keldysh）、金兹伯格、约飞以及彼什科夫（Vasilii Peshkov）。[117]巴丁同物理问题研究院的朗道团队的成员们进行了特别富有成效的交流，其中的一些在10年内离开该研究院而帮助建立了理论物理研究院。尽管他没有遇到去外地的朗道和栗弗谢兹（E. M. Lifshitz），但遇到了他们的一些学生和同事。朗道的学生阿布里科索夫（Alexei Alexeivitch Abrikosov）把巴丁看作自己的第二导师。[118]

3年后，巴丁因为参加在莫斯科举行的一个国际会议而再次访问苏联，并参观了那里的研究中心。派因斯和卡德诺夫也参加了会议。巴丁在会议开幕时说：“我们熟悉苏联在固态物理方面所从事的杰出工作，熟知你们那些对这个领域作出巨大贡献的科学家，但是很少有机会能够同他们进行面对面的接触。”[119]他把会议称作是“一个结识新朋友并同他们讨论固态物理理论最新发展的好机会”。他写信告诉简，每个人都“非常友好”[120]。

朗道的研究小组给巴丁留下了深刻印象。朗道本人因为两年前的一场事故而致残，当时依然住在医院里。以前是朗道学生的每一个同事“都是杰出的理论家”[121]。谈到卡拉尼可夫领导的研究团体，巴丁和派因斯说：“他们不仅聪明、多才多艺，而且充满魅力、老练、富有幽默感，非常了解美国的生活和文学。”在接下来的数年中，巴丁经常见到诸如戈尔科夫和阿布里科索夫等苏联的科学家。1991年戈尔科夫写道：

“我们现在知道,两个学派之间长达30多年的合作奠定了两国科学家富有成果的合作,尽管我们曾经历了艰难的时刻。”[122]戈尔科夫认为“巴丁这位科学巨人是保持整个大厦坚固的基石”。

1988年最后一次访问苏联时,苏联科学院为巴丁颁发了享有盛誉的罗蒙诺索夫奖,这是苏联的最高科学荣誉。巴丁称之为“我一生中所接受的最突出的奖项之一”[123]。在这之前的1982年,苏联科学院接受他为罕有的外籍院士。[124]

1975年,巴丁和他的一些同事是最早同中华人民共和国进行文化交流的科学家。巴丁参加了斯利克特带领的代表团。约翰在北京写信给简,整个团队“正在努力地了解[中国的]教育和科学研究计划”[125]。大多数的美国人在中国时都先后染病,巴丁为自己是“团队中少数几个自始至终保持健康的成员”[126]而感到幸运。

陪同团队一起、帮助他们解决文化和实际问题的历史学家朱昌峻(Samuel Chu)对巴丁的性格印象深刻:“我相信整个代表团大部分的温暖和友谊都是同巴丁联系在一起的……西安的物理学家好像对政治派别(中国共产党干部)很敏感。约翰尽量让他们感觉自己同美国的物理学家是一样的,因而他们大胆地讨论了自己的研究和教学……约翰把我看作是他个人的‘中国通’。”[127]尽管约翰不喜欢那里严格管理的社会结构,但是他希望简能够去中国,“看看那里的美景。”[128]他认为她可以“发现这是一个充满矛盾的迷人国度”。她也想念约翰:“你再次回家是多么美好的事情。这个家之所以成为家,是因为有你在。”[129]

1980年,简和约翰一起,对中国进行第二次访问。他们到处“受到贵宾级的待遇”[130]。巴丁同副总理方毅在人民大会堂的会面在全国的电视上播出。所以,尽管没有作什么宣传,还

是有500人参加了巴丁在南京大学进行的演讲。5月23日是巴丁的生日，也是南京大学创立的日子，当地的官员安排了盛大的庆祝活动来表示纪念，仪式包括了生日蛋糕、礼物和唱歌的学生。巴丁认为这是此次旅行中最精彩的部分之一。

本着帮助公司确定自己发展方向同样的精神，巴丁尽其所能去帮助发展中国家发展它们的科学项目。举例来说，他建议中国和美国建立一个交流项目，“在诸多研究领域同中国科学家进行交流，帮助它们在自己的研究项目中取得更好的平衡。”[131]

在1977年的印度之行中，巴丁同印度方面的科学家交换了他对科学在社会中所起作用的观点。“科学应该为国际间的合作而非竞争树立一个榜样。”[132]而且，科学的目的是改善全人类的生活质量，而不是一部分最富有国家的人民。他告诉他们：“我们国家的人口只有印度的三分之一，但却占用了世界上大部分的资源。”他希望印度不要盲目地借用美国的技术，而要发展或采用“适合印度国情”的技术。

有时候，巴丁会从事那些同政府或产业毫不相关的项目。20世纪80年代初，他为固态物理学史的国际项目委员会[133]充当顾问，委员会研究这个领域的历史并出版了《走出晶体迷宫》(Out of the Crystal Maze)一书。他协助组织研究，并写信给产业界的同事，如英特尔公司的诺伊斯寻求帮助。初稿出来后，他对其提出批评意见以改进稿件。[134]差不多与此同时，他还同意为法国的安特拜(Elizabeth Ante'bi)支持的技术史项目“全息版”充当科学顾问。[135]

有时，他所贡献的不只是时间。1972年底，他捐献出100份施乐公司的普通股作为杜克大学弗里茨·伦敦捐赠基金的种子基金。伦敦从1939年在杜克大学执教，一直到1954年去世。巴丁总共捐献了32000美元。他写信给杜克大学的研

发部部长:“这一基金的建立是为了让我们永远地记住刚刚去世的弗里茨·伦敦。这个基金是用弗里茨·伦敦奖去资助那些在低温物理领域有杰出贡献的科学家。”[136]这一基金还支持了杜克大学的一系列弗里茨·伦敦纪念演讲。巴丁如此写道:“他超越了所有人,最终指明了帮助库珀、施里弗和我发现超导性理论的道路,并让我们在1972年获得了诺贝尔物理学奖。我们对他的真知灼见表示非常感激,它照亮了我们前进的道路。”[137]

1973年4月,弗里茨的遗孀伊迪斯(Edith)给巴丁写了一封感人至深的感谢信。她在信中附了一张卡片,那是1935年伦敦的老师索末菲的,以此表达他对伦敦的超导性理论的支持。伊迪斯写道:“弗里茨对此感到非常高兴。”[138]这也是伦敦的理论刊登在《皇家学会会议录》(Proceedings of the Royal Society)后最初得到的反应。

巴丁回信说,他总是“因为伦敦关于超导性理论的基本观点”感到亏欠伦敦,“作为个人以及朋友对他表示致敬”。他还补充说:“我非常感谢这份来自于索末菲的卡片,这让我立刻意识到弗里茨和海因茨兄弟在1935年的论文中关于超导性理论所具有的深刻洞察力。”[139]他回忆了20世纪20年代自己作为威斯康星大学的客座教授同索末菲会面时的情景。索末菲“同你的丈夫一样,具有很强的洞察力,能够直接切中问题的要害。这张卡片对我来说是一份宝贵的财富,我相信它会在物理学史上找到自己的合适位置”。

20世纪80年代中期,曾经在伊利诺伊的巴达维亚费米实验室担任10年副总裁的戈德瓦泽请求巴丁帮忙。戈德瓦泽请求为计划中的超级超导对撞机,即最高的能量粒子加速器项目寻找支持。[140](这个项目在1993年克林顿的任期间中止。)他需要非常出色的同事来代表这个项目撰写著作。巴

丁“非常愿意提供一切帮助”，因为他相信无论是大规模的科学研究还是小规模的科学研究，都是非常重要的。两方面都需要更多的支持。戈德瓦泽说：“这不是一个政治姿态。这是一个纯粹的个人信念，这个信念是正确的。”[141]

1987 年，巴丁和施里弗写了一封联名信，以回应发表于在《纽约时报》上的一篇名为《超级对撞机操之过急》的社论。该文建议延缓对撞机的研究，认为物理学家最近发现的高温超导现象也许可以急剧削减这项研究的费用。巴丁和施里弗反对拖延，他们指出，关于高温超导性的许多问题还没有解决，等待这些问题的解决会让这个项目脱离正轨。“超级对撞器如果能够及时研发出来的话，人们可能会延续它的优势，并有可能研发出新的超导体。”[142]巴丁还担心人才的浪费，因为先前在加速器方面的经验在若干年之后不一定会再现。他们强调“对科学的长期支持应该是全面的。既需要类似于产生晶体管、激光和高温超导体之类的‘小科学’项目，也需要有望产生巨额回报的类似于超级对撞机之类的‘大规模’项目，它可以让人们更多地了解宇宙”。

巴丁频繁的出行有时为他重续友情和探望家人提供了机会。1958 年的布鲁塞尔会议上，他遇到了布喇顿的新妻子艾玛·简。他在给简的明星片上说：“她很漂亮，沃尔特真是有福气。”[143]有时巴丁忙于出差，错过了家人们的一些活动。他通常让简来记录这些日子。在去布鲁塞尔开会的路上，他遇上了同去开会的布喇顿。巴丁担心自己会错过比尔的大学毕业典礼。他从艾德威尔德机场（现在的约翰·肯尼迪机场）写信给简，告诉她“请把比尔毕业典礼的日期告诉我，这样我可以同他联系”[144]。

1978 年秋，巴丁参观卡尔斯鲁厄大学的凝聚体理论研究

院时，错过了贝特茜的第一个孩子在波士顿出生。让他感到宽慰的是，他在那里遇到了儿子比尔；约翰写信给简，“很高兴有他陪伴”。[145]比尔现在是一名高能物理的理论家，约翰告诉简，比尔“干得很不错”[146]。

巴丁还尽量同一些远亲保持联系。在1958年的几个会议期间，他去英格兰旅游，到处闲逛，并对家族史进行了“一些研究”[147]。他发现巴登·托尔(Barden Tower)“是来自于这个地区的名字”。他在约克没有发现什么叫巴丁的名人，“但在1376年，有一个名叫约翰·德巴登(John de Barden)的人支付了3.4先令，获得了在约克的护城河捕鱼的权利”。于是，他得出结论：“我们的祖先一定是普通人。”

有一次在加利福尼亚时，巴丁说服他的朋友和同事斯卡拉皮诺(Douglas Scalapino)一同驾车，探望他在圣塔巴巴拉的亲戚哈默。“像是我们早年住在圣塔巴巴拉时，坐在他家里看他的画一样。”[148]哈默的父亲是一位艺术家，年轻时就到西部创业去了。他是约翰母亲埃尔希娅的亲戚(有可能是她的叔叔)，并对她产生了影响。巴丁很欣赏家族的艺术传统，家里还放着埃尔希娅收藏的日本艺术品。[149]斯卡拉皮诺写道：“约翰看起来好像非常喜欢这段历史，我们也都很喜欢。我在想他的亲戚会如何看待这个两度获得诺贝尔奖的中年人。”

约翰最喜欢和简一起旅行，但是直到孩子们都长大成人进了大学之后，她依然还是喜欢呆在家里。[150]1972年从东京去中国的时候，巴丁写了一封口气有些哀婉的信：“我将要离家很长一段时间，我会想你的。”[151]在晚年时，简几乎总是陪伴在他的身边。他们在白天往往是分开的——他去打高尔夫球或参加会议，而简则去购物、徒步旅行或观光——到了晚上，他们则在一起吃晚饭，参加社交活动。

独自旅行的时候，巴丁会想起简为他旅行所做的准备工作。1960 年，他把雨衣落在了纽约的艾德威尔德机场，[152]因此不得不在巴黎花钱买了昂贵的替代品。去中国时，他忘记了携带旅行支票。他写道："幸好我还可以从美国万国宝通银行获得另一张 500 美元的支票。"[153]

在 1978 年 1 月的一次短途旅行中，巴丁夫妇经历了一次痛苦的磨难。约翰和简从尚佩恩驾车去比尔工作的伊利诺伊巴达维亚的费米实验室。路上花费了 3 个小时。约翰在实验室作了报告之后，便同简以及比尔一家去吃晚饭了。之后，他们看了天气预报，得知俄亥俄州和美国西北部将会有一场暴风雪，但是暴风雪不会很快进入伊利诺伊州。晚上 8 点左右，他们从第 57 号州际公路往南开。

刚开过坎卡基，离家还有一小时路程的样子，他们感觉到了大风。暴风雪所造成的能见度的降低使驾驶变得几乎不可能。约翰尽量想跟在卡车后面，但是 18 个轮子的庞然大物也陷在了大雪之中。最后，当车子陷在大雪里不能动弹时，他们只好承认失败。他们所能做的只有等待。约翰不时地发动已经用了 7 年的奥斯摩比短剑轿车，这样可以让暖气正常工作。即便如此，暖气还是在凌晨三点时停止了工作。车子再也发动不起来了。他们从差不多被冻住的箱子里拿出备用的衣服和小毯子，然后不停地运动以保持体温。约翰回忆说："最冷的就是脚了，我想如果我不是坐在脚上面的话，它们肯定冻坏了。"[154]

清晨时，扫雪车和援救队伍赶来营救困在公路上的旅行者。约翰和简被带往基尔曼社区的高中，他们在那里住了两天一夜。高中的体育馆和食堂被改装成临时的房间，供车主们使用。到第二天时，巴丁已经开始工作，在教师休息室做一些文字工作。后来他告诉记者："我确信他们会在清晨来救

我们的。”[155]他还往车子的紧急装备中添加了火柴和蜡烛。

20世纪七八十年代是肯定和歌颂巴丁成就的年代。1974年,巴丁、布喇顿和肖克利同贝尔以及惠特尼(Eli Whitney)一起被收进美国发明家名人堂中。[156]1975年,巴丁获得了著名的富兰克林奖章。1976年,他被国际性刊物《工业研究》(Industrial Research)评为年度科学家。1977年,福特(Gerald Ford)总统把美国最高的平民奖自由奖章颁发给巴丁。同他一起获得这个奖章的还有作曲家伯林(Irving Berlin)、奥马尔·布拉德利(Omar Bradley)将军、棒球手狄马乔(Joe DiMaggio)、艺术家奥基菲(Georgia O'keefe)和罗克韦尔(Norman Rockwell)以及前第一夫人伯德·约翰逊(Bird Johnson)。[157]

差不多与此同时,尚佩恩把城市之匙颁给了巴丁,伊利诺伊大学没有一个老师曾经获此殊荣。当时巴丁已经在那里生活了38个年头。市长麦克勒姆(Dannel McCollum)说:“巴丁博士出现在这个城市,就是对城市巨大的贡献。”[158]巴丁被看作是一个履行投票、担任陪审团成员以及支持当地企业的好公民。他为积极参加社区生活树立了典范,该市的父亲们都对他表示感激。他经常光顾当地的俱乐部,支持学校的发展,定期参加体育运动。巴丁很珍惜这个荣誉,因为“没有什么比获得朋友和邻居们的认可更让人感到满足的了”。

第十五章

钉扎、针和波[1]

我这灰色的灵魂正在渴望地向往，
在对知识的追求中像星辰一样（闪亮着）陨去，
超越人类思想的极限。
……
老年仍有其荣耀和辛劳；
死亡将结束一切：但在终点之前，
也许还能完成一些高尚的工作，
从而不会让自己无法成为与神相抗争的人。
……
虽然失去了很多，但仍留下了很多，也尽管
我们的精力不复往昔那样
足以惊天动地；我们过去是什么，现在还是什么；
一样的脾性，一样无畏的心，
时光和命运虽使之衰竭，但仍有坚强意志
去抗争，去探索，去发现，不退却。

——阿尔弗雷德·丁尼生勋爵，《尤利西斯》（诗节选）[2]
（Alfred, Lord Tennyson, Ulysses）

大多数物理学家把年龄看作研究的根本性障碍。随着活力和敏锐性的减退，他们转而从事一些辅助性的工作，如教学或行政。有些人改变了研究领域，而往往只有几个取得杰出成就的人会坚持自己的研究方向。他们期望用激情和经验来

弥补年龄方面的不足，并竭尽全力攻破更多的难关。从这一点来说，巴丁是具备独特创造力的典型。[3]

20 世纪 80 年代，巴丁 70 多岁时，他的研究重点是为有序传导现象发展一种与电荷密度波（CDWs）有关的理论。一些研究团体早在 20 世纪 70 年代初就观察到了这些不同寻常的波。在某些材料中，电子密度的周期性调制以及晶格原子的位置会在低温下表现出一种准一维结构——在它们内部沿着线性链传播的传导几乎不会发生相互作用。

加州大学洛杉矶分校（UCLA）的格吕纳（George Grüner）是从事电荷密度波研究的实验家之一。格吕纳巧妙地把电荷密度波材料内的电子密度比喻为“行进的乐团队伍”。在 1994 年的《科学美国人》（Scientific American）中与布朗（Stuart Brown）联合署名的一篇文章中，他解释道：当没有电压时，前进者（电子）就趋于停顿。但如果被施加以电压，那么一开始就会产生一种新现象：“乐队开始有节奏地前进”[4]，这不同于晶格。电压形成的大电流是非线性的；电流的增强同电压的增加不成正比，因为它们是普通的导体。基态不再是静态的，而以滑动波为形式。

在固态物质量子理论初创的年代，派尔斯曾提出创造电荷强度波的可能性。1930 年，他从纯理论的角度提出，一维金属（线性链）在数学上是不稳定的。他对称之为“派尔斯不稳定性”[5] 的现象进行了演示：当电子密度呈现为一种与深层晶格周期性畸变相联系的波时会产生畸变，这样系统的能量就降低了。这一结果表明电荷密度波从本质上来说是存在的；但是直到 40 年后，当实验家用类似于一维金属的复合物做实验时，这种波的存在才被观察到。

之前的 20 世纪 50 年代初，巴丁怀疑电荷密度波是同超

导性联系在一起的。[6]在那些年里，他假设电荷密度波是超导机制产生的原因，在此基础之上他提出了一种理论。不幸的是，这种理论只对一维材料起作用，他所预测的能隙大小同实验的结果不吻合。但是他依然认为电荷密度波和超导性可以在一个共同的理论框架内得到解释。两者都是对称破缺导致的物质的集体态。在电荷密度波里，对称是“平移”对称，也就是说，晶格在空间的分布起先是均衡的，而在超导体中，对称是一种与粒子守恒相联系的数学形式。在这两种情况下，电子和晶格的相互作用产生一种不稳定性，从而形成了能隙。两者都通过二级相变（在电荷密度情形波中被称为“派尔斯相变”）与正常态产生区别。

特别让巴丁感兴趣的是，晶体的瑕疵或者给晶体添加的杂质会将电荷密度波的相位“钉”（使之在原位上不动）在晶体上，如果运用足够强的电场还可以“去钉”。

1976 年，伯克利的 Nai-Phuan Ong 和蒙梭（Pierre Monceau）在一个经典实验研究中，通过在无机线性链复合物 $NbSe_3$ 中产生电荷强度波演示了钉（pinning）和去钉扎（depinning）现象。[7]巴丁立刻意识到解释这一现象是个需要创造力的问题。弗里茨·伦敦的长程序理论又可以运用到另一个系统中去了。[8]巴丁本能地感觉到电荷密度波状态是一个宏观量子现象，它同超导性相似，但这种现象在另一种类型的固体内产生。这个问题还提出了另一个引人关注的事实：电荷密度波材料也有属性——诸如介电常量和非线性电流—电压特点——这对于产业界的发展来说是很重要的。[9]

我们可以把钉扎和去钉扎的概念用非量子力学（经典力学）的术语来作比喻。我们假定波类似于一个有粗糙表面的扁平固体，就像一块洗衣板或波形的橡皮，可以发现其不规则的物理瑕疵。巴丁把这种发生在宏观尺度内的钉扎和去钉扎

看成是一种量子力学现象，这类似于约瑟夫森的超导体内凝结电子对的隧穿现象。[10]巴丁这么预想：材料的杂质和瑕疵会导致微小钉扎势的产生，由此就有可能产生凝结电荷密度波电子的集体隧穿现象。[11]

格吕纳解释道："如果你前面有一堵砖墙，你开车撞到这堵墙上，那么你多少能确定，你的车子撞穿墙时，墙的另一面不会完好无损。"[12]在量子力学中，这一被称作"隧穿"的过程有一个明确的概率。电荷密度波的例子被看作是一种被归纳出的约瑟夫森隧穿现象。如果某人手下有"一排士兵，一百万电子"，那么这个问题就变为："他们能否同时集体穿过？"巴丁认为在宏观量子状态下，这是可能的。格吕纳说："这是一个美妙的概念。它是革命性的、全新的、具有重大影响的"，这些都是研究电荷密度波的强大动力。就格吕纳看来，要是巴丁的理论是有效的，"那么无疑他可以第三次获得诺贝尔奖。"

早期的交流电频率实验得到的数据表明，电场指数地依赖于其频率（这是隧穿的标志），而这正符合巴丁的量子力学理论。光助隧穿理论（PAT）认为：被吸收的量子可以让电子进入一种隧穿的更为可能状态。通过应用这种理论，巴丁认为自己的钉扎"很弱"，因为它无需很强的外加电场。

起先，巴丁这个美妙理论吸引了多体研究界，但是随着时光的流逝，更多的物理学家宁愿相信周期势内的过阻尼振荡器运动，也就是所谓的经典模型。支持经典模型的杰出物理学家有格吕纳、帕特里克·李（Patrick Lee）、赖斯（T. Maurice Rice）、菲利普·安德森、萨瓦多夫斯基（Alfred Zawadowski）和蔡金（Paul M. Chaikin）。[13]这种相反的模型可以对电场产生一种量子力学反应，但它需要一种相当大的经典效应。它预言了材料内的杂质量和电荷密度波开始下滑时阈值电

压之间的可测量关系。经典图景和量子力学图景并存了多年。

1980 年,在为电荷密度波考虑量子力学模型时,巴丁回忆起 1974 年他获知 PAT 理论时的一番谈话。他曾经和洛杉矶附近加利福尼亚埃尔塞贡尔的航空公司的物理学家塔克谈过。[14]巴丁去看望哈佛研究院的老朋友格廷时拜访了他,格廷当时是公司的总裁。在会面中,塔克告诉巴丁他正把光子辅助隧穿理论应用到金属超导体的隧道结中。这个结后来被用作天文量子接受器的设计中,可以建立在两个超导体的接触面上,这样每次光子被吸收时,一个电子就可以隧穿。

1980 春的某一天,纽约戈达德空间研究院国家航空航天管理局塔克办公室的电话响了。塔克听到一个温柔但使人急躁的声音:"你好,我是约翰·巴丁。"[15]起先他以为这是一个恶作剧。巴丁告诉塔克,他认为电荷密度波是一个宏观量子现象。他解释了为什么他猜想 PAT 或许对解释它们的传输有所帮助。"他非常兴奋,因为如果这个假设正确的话,那么你可以在一个没有人认为可能的体系中看到量子现象。"

塔克被这个想法吸引了。"这只是超导体之外的第二个例子,在超导体内,你能在移动的量子基态下导电。还存在其他的量子基态,在那里,所有的粒子都进入同样的量子态,诸如超流体液氦,但是它并不携带电荷。"[16]他还意识到在这个阶段同巴丁合作是一种赌博。两获诺贝尔奖的巴丁已经 72 岁了,他超过了大多数物理学家从事尖端研究的年龄。此外,如果巴丁的想法是正确的,这也只是物理学中的一个特例。巴丁在"探求一种奇异的东西,但不太可行。这样的怪事也确实在物理学界发生过。"[17]这项工作可能会为"量子物理开辟一个新天地"。

塔克接受了巴丁的邀请,于 1981 年秋来到厄巴纳。巴丁

让塔克担任电子工程系的非终身职位副教授，若干年之后可能会成为正式教授。此外，巴丁答应为塔克建立一个研究室提供基金以及资助一位研究生。塔克的第一个研究生是约翰·米勒。[18]

几年内，巴丁和塔克的工作吸引了电荷密度波研究界的密切关注，这个研究团体的成员在20世纪80年代开始研究混沌和湍流，并构建扩大器以广泛应用电荷密度波。在早期的合作项目中，巴丁以家庭为模式，塑造了研究电荷密度波的合作形式。他是家长，塔克是养子。简经常邀请塔克和他的学生来吃晚饭，或让他们自己在巴丁家做饭。塔克回忆道："我们过去经常在那里开会。我们会不时地做一些肉夹饼。"[19]通常他们会聚集在房子后的大日光浴室。"那里有可以坐的长椅子，但椅子的下面是抽屉。"有一次，一个学生打开一个抽屉，发现了用皮革绑着的两本诺贝尔奖证书。于是塔克说："嘿，约翰，你抽屉里的破烂比我的要好。"每个人都笑了，巴丁坐在那里有些愁眉苦脸，仿佛在说："有什么好笑的？"

"假想一下，把理论意大利面条扔到墙上，看看能够粘住什么。"[20]这句话是塔克对同巴丁合作的早期研究工作的概括。研究小组为数据配备了基本的隧穿假说。然后他们分阶段调整理论。米勒和其他学生把不同频率的信号注入样本，并在阈值下保持直流电场以去钉扎，通过逐渐提高频率或强度以添加交流电场，从而对电荷密度波进行"混合实验"。根据他们的理论，隧穿效应将在某个特定的频率下发生，并表现出取决于交流电场强度的特征。实验失败之后，巴丁失望地耸耸肩，咕哝道："我想这个系统依旧很混乱。"[21]

格吕纳说："或许他有点沉迷于这个美妙的假想。我认为在他的内心深处，他认为只是缺少了一个环节，那个环节会

让一切步入正规。在超导性研究中，一个缺损的环节浪费了科学家50年的时间。这个环节就是库珀对，找到它后一切都就位了。”[22]

偶尔，萨拉门也会造访塔克的实验室。萨拉门是伊利诺伊大学材料研究实验室国家科学基金项目的主任，这个项目支持巴丁同塔克所从事的电荷密度波研究工作。当塔克告诉他“我竭力想证明巴丁的设想是正确的”[23]时，萨拉门感到有些担心。他警告塔克：“那绝不是一个实验家的研究态度——你测定事实，如果理论是正确的，它就是正确的；如果它是错误的，你应该感到更高兴，因为你发现了一些新东西。”

巴丁和塔克跟电荷密度波实验者相联系的网络包括格吕纳，后者回忆道：“我们进行的第一批实验确实是拟合的。”[24]巴丁、塔克和格吕纳能够证实频率依赖性和电压依赖性有同样的函数形式。他们因此认为他们已经“拥有了光助隧穿理论的强有力的证据”。20世纪50年代在伊利诺伊大学读博士后、现在是电荷密度波研究的另一个合作者西格，在维也纳进行的实验起先似乎也拟合了巴丁的理论。[25]但是它同样也拟合了经典理论。要区分经典假说和量子力学假说，就需要证明一种依赖于光子吸收作用的阈能。他们没有发现它。

巴丁和塔克的理论逐渐开始失去阵地。1984年9月，当电荷密度波国际会议在布达佩斯召开时，巴丁—塔克理论已经大大落后于经典理论了。在那次会议上，贝尔实验室的费舍尔(Daniel Fisher)和史奈登(Leigh Sneddon)提出了与之相反的经典模型。但是一个悲剧的发生让争论双方都很受伤，给电荷密度波的争论蒙上了一层阴影。

在会议前三天，巴丁以前的学生、现在的同事麦克米伦在离厄巴纳不远的伊利诺伊的圣约瑟夫镇骑自行车时被一辆汽

车给撞死了。比尔的遗孀、晶体学家乔伊斯说她的丈夫喜欢骑自行车,但膝部曾受伤。在事故发生时,他骑着车,因为他需要买一双新跑鞋,“一分钟都不能等了”[26]。48 岁的麦克米伦正处于事业的高峰。“他整天在地下室装计算机并进行测试。”当他拒绝参加布达佩斯会议时,他的主要兴趣已经转移到了另一个研究课题上:他在地下室的计算机上为自旋玻璃建立模型。麦克米伦去世后,乔伊斯才知道他当时正在同时撰写 12 篇论文,这些论文都在他去世前后发表了。

得到这个令人震惊的事故消息后,巴丁立即从布达佩斯给乔伊斯发去了一封唁电,说明会议会专门悼念麦克米伦。他在会议开幕式上说:“我深深地感到自己失去了以前的学生以及伊利诺伊大学物理系的亲密同事。”[27]他要求大家为此默哀。他还专门作了安排,将本次会议的会议录献给麦克米伦。伊利诺伊大学物理系还因此建立了威廉·L·麦克米伦奖,每年颁发,以表彰获得博士学位 4 年内在固态物理领域有突出贡献的年轻研究者。巴丁为颁奖仪式的宣传单撰写了麦克米伦的传略。

贝尔实验室继续强烈反对巴丁的量子力学理论。尽管国家科学基金会对巴丁和塔克联合署名的论文发表了尖锐的评论,巴丁还是坚信“可以在理论和实验之间找到很好的一致性”[28]。

当巴丁在物理学会议上讲话时,菲利普·安德森研究小组的许多年轻成员大声说笑。塔克记得“这让巴丁感到极度不安,贝尔实验室的人在公开场合说他疯狂而愚蠢,并公开嘲笑他”[29]。他从未受到过年轻一代这样的不恭。

1984 年秋,利丁(Joseph Lyding),电子工程系的新助理教授作为实验者加入了巴丁和塔克的团队。利丁之所以来伊利诺伊大学,是因为“可以同像巴丁这样的人一起工作。那样

的机会千载难逢”[30]。他开始为电荷密度波实验培养高质量的晶体。团队原先从格吕纳那里弄到大部分晶体。通过在晶体周围设置热梯度，然后测量其窄带噪声效应，“我可以看到窄带噪声的频率上下波动，形成多个波峰。这是一个美妙的实验。”

利丁记得“同巴丁工作确实很愉快——他很平易近人”[31]。当他写出自己的第一篇论文交给巴丁之后，“第二天巴丁就把论文退还给我，上面写满了各种有趣的建议和评论。这对我帮助很大。”利丁还对巴丁一周至少一两次造访电子工程系的研究实验室表示欣赏。“他会来实验室，并总是同我的学生和他自己的学生谈话。为各方考虑，他平易近人，从不高人一等，这很难得。”

然而，在更大范围的多体领域里，合作中的物理进展却不那么顺利。巴丁的对手指责他对经典理论断章取义，而没有针对理论的细节。当他们提高嗓门的时候，巴丁也逐渐丧失了耐心，并还以颜色。他不时指责对手，说他们之所以支持经典理论，仅仅是因为这个理论更易于计算机编程，这是新一代人的工具，他自己则不使用。

巴丁从未轻易放弃投入了大量时间和精力的理论，要是在年轻时，如果有必要的话，他会这么做。[32]那时他还有很多时间，可以轻易地改变研究方向。但现在，年近八十的他要解决电荷密度波这样的难题，就好像在同时间赛跑。

巴丁的朋友不愿意让他感到难过，因此不在他面前谈论电荷密度波。[33]家庭成员鼓励他撰写回忆录。但是他不愿意这么做。巴丁不愿意忽视这些问题的存在，而塔克也不愿意。这推动着巴丁对此问题作出更全面的解释。

塔克实验室的气氛变得凝重。有时去实验室的拉姆说：“塔克看上去总是很紧张，而巴丁则总是闷闷不乐。”[34]1987

年2月，斯卡拉皮诺在一次会议上同巴丁聊天。巴丁若有所思地说："道格，你知道，物理系都在反对我。"在斯卡拉皮诺看来，"这不大可能，我忍不住说：'但约翰，你就是整个物理系。'"[35]巴丁"像以往一样微笑了一下，然后和我继续聊天"。

巴丁的健康状况明显恶化了。损害他视力的老年黄斑病变对他的工作来说是一个巨大的障碍，手术后并没有多少改善。他有时感到极度沮丧。因为视力下降，加之腿部的痛风，现在他即便打高尔夫也变得困难了。

1987年初，塔克不得不承认，自己对巴丁的理论，尤其是弱钉扎观念持较大的保留态度。[36]他担心巴丁无法解释电流—电压曲线所蕴含的隧穿效应。贝尔实验室的理论家是正确的吗？电荷密度波的交流电反应可以被解释成电容器效应吗？塔克告诉利丁：贝尔实验室的实验证明了巴丁的隧穿模型是错误的，还说"他真的在半夜中醒来，意识到他们所看到的只不过是一些窄带噪声反应。他看到自己去斯德哥尔摩的入场券已经被撕成了两半"[37]。

1987年春，巴丁和塔克之间的关系经历了一场暴风雨。当时塔克写了一个研究意见，说不反对经典理论，自己所持的是无效的观点。他原本只是想表达自己对整个问题的理解，并尽量避免惹怒反对者。好几个人被叫去对此评论。巴丁勃然大怒，并拒绝签署文件，直到塔克在文件中补充了几句赞同量子理论的话。塔克同巴丁之间的紧张关系让萨拉门感到担心，他担心实验室的氛围会变得很糟糕，对学生产生不利影响。

正在那时，物理学界掀起了新的骚动。1987年末，苏黎世的贝德诺兹（J. Georg Bednorz）和穆勒（K. Alexander Müller）宣布发现一种新的陶瓷钙钛矿，温度在35开时会表现出超导性，这个温度比BCS理论预测的要高得多。他们感

觉到它的潜在应用是难以想象的。这些应用包括磁成像、粒子加速器磁体、电子发电机以及磁浮列车。钙钛矿的超导现象是出人意料的，因为 BCS 理论认为只有金属和合金可变成超导。巴丁和其他的理论家竭力想要把 BCS 理论，尤其是把库珀对的概念应用到高温超导性的新现象中。大多数人相信需要修改著名的高温超导体“high-TC”理论的定义。

当研究者们的兴趣从电荷密度波转移到高温超导体之后，巴丁周围的一些紧张气氛得到了缓解。萨拉门说：“高温超导体概念产生后，我们立即开始了研究，巴丁也在研究者之列。”1987 年 3 月，在纽约希尔顿饭店举行了关于高温超导体的大型会议，此次会议被看作是“物理学界的伍德斯托克节”，数千名物理学家挤在一间巨大的舞厅里讨论超导性的新应用。皮帕德称之为“旅鼠效应”[38]。

萨拉门说：“我们发现：当我们把第一组数据应用于高热电容时，贝尔实验室发表的一些数据与之并不相符。”[39]为了输入所有的数据并同已知的数据相比照，他开始“把所有的包含 BCS 公式的电子数据表”都整理出来。

吃午饭时，有人说：“约翰也在做同样的事情；你应该把你做的给他看。”[40]于是萨拉门把他的电子数据表拿给正在办公室里静静工作的巴丁看。“他的黑板从头到尾都布满了各种公式、表达和计算，他正拿着一把六英寸左右的计算尺在那里计算。”数据似乎并不吻合，于是两人“坐在一起，我从计算机里输出我的电子数据表，巴丁看着他的黑板，然后相互进行对照。最终的结果是我们得出了一致的数据”。巴丁“同其他几个人一起，竭力想要算出原先的 BCS 理论在多大程度上是有效的，并决定和我们一起，找到有待补充的新东西”。

自从创立了 BCS 理论之后，巴丁一直渴望为超导性找到一种新理论。他“并没有把声子机制看作是达到这个目的的

唯一办法”[41]。萨拉门和巴丁一起工作，并相信“库珀对的图景是鲁棒的，而且还存在有待研究的吸引相互作用，但是 BCS 的所有公式、成对机制以及能隙理论都是正确的”。1987 年 6 月，他们向《物理评论快报》呈交了一篇关于此项工作的联署论文。

萨拉门回忆道：“我对高温超导体研究的诞生感到很高兴，因为这让巴丁把注意力从与塔克争论的电荷密度波上转移开去。”[42]高温超导体的发现确实“结束了那场争论，至少在公开的场合的确如此”。当国家科学基金会同意另外拨款 35 万美元给材料研究实验室，作为高温超导体项目的启动经费时，几乎“每一个从事电荷密度波研究的人都说‘我要去研究高温超导体’”。

在背后，巴丁日益对反对他的电荷密度波理论的人感到恼怒。他无法理解这种反对力量，并利用一切可能的机会来表达自己的愤怒。1987 年 5 月，他写信给高山（H. Takeyama）和松川（H. Matsukawa）：“有这么一个基于量子传输、同实验数据相吻合、只要处理几个可测量参量的美妙理论摆在面前，难以想象人们还要在那个不切实际、过于简单化的经典理论上花费大量的计算时间。”[43]在他年轻时，只有家人和好朋友了解他的坏脾气，因为他掩饰得很好。[44]他一般拿物品出气，如高尔夫球或鞋子。只有他身边的人，才了解那些偶尔从他口中传出的低沉嘘声或冷笑表达了他的愤怒。但是步入八十高龄之后，他的冷静被暴躁所取代，当事情确实让他感到生气时，他很少能够控制自己的脾气。

塔克独自对电荷密度波进行研究时，他尽量避免碰到巴丁。[45]塔克因为从隧穿效应中提出“强钉扎”理论而声名鹊起。[46]塔克新近提出：“在强钉扎中，每一个杂质阻止了电荷密度波在杂质区前进。然而，在包含了更多单体钉扎中心的大

片杂质区中，平均相位相对稳定，当电荷密度波穿过这一片区域时，会产生相滑移现象。”[47]塔克希望以自己对电荷密度波的量子力学理论的理解来说服巴丁，并就他的强钉扎理论精心准备了一份说明。

当塔克理论赢得物理学界的支持后，巴丁感到更孤立了。萨拉门回忆道：“我想他有一种被出卖的感觉。”[48]巴丁在贝尔实验室工作时，肖克利曾反对过他的理论。此后，还没有哪个合作者反对过他的理论。“我想他把塔克带到这里是为了专门从事这个研究，为了加强这方面的研究，但结果[塔克]却反对[他]。”

巴丁竭力想要帮助他的对手理解他的量子力学理论。他努力地改进自己的论点，但是他依然感到恼火，因为他感到自己已经提供了一切必要的东西来支持物理事业。[49]与此同时，塔克因为无法让巴丁接受自己的理论解释而感到日益沮丧和疲惫。他和米勒一起合作，提出了更令人信服的论据。巴丁对研究工作的反对是没有必要的。当塔克向几个物理学同事求援时，他们声称自己不了解这一理论的细节，因而无法对巴丁提出反对意见。[50]

在解释一个理论时遇到困难对巴丁来说并不是新鲜事。早在50年以前，他在参加普林斯顿大学的预备考试时就遇到过麻烦：委员会要求他详细解释如何得出罗伯逊问题的答案。巴丁的同事、学生，偶尔甚至是老师都曾帮他解决过沟通上的问题。但是在他年近八十之际，没有人可以帮助他解释电荷密度波理论了。

从巴丁同哈隆雅克随和的友谊可以或多或少地了解到1987年下半年巴丁极度的沮丧。尼克每次看到约翰沮丧时，总会鼓励他的朋友休息一下，做点自己的事情。尼克会建议：“不要让其他人经常占用你的时间。看，今天天气不错，去打

高尔夫球吧。”[51]

1987 年 9 月 21 日至 25 日，塔克参加了关于电荷密度波的第二届欧洲专题研讨会。会议在法国边界阿尔卑斯山风景如画的滑雪村庄奥索瓦斯举行。塔克在海报展示的有关非线性传输的会议期间阐述了他的强钉扎理论。巴丁当时呆在伊利诺伊。据与会者称，关于塔克论文的讨论变成了一场关于电荷密度波的经典理论和量子力学理论间的激烈争论。西格说他目睹了“一场丑陋的仪式”[52]：一名匈牙利的物理学家强迫塔克“在所有的听众面前承认他将不再支持巴丁的电荷密度波理论”。

参加会议的还有塔克的学生索恩（Robert Thorne），他刚在康奈尔大学接受一个助理教授的职位。在致巴丁的信中，索恩描述道：“与会者普遍认为解释实验无须用隧穿模型，尽管不能说隧穿毫无作用。”[53]他详细叙述了“大家普遍认为：弱钉扎现象并没有发生，强钉扎和相滑移在电荷密度波的传输中起到了主要作用。”他还说塔克看起来非常激动。

巴丁对那些报告感到很愤怒。他打电话给利丁，向他询问塔克在情绪上是否有些失控。利丁说：“我不这么认为。”[54]利丁确实认为公开说明真相是有益处的。他希望这“能够让塔克和巴丁平心静气地探讨问题所在。他们一旦相谈，问题就会解决了”[55]。因此他对塔克提到了索恩的信，塔克“直接去找巴丁，要求看那封信，而且态度很强硬”。巴丁对此表示拒绝。

利丁解释道，巴丁感觉被逼入角落是因为塔克“能说会道，脑子转得很快”[56]。“我的感觉是他俩在私下解决问题时，塔克自始至终让巴丁感觉很不舒服。”对巴丁来说，“要马上对塔克的理论作出回应”是一件特别困难的事情，因为他“是一个慢条斯理、深思熟虑、有条不紊的人。当你刚刚说出你的

想法就让别人对此琢磨一番时，这很令人难受”。

1987 年 10 月，巴丁和塔克之间的讨论变得非常激烈，以至于两人开始互通书信。在现在看来颤抖的笔迹中，巴丁在 1987 年 10 月 24 日坚持认为弱钉扎理论“为许多实验所验证”[57]。他显然有点被激怒了：“这些是量子物理和不确定原理的简单推理，并不涉及什么艰深的思想。”他向塔克暗示后者在这个问题上已经“形成了一种思维障碍，使得你不能考虑得很清楚”。在这封信的后半部分，他力劝塔克“把这个问题暂时放在一边，去研究能够让你取得进展的问题”。塔克感到遭受了羞辱。

利丁觉得自己成了巴丁和塔克的“信使”[58]。他希望“想出办法让他们进行交谈”。他回忆道，“他们都感到很不安。巴丁会打电话叫我去他的办公室”，他很快就感到“沮丧和愤怒，因为我没有接受他的观点”。过了一会儿，“我们开始平心静气进行讨论，到会面结束时，我们会相互握手。”但是当利丁把信件交给塔克后，“塔克通常会写一封回信让我转交给巴丁。”一周左右后，巴丁“会再次打电话给我”。

有时同巴丁用电话进行交谈时，利丁会潦草地写下一些便条。一张条子上写着“谩骂”[59]，另一张写着“因为说漏嘴而指责你”，还有一张写着“无法同他理论”。这段时期塔克的背部出了问题，巴丁认为这是因为受到精神因素的影响。

巴丁竭力使用外交手段。在 11 月 6 日写给塔克的信中，他建议他们“缩小彼此间的观点分歧”[60]。塔克并不表示认同。11 月 8 日，塔克写了一封言辞激烈的信，但是他 6 个月都没敢送出去。塔克感觉自己的威信受到了动摇，自己已经无法再冷静地对待巴丁，而巴丁又坚信自己的观点“显然是正确的”[61]。塔克承认巴丁的愤怒让他产生了动摇。“我担心你真的会在我的面前倒毙。”他没有销毁这封信，而是在后来

寄了出去。在信中,塔克写出了自己的感受:“你我之间不可能继续进行积极有效的交流了。”

巴丁并没有在11月8日的信中意识到塔克的煽动性言论,他在11月13日写道:“我希望能够进一步缩小彼此间的分歧。”[62]塔克回信说巴丁忽略了有效的实验事实。[63]这样一种没有结果的伤害性交流又持续了十几天。当巴丁在11月23日写道“很高兴看到我们就弱钉扎模型对解释电荷密度波数据的必要性达成了共识”[64]时,塔克进行了回击:“你认为我俩现在就弱钉扎现象的产生必须具备哪些条件这个问题上达成了一致意见,那你是大错特错了。”[65]

一个月后,巴丁使出了最后一招。1月4日,他写信给国家科学基金会,要求基金会去掉他的名字,并推荐塔克和利丁加入。他解释道:“因为工作重点的变化,加上我年事已高,还有其他的一些职务,所以我觉得我在与塔克以及利丁担任共同负责人时不再能起到积极作用。”[66]那时国家科学基金会口头上承诺单独给塔克和利丁提供资助。结果基金“不带任何附加条件”[67]就被核准了。

第二天,巴丁通知塔克自己退出电荷密度波项目。他再次表达了自己对塔克的物理学理论的怀疑。他在信中提到了他们最近的交流:“你没有缓解我的焦虑。为此我感到很遗憾。我非常感谢你在这里发起了电荷密度波项目,并对米勒杰出的实验工作进行了指导。”[68]他补充道:“米勒的实验帮助你确立了你的光助隧穿理论以及索恩关于直流场和交流场下锁相理论的有效性。”他最后一次对一些物理学问题进行了回顾,认为塔克的强钉扎理论“显然是一个矛盾体”。他还说:“无论如何,我这么说并没有个人的感情因素。因为我已经无数次告诉过你,我只希望你成功……对于可能给学生带来的种种麻烦和影响,我深感遗憾,但是我们找不到更好的解

决办法，只能分道扬镳。”

巴丁继续单独从事电荷密度波理论的研究。他对自己理论的有效性从未动摇过。1988 年 2 月初，他把自己关于量子去钉扎理论提交给《物理学评论》时，没有丝毫的让步。“没有一个经典模型可以解释电荷密度波传输的任何一个方面：直流场、交流场或者直流场和交流场的混合。”[69]他认为“任何一种不把电荷密度波金属看作宏观量子系统的人，都没有了解这个物理学问题的本质”。他号召理论家们要更重视实验。“但是这个有关电荷补偿滑动体系中的经典电荷密度波运动的实验，并没有产生一个合理的预测。实验家和理论家都应该把电荷密度波运动看作是宏观量子力学的一个美妙范例，因为它同超导性有许多相似性。”稿件审查人要求巴丁对文章进行修改。

大概就在这时，巴特因为招聘工作从贝尔实验室来到伊利诺伊大学。当巴丁看到巴特经过他办公室时，急忙走出去对巴特说：“我知道你在进行招募，你有许多事情要做，那对于伊利诺伊大学来说也很重要。但是我想我终于搞懂了电荷密度波的隧穿理论。我已经算出了类似于 BCS 理论的波函数。”[70]巴丁告诉巴特，他准备把论文写出来，“但是我想在你这里先验证一下。”两人在巴丁办公室坐了约一个小时，讨论电荷密度波理论。当这位 80 岁的老人充满激情地阐述自己的理论时，巴特认真地倾听。同巴丁的大多数同事一样，巴特也无法理解他的观点。1988 年 5 月，巴丁八十寿辰之际，塔克把他在 11 月 8 日写的信寄给了巴丁。

1988 年 10 月 24 日收到的修改稿经过一些简单的编辑之后，于 1989 年的情人节那天发表。巴丁写道：“许多证据支持了基于宏观量子隧穿之上的理论。所有的证据表明，有必要把电荷密度波金属看作是宏观的量子系统，量子隧穿是其

中的一个基本特征。”[71]

几个月后，巴丁给《物理学评论》写了一封言辞激烈的信，他说，尽管电荷密度波的隧穿理论取得了成功，但是“很少有其他理论家对隧穿理论进行研究。这不仅仅是因为这一理论基本不为研究领域所接受，还因为那些主要的实验家在最近的论文中没有把这个模型当作解释的依据”[72]。他承认自己并没有很好地表达自己的想法。他还说：“因为我没有清楚地表达自己的想法，应该受到部分指责，但在很大程度上，这反映了当前物理学界的现状。每个人都忙于自己的事情，没人愿意花费必要的时间去彻底了解一个难懂的课题。”他对哈隆雅克也表达了同样的想法。他告诉哈隆雅克：“每个人都忙于写论文，没有人去了解别人的论文（我怀疑是否有人这么做），他们对已有的知识了解甚少。”[73]

巴丁关于电荷密度波的最后一篇单独署名论文出现在1990年5月的《物理评论快报》上。[74]在1990年12月的《今日物理》（Physics Today）上，他对“超导性和其他宏观量子现象”进行了概要性的探究。据他的女儿贝特茜说，那篇文章“对他来说非常重要”[75]。他认为从某种意义上说，那是“他在那个领域的顶峰工作”。那时，研究领域的发展方向已经朝巴丁反对的方向前进了。事实上，物理学界的每一个人都认为电荷密度波是一个“无用效应”。

没人能成功地捍卫巴丁的理论，但是米勒在后来提到，一些孤独的声音提醒我们，经典理论并不能解释所有可以观察到的现象。有朝一日，可能会出现一个完整的理论，融合了量子力学理论和经典理论的特征。[76]

从1980年到1991年拉扎勒斯担任美国物理学会的主编期间，他有一两次得知巴丁曾收到过一份很糟糕的评审报告。拉扎勒斯从1951年以来就是巴丁的同事，他发现这很令人震

惊。调查了报告之后，他发现“审查人完全不合格。我无法相信。我想这是一个小孩子的鬼把戏，以为这样可以打倒一个偶像”[77]。拉扎勒斯承认“约翰在撰写最后几篇论文时，度过了一个艰难的时期，这根本不是他的错。这些都是非常重要的论文，它们确实得到了发表，但是他本人不应该受这些罪。”

两次赢得诺贝尔奖之后，巴丁继续在他的研究领域里奋斗。尽管他的量子力学隧穿理论并没有被作为电荷密度波理论的解释为大家所接受，但他发展该理论时的一些想法却可以运用到其他一些领域。透视巴丁对已知现象充满的激动和热爱之情，可以说他是少数几个对电荷密度波研究领域产生重要影响的人。他提出了许多重要的实验，吸引了许多人来研究电荷密度波。

只有巴丁的家人和最亲密的同事才能理解巴丁对搞大物理学的热情，或许那是因为他在日常生活中沉默寡言、貌不惊人的缘故。对巴丁的大多数同事来说，即使对普通观察者来说，如此痛苦地同他人因反对其电荷密度波理论而进行抗争是没有意义的。

心理学家们宣称，这种行为是具备高度创造性的人所特有的。[78]塔克说，上年纪的巴丁“确实遭受了许多的批评和谩骂，因为他认为他所发现的一些真的会成为一个大突破。他还一直渴望从事那一类的研究工作”[79]。

第十六章

最后的旅程

巴丁动作笨拙地坐在那里，略带微笑，亲切地盯着摄像机。1990 年 6 月的那天，卢米斯大厅的巴丁办公室挤满了人和摄像设备。那天特别热。

巴丁感到很疲惫。最近的日本之行回来之后，他就感觉不舒服。他本来不愿意参加这次拍摄采访活动。[1]但日本的一家大电视公司 NHK 的成员不远千里来拍摄他对晶体管的回忆，况且巴丁也希望世人能够了解真实的故事。他本来想在家拍摄，但是当采访者提出在他办公室拍摄时，他礼貌地默许了。约翰多年的同事和朋友哈隆雅克随同帮助采访。哈隆雅克认为晶体管的发明是一个伟大的转折点。

摄像机抓住了 82 岁高龄的巴丁那布满皱纹的脸，安详而愉悦。他坐在办公桌边，一副浅色的放大镜放置在一个可调节的臂形物上，那是哈隆雅克和他的学生为改善巴丁衰退的视力而制作的可爱礼物。巴丁的桌上堆满了论文和杂志，桌上书架中的书显然刚刚用过。

当采访者询问巴丁的日常工作时，他露出一丝满足的微笑。“我几乎每天都来，但是我无法像以前那样工作那么久了。我来得比较迟，走得较早，但是我依然每天都来。”[2]当问及是否依然积极从事研究时，巴丁的眼睛眯了起来。他轻声说道：“我依旧还在积极地从事研究工作。”他的嘴唇卷出一个快乐的微笑：“我每年发表的论文数还是稳定的，并没有

下降。”

在回答采访者的问题时，巴丁耐心地告诉他们自己在威斯康星大学以及海湾实验室的短暂生活，以及自己如何对固态物理产生兴趣，为什么去贝尔实验室。他有条不紊地从面前的一堆文件中找出一个文件，向他们解释某个特殊的实验。他已经精心准备了他的笔记和图解。纸张发出的嗖嗖声暴露了困扰他多年的帕金森综合征。巴丁不顾颤抖的双手，慢慢地指着物理人物，并指明每一个人物最重要的特征。

在磁带录音期间，哈隆雅克询问巴丁是否感到疲惫。约翰摇摇头。他想要完成他的故事。一会儿之后，哈隆雅克打断了谈话，澄清了他所认为的具有历史意义的一个观点。他询问巴丁：他和布喇顿在何时理解了空穴——相对于负电子，这是一种鬼魅般的正电荷载体，在半导体中只占很小的一部分——穿过锗，使得第一个晶体管的产生成为可能。巴丁说是那在 1947 年 12 月 16 日，也就是研究小组把他们的发明展示给贝尔实验室的“高层领导人”看之前的一周。

哈隆雅克指出：“但是约翰，结型晶体管是一个基于双极注入思想之上的双极晶体管，这是你和布喇顿的发明。”[3]他想要指出好几个事实，来反映比点接触晶体管更容易制造的肖克利的结型晶体管是基于巴丁和布喇顿的创意之上的。哈隆雅克继续说：“所以这是一种反讽，肖克利的双极 P—N 结设计一度更容易制造，但是不管如何，它是建立在你和布喇顿在 1947 年 12 月 16 日发现的注入原则之上的。我认为那是关键，也是一件非常重要的事。”

巴丁非常清楚这种专利关系的反讽含义。“布喇顿和我拥有二极原理的基本专利权，我们使用了金属半导体结而非 P—N 结，肖克利拥有结型晶体管的基本专利，但那是普通的

晶体管。在贝尔实验室，肖克利至少可以算得上是第一个提出场效应的人。我拥有使用反型层的基本专利权。”[4]他瞥了一下哈隆雅克，笑着说：“哪个被用到了基本的场效应晶体管上了呢？”

当采访者提出有关使用硅和锗的问题时，巴丁对于一致性及精确性的献身精神就表现了出来。这个答案要追溯到战时研究的历史。尽管身体状况不佳，但巴丁的记忆依然没有出错，表达也很清楚。在回答了采访者的提问后，巴丁提出要修改磁带开头的一部分陈述。然后他又准确无误地从停顿的地方继续往下讲。

当问及肖克利对于巴丁和布喇顿的发现有何反应时，巴丁咕哝道：“当然他对这一新原理感到很兴奋。”[5]当记者要求巴丁对肖克利的性格进行评价时，他只是说：“我想随着时光的流逝，他的性格也发生了变化。”巴丁说，肖克利后来“同其他同事产生了矛盾”。然后他又支支吾吾地说：“那时，我们的关系还是不错的。”

巴丁不愿在公开场合批评肖克利。肖克利已于1989年8月死于前列腺癌。两人曾产生过矛盾，但巴丁心底里佩服肖克利那敏捷的思维。肖克利最近的一些所作所为让巴丁感到困惑和气愤，有时又让他感到好笑。他觉得“他去从事一个自己不擅长的专业——人类遗传学——是一个悲剧”[6]。肖克利用统计学来支持他的理论，从20世纪60年代就提出非洲裔美国人的社会和智力缺陷是天生的。肖克利认为外部条件诸如教育、住房或健康状况的改善也于事无补。巴丁对此表示强烈反对。1981年，他告诉一个新闻记者：“即便存在统计差别，你还得分别对待每个人。”巴丁曾写道：“如果他的兴趣没有转移的话，他本可以在物理学和电子学方面取得更大的成就。”[7]

1980年，肖克利宣称自己为精子库作了捐献，并估计他的基因可以改善“我们社会悲剧性的基因缺陷的现状”[8]。得知肖克利捐献了精子之后，哈隆雅克在西海岸认识的一个熟人打电话给他，询问一个有关巴丁的问题。哈隆雅克告诉巴丁：“他想要知道你是否为精子库捐过精子。”[9]对于这个荒谬的问题，巴丁先是咯咯地笑出了声，然后放声大笑。哈隆雅克笑着回忆道：“我从未见过约翰笑得那么开心。”

布喇顿在肖克利去世前两年离开了人世。1967年从贝尔实验室退休之后，布喇顿在自己的母校华盛顿沃拉沃拉市的怀特曼学院度过了自己生命的最后20年时光。布喇顿在继续从事固态物理研究的同时，还对生物物理学产生了兴趣。巴丁开心地回忆道，布喇顿“喜欢教本科生”[10]，尤其给非科学专业的学生讲授物理。同老年痴呆症进行了长期的搏斗之后，布喇顿于1987年10月去世。因此，巴丁也没有心情庆祝两个月后为晶体管举行的50周年庆典活动。“我生命中的一部分离开了人世。我们曾经那么亲密地合作过。”[11]

得知布喇顿去世那天，巴丁打电话给哈隆雅克。尼克立刻就知道出了什么事。通常，如果巴丁想找哈隆雅克谈话，他会走到后者的实验室，然后坐上一会儿。“我会扔下手头的一切工作，因为无论他想呆多久或聊多久，我都会同他聊。但是沃尔特去世这次，他给我打了电话。”[12]尼克知道妻子凯(Kay)正等在门外，但是他准备让约翰说完。他想：“哎呀，约翰能在电话里讲那么长，这可不像他啊。”对哈隆雅克来说，约翰显然“非常不安”，因为布喇顿曾经是“他真正的合作伙伴”。在谈话中，约翰低声说：“我将是下一个。”尼克答道：“约翰，从某种意义上说，我们都是下一个。”

巴丁想念布喇顿。在《今日物理》献给他这位朋友的一篇颂辞中，他写道：“当历史因为他的成就而记住他的时候，

我会因为他是我的好友、高尔夫球和桥牌的搭档以及同事记住他。”[13]巴丁为怀特曼学院的沃尔特·布喇顿讲师奖学金捐献了5000美元,“为了纪念一个长久的朋友和同事。”[14]

整个1990年,巴丁都在整理他的科学论文,以便存放到伊利诺伊大学的档案馆。他花费了很多精力和时间,在本科生助教利莉(Tonya Lillie)的帮助下整理论文。利莉后来对本书早期的研究工作提供了帮助。巴丁准备把他积累的科学文献转交给大学的档案馆。他非常清楚如何去整理这些材料。把他的工作底稿——笔记、论文的单行本、从其他科学家那里获得的材料以及自己早期的一些手稿——和最终的作品放在一起,他希望它们能够帮助世人更好地了解他是如何取得科学突破的。他希望去除这个过程的神秘成分。

贝特茜说父亲希望学者们能够追踪“他的科学思想以及不同贡献的来源”[15]的痕迹。派因斯指出,巴丁“想要强调他在科学方面的作为,他是如何做到这一切的”[16]。对巴丁来说同样重要的是“以一种其他年轻人的方式”来记住他的生活和工作。

随着视力的衰退,一切对巴丁来说都变得更困难。他全靠哈隆雅克提供的放大镜看清普通的印刷文字。[17]1990年春去日本时,夫妇俩都耗尽了精力,巴丁谢绝了日本方面提出的秋季邀请。1990年10月,索尼公司的鸠山写道,他很希望他们“在今年秋天来日本,但是我认为你更需要休息”[18]。哈隆雅克对巴丁的眼疾表示同情:“尽管没有眼疾,但我可以想象到它所带来的痛苦。”他还补充说:“你知道,你我都不再年轻,当我们的身体出现问题时,我们必须休息。”

腿部痛风所带来的痛苦使得走路变得困难,尽管在高尔夫车的帮助下,巴丁还能继续享受自己喜欢的运动。他还是喜欢走路,但是韦斯特勒注意到他有时“会停下来,脱下鞋

子,把腿往后踢,然后继续走"[19]。手部的颤抖随着年龄的增长而加剧。他多年与之斗争的高血压在药物作用下得到了控制。此外,他最近还了解到动脉血小板的堵塞所带来的危险。[20]恶化的身体状况让他难以忍受。1990 年底时,他开始不停地咳嗽。一天,他向哈隆雅克倾诉痛风和视力减退所带来的苦恼,用手指着胸口,"现在轮到它了!"[21]

9 月时,巴丁获知他将被《生活》(Life)杂志评选为"20 世纪最有影响力的 100 美国人"之一。他把荣誉放在一边。他说:"有几个人的名字是公认的,但除了这几个人外,其他人都是有待评议的。"[22]但是,同事们认为巴丁的成就是无可非议的。克莱因告诉记者:"晶体管的发明以及由此产生的一切催生了第二次工业革命,这起码同第一次工业革命一样重要。"

1990 年 12 月,巴丁复印了一篇《今日物理》刚发表的文章给麦克米伦的遗孀乔伊斯。[23]巴丁的来访让她深受感动。她回忆道:"他要我能够留下复印件。他们要巴丁对超导体理论的历史以及形成进行一个总回顾。他说完成了这项工作之后,麦克米伦的工作才真正得到了承认。"[24]

巴丁定期去厄巴纳的卡尔诊所检查自己的咳嗽。同年 12 月,医生从他的胸腔吸出了近一升的液体,病情发生了可怕的变化。X 光显示他的肺部有一团东西,像是肿瘤。当地医生想要对巴丁进行活组织切片检查以确定肿瘤大小时,约翰和简犹豫了。[25]简不相信当地医生,[26]是去看专家的时候了。

巴丁预约了波士顿的布里格姆女子医院。听同事说,那里有全国最好的胸科手术小组,休格贝克(David Sugarbaker)是胸科的主治医生。巴丁希望休格贝克的团队可以切除他肺部的肿瘤。在波士顿,他和简离贝特茜及其家人也很近,这对

于他们来说是一个宽慰。约翰和简订好了机票，但后来不得不取消了预定，因为医生警告巴丁不要乘坐飞机。厄巴纳的手术之后，吸取胸腔流出物后留下的口子还未痊愈，因此肺部很容易受到飞机内压力的影响。他们雇了一辆豪华轿车前往波士顿。

他们住在贝特茜和汤姆家。同往常一样，约翰喜欢和12岁的安德鲁(Andrew)和6岁的马修(Matthew)玩。两个孙子都很喜欢祖父。安德鲁最近刚写了一篇关于自己亲爱的祖父的短文："学会走路之前，他就学会了游泳，他现在依然喜欢游泳。我也如此。在我更小的时候，他游蛙泳时我会骑在他的背上。我们称之为'潜鸟式'，因为小潜鸟会骑在它们父母的背上。他现在还游泳，当他住在这里时，他会到我的游泳训练队来看我。"[27]

当格雷塔克一家去工作或上学后，巴丁会看会儿电视，或尽可能用他那衰竭的眼睛看会儿书。他会给朋友和家人们打一两个电话。哈隆雅克记得他们会谈些物理学，[28]但巴丁谈得最多的还是即将到来的检查以及最关切的健康问题。

预约定在1991年1月21日的马丁·路德·金(Martin Luther King)日。预约并不紧张，巴丁无须等很长时间就可以看医生了。简和贝特茜陪在他身边。检查之后，休格贝克把他的身体状况和可能的治疗方案简要地告诉了他。约翰温和地向他询问病情。休格贝克回忆道："他对问题的分析方法以及寻找答案的能力马上就给我留下了深刻的印象。那时他是一个重病人，知道自己即将同我合作，共同攻克难关。"[29]他们一起看了X射线片子。休格贝克告诉他的病人想要知道的一切。巴丁询问了有关治疗他癌症的新方法，诸如手术或其他办法，还特别积极地参与到医疗保健中去。"他对于诊断和可能的选择提出了许多问题。"他们计划进行额外检查，

以确定癌细胞是否已通过血管扩散，以及肿瘤是否已转移到淋巴结。

他们同意，下周初，休格贝克对巴丁进行支气管镜检查和纵膈腔镜检查（用一个带有灯和镜头的内窥镜对肺附近区域进行检查）。这个检查可以确定癌细胞是否已经扩散。如果答案是肯定的话，就需要进行手术。检查需要在医院里呆上一整晚。住院前一晚，巴丁静静地同简、贝特茜、汤姆和两个孙子呆了一晚。

手术进展很顺利。[30]约翰在康复室醒来，在那里，他可以懒洋洋地同护士聊天。当晚，他依然住在医院里，实验室则对他的活组织进行切片检查。手术后不久，休格贝克就已经知道了检查结果，但是他宁愿等他的病人从麻醉中完全恢复过来之后再讨论。当晚，简和贝特茜陪了巴丁一会儿，并答应第二天再来探望他。她们走了之后，巴丁独自在房间里看棒球赛。

1月30日星期三的清晨，巴丁醒来之后就和护士们开玩笑。当休格贝克进房间后，巴丁询问医生们的工作。他问："今天怎么样？——忙吗？"[31]休格贝克回忆道："每天他都会这么问我们。这是巴丁特有的习惯。"然后他们开始讨论巴丁的诊断结果。癌细胞已经扩散，手术不是一个合适的选择。他们同意进行放射治疗。休格贝克并没"过于悲观，但巴丁是一个非常聪明的人"。医生看得出巴丁"知道那不是好消息"。但至少放射治疗可以减缓疾病的恶化，减轻一些症状。巴丁大概只能活几个月了。

前一天，休格贝克检查了巴丁的切口，看上去还不错。他继续查房，对巴丁能够冷静地接受自己的病情以及在死亡面前表现出的尊严表示赞叹。正当休格贝克准备走进电梯之际，巴丁的护士跑来找他。她刚刚去为巴丁检查时"发现他

不省人事了”[32]。心脏监控仪显示巴丁刚刚经受了一次严重的心脏病发作。所有的医生都不能救活他。1991 年 1 月 30 日早上 8 时 45 分,巴丁去世。休格贝克记得当时巴丁“呼吸非常急促,非常痛苦”。在他治疗的数千名病人中,巴丁给他留下了最深刻的印象。对他来说,这是一个“非常发人深省的时刻——我终身难忘”[33]。巴丁知道自己“预后不良”,“自己得了不治之症,然后他就去世了。”

休格贝克认为巴丁是一个“很有风度的人”[34]。你可以“从他身上看到很多”。胸科医生经常可以看到“许多病人陷入绝境”。在那个时刻,勇气是一种宝贵的东西。他认为巴丁在生命最后的日子里有着特别的风度。面对那些让其他病人“坐立不安”的消息,巴丁“沉着冷静,稳如泰山”。

巴丁的遗体在坎布里奇的奥本山火葬场火化。简把他的骨灰带回了尚佩恩。春天时,全家人把他葬在了他童年生活过的麦迪逊。2 月 8 日星期五下午,数百名朋友和同事聚集在伊利诺伊大学的学生活动大楼,为纪念巴丁举行了一个简单的仪式。[35]仪式之后,他们在伊利诺伊大学克安奈特艺术表演中心举行了一个招待会。贝特茜、比尔和吉姆一起追念了他们的父亲;巴丁的一些朋友和同事对他的科学天赋和博爱致敬。

比尔告诉大家:“孩子们都从事同物理学相关的行业。”[36]这不足为奇,部分原因在于“我们都感受到了父亲对物理学的热爱和执著”。巴丁家的孩子效仿父亲。“在我们家,物理学被看成是最高贵的职业。大人并没有这么告诉我们,但不管怎样,我们都知道这一点。父亲自己在物理学研究方面的方法以及他为自己的生活所设立的标准清楚地表明了这一点。父亲没有教过我们物理学,但是鼓励我们自己去寻找方法。”如果机会合适的话,约翰也会在家里教孩子们物理学知

识。比尔记得自己“在读大学时,电磁学差点不及格”。父亲在圣诞节期间帮助他解决了问题,最后比尔通过了这门课程。

“我想你不会认为我父亲是典型的美国父亲,”[37]比尔说,“但对于我们这些孩子来说,他首先是我们的父亲。在3个孩子中,一定是我帮助父亲了解到什么东西对于父亲有着重要的意义。”他解释说,吉姆“在婴儿时很老实,满足于探索他所能支配的那个世界。然而,我是最调皮的一个,我总是险些闯祸,是3个孩子中最让人操心的一个。”吉姆告诉大家,孩子们都还小时,“他在卧室地板上和我们一起胡闹,花很多时间同比尔和我玩接球的游戏”[38]。

“父亲最喜欢他的孙子,”贝特茜说,“他同小孩在地板上玩耍,同他们打闹、搭积木,参与到他们想象的游戏中,他会感到非常开心。”[39]她讲述了自己最喜欢的一个故事:“安德鲁3岁时,我们还住新罕布什尔的一个小房子里,我听到安德鲁的房间里传来奇怪的声音。我进去看,发现他们正在假扮潜鸟,钻在被子下面抓鱼,然后钻出被子叫彼此的名字。马修出生后,他也加入了进去,他们3个人会在阁楼的地板上打滚。”回忆起自己的童年,她说:“尽管我们只是静静地坐在那里,但是他对我所做的一切都很感兴趣,他会想出一些小知识来满足我的兴趣。当我学会玩牌并向他挑战时,他仔细察看了所有的牌,把所有的牌都排得工工整整,没有出任何差错。”

派因斯非常怀念每天能够看到巴丁的日子。1959年他回到厄巴纳,那是因为巴丁在那里。在纪念仪式上,他把巴丁描述成“安静、谦和,并没有沉浸在对科学作出一系列巨大贡献所带来的荣誉中,而宁愿接受下一个科学挑战。他拥有一种看透问题本质的罕见能力,能够从无数个相互矛盾的实验结果中挑选出关键性的现象,并从中找出阐述发展连贯性的要素。没有什么能比他所从事的超导性研究更能体现这一点

的了。”[40]

派因斯继续说:“约翰是一个相当好的同事,也是一个忠实而富有同情心的朋友。”[41]他记得有一次旅行,他和妻子苏吉(Suzy)以及他们幼小的女儿“开车从巴黎到莱顿——在他的要求下,约翰和他两岁半的女儿坐在车子的后座上,小孩子发现约翰非常好亲近,在路上同他连续说了六个半小时的话”。

哈隆雅克回忆起在20世纪50年代中期,约翰为他给菊池真琴写了介绍信,这对他在日本的经历产生了很大的影响。他还讲述了自己在横滨服役的时候,收到约翰从斯德哥尔摩寄来的卡片,他的指挥官对他说:“哈隆雅克!你认识一个在瑞典的名叫巴丁的家伙吗?”[42]尼克还告诉其他人他所理解的约翰在卡片上拼错“existence”的原因——约翰在应该学拼写的小学阶段跳了级!

斯利克特回忆起自己从巴丁那里得知神秘的超导性最终被解决的消息。他回忆道:“我正走在物理系大楼的走廊上,约翰突然叫住了我。在他开口之前,我们在那里站了5分钟,然后他对我说:‘嗯,我想我已经解决了超导性。’”[43]对于斯利克特来说,“这是我在科学研究方面所经历的最兴奋的时刻。”他还高兴地回忆起约翰把他的奖牌“拿到各个实验室,这样我们都可以看一下”。

施里弗回忆了他和妻子安妮(Anne)在巴丁60岁生日时给他制作的礼物:约翰和拿着小提琴的学生的拼贴画。“约翰穿着燕尾服,戴着红色的绶带,像一个大合唱团的超级指挥家。”[44]施里弗说他“数错了学生的数量,本来是安排好27个人的,但是却只有26个脑袋”。他决定把玻尔当作一个学生,增加一幅他的照片,以此来弥补错误。他把玻尔放在“中间偏右,这样约翰就不会注意到”。巴丁马上就看穿了骗局,

冷冷地说:“他不是我的学生,那是尼尔斯·玻尔。”

从世界各地寄来的信件涌向格林克劳夫特大街55号,伊利诺伊大学物理系为巴丁举行了吊唁活动,并共同回忆了巴丁感人的一生。他们谈到最多的是巴丁帮助年轻的同事和同孩子一起玩耍。他的高尔夫球友韦斯特勒和伯蒂斯在尚佩恩乡村俱乐部的高尔夫球场的第15洞耳球区里种了一棵树,[45]以此来纪念他们的朋友。

塞茨写信给简,回忆了他在1990年10月拜访厄巴纳时最后一次见到巴丁的情景。当时,两人和一些物理系的同事共进午餐。

> 午餐结束后,显然约翰想要我到他办公室聊天。我们必须在一个半小时内讨论许多事情:从回忆过去到他的身体状况。他还告诉我他正在对论文进行最后的整理,因为他马上就要失明了。现在回顾那时的谈话,他显然是想用他的方式来告诉我或许这是我们最后的会面了。当时,那似乎是不可想象的。[46]

在那次访问中,约翰和弗莱德回忆了他们在伊利诺伊大学共同度过的时光。巴丁说:“我们都要感谢赖德诺尔。”[47]他们都同意:赖德诺尔同斯托达德(George Stoddard)校长和格里菲斯一起,“利用那个时期的机遇”改变了伊利诺伊大学的物理系。

奥斯特豪特从妻子格雷琴住院的杜兰哥默西医院写信给简,格雷琴在三天前刚接受了手术。“约翰内向而谦虚,但是科学界从他的成就中了解了他的为人。格雷琴已经开始想念他了。我们希望你们能够在明年夏天来我们这里。”[48]他们的孙子科蒂斯很喜欢巴丁。

塔克写道:“我将永远怀念那段美好时光。”[49]

5月，当第一批花朵绽放、绿树发芽时，巴丁的骨灰被埋在了麦迪逊。巴丁曾要求自己的骨灰安放在查尔斯·拉塞尔和埃尔希娅·哈默的墓地里。他们被埋葬在父母的墓地边。约翰边上的空地是留给简的。全家人在坟墓边举行了一个简单的仪式。巴丁的侄子汤姆从加利福尼亚赶来祝他那著名的叔叔一路平安。他带来了自己幼小的孩子、唯一一个与巴丁同名的约翰。

简按照约翰的遗嘱，把他的奖章——两个诺贝尔奖章、一个罗蒙诺索夫奖章以及一个富兰克林奖章——及论文捐献给了伊利诺伊大学。大多数被托管的不动产根据个人信托原则分配给了家庭的成员。全家人努力工作，保存了所有同约翰相关的文件和物品。比尔和妻子玛吉同意在他们伊利诺伊沃伦维尔的家中保管重要的家庭文件。在伊利诺伊大学，巴丁办公室的大多数文件被存放到了大学档案馆，它们在那里根据档案标准被整理、装箱、编目，供研究用。

简继续自己的生活，但是对她来说，想要自由地外出变得越来越困难。不久之后，她已经无法照顾格林克劳夫特的房子了。她搬到了厄巴纳的克拉克—林赛村的养老院，她的一些朋友已经住在了那里。

1994年5月，格雷琴·奥斯特豪特写信把一个坏消息告诉了简：约翰在威斯康星大学和海湾实验室的老朋友“达奇”去世了。同简一样，“她正在学会像一个寡妇那样生活。”[50]

健康状况的恶化最终迫使简搬到了克拉克—林赛村养老院的高级护理病房。她日益受到背痛的折磨。即便在健康恶化的条件下，她还在结交朋友。她经常和朋友们谈论她在年轻时讲授的生物课、她的家庭以及旅行。一天晚上她告诉一个护理人员：“我要死了。”[51]这个妇女在简的房间里呆了一会儿。1997年3月31日凌晨4点，简去世，差7天就是她90岁

生日。

简曾告诉过她的妹妹贝蒂："每次我们参加一次葬礼，我们就在想：我们去世时不要举行这样的仪式。"[52]她和约翰同意，如果允许的话，可以举行一个由朋友和家人参加的纪念仪式，"但是不要让陌生人来布道，一个牧师一定会怀有来世或其他的宗教信念，但我们没有信仰。"1997 年 4 月 5 日，简的家人和朋友举行了一个小的纪念仪式来纪念她。

比尔为自己的父母设计了一个低矮的石头纪念碑作为墓碑。[53]设计包括代表父亲两次获得诺贝尔奖的两个 N，以及象征母亲热爱大自然的两支花枝。这个石碑位于麦迪逊以西低矮的山岗上，意味着简的骨灰已经同约翰的骨灰合在了一起。

第十七章

后记:真正的天才及其培养[1]

多少个世纪以来,天才的问题一直是一个神秘而有争议的话题。[2]诸如"天才在多大程度上同创造性相关?"、"天才是遗传的吗?"或"天才可以培养吗?"之类的基本问题特别难以回答。时至今日,越来越多的关于创造性和天才的著作也很难达成一致的观点。[3]但在众多有争议的讨论中,我们多少达成了一致意见,这意味着我们有了一个更现实的现代天才形象。约翰·巴丁的生活和工作,为我们提供了讨论这一观点的基础。

我们对于要得出的结论必须慎重,因为我们的研究是不完整的,我们所看到的图像依然是模糊的。巴丁是唯一的例子。如果要得到更为完整的陈述,那么就需要对许多例子进行比较。[4]就天才和创造性这个问题而言,我们对于巴丁工作方面的研究依旧很不完整,因为直到写这本书的最后几年,我们才意识到它可以帮助我们来解决这个问题。

大多数对创造性进行研究的学者就天才的3个方面达成了共识。首先,对于文化作出持续贡献的"真正的天才"和广泛代表大众文化的虚构天才(如弗兰肯斯坦博士或威尔·亨廷)之间存在着实质性的巨大差别。20世纪早期,那些认识到这种差别的学者包括生物学家、优生学家兼统计学家——达尔文的大表弟——高尔顿,以及智商测试之父、心理学家特曼(Lewis Terman)。

高尔顿曾指望通过选择性繁殖来提高智力和其他的“好”品质，从而提高人类的创造力。他倡导用统计学的方法来评估个人之间的区别，对人类进行系统的研究。在高尔顿的基础之上，特曼设计了更为复杂的智商测试法来研究创造力。[5]20 世纪 20 年代早期，他在斯坦福大学进行了著名的测试，这一测试的副产品是，由他的学生考克斯（Catherine Cox）对测得的 300 名高智商孩子的未来成功进行深入研究。

学者们对于创造性达成共识的第二个方面是，天才和创造性必须是针对有明确知识结构的特别领域而言的。因此，莫扎特是一个音乐天才，牛顿是一个物理学天才。这种同某一领域的联系让天才和创造性直接同文化和社会联系在一起，[6]因为这必须得到某一领域的专家们认同这一领域增加了新的或重要的成就。如果不是这样的话，那么观念和行动就不会有持续的影响力。

这些知识的“守门人”通过对他们研究领域“范式”的认同联系在一起。[7]范式一词是由库恩在约 40 年前引入到科学史研究中的，当时他指出：在任何一个特定时期，某一领域的人对于该领域知识的产生都有一种共识。这样，以范式对某一领域进行描述的做法进入了许多知识领域，并可以让我们确定某种高度创造性的行为，也就是某人创造、替代或重建了这个领域的范式。重建的形式是多种多样的。巴丁在物理学方面的创造力较之于牛顿或爱因斯坦是较为有限的，但是不管怎样，他几乎毕生从事固态物理的研究，并把重要的范式引入了固态物理学现存的知识结构中。

第三个共识并不像前两个那样得到公认，它通过人物形象（支撑某领域最高层次的创造性工作的人物外形或性格特征）来描述天才。同普通人认为的固定形象（通常具备一些共同特征，如外向、离群索居、具有超凡魅力、古怪、精神错乱、

自学成才等等）不同，现实生活中的一些真正天才所具备的品质包括聪明、充满激情、自信、专注、执著以及具备把问题分解成许多小部分的习惯。我们在比较不同人时，发现他们具备许多共同的特征——正如不同人的鼻子或嘴巴外形相似一样——形成的群集宛若一个人的脸。

这一天才形象的概念并不是新近提出的。即便强调遗传天赋的考克斯也承认，“高智商特征”[8]并不是决定一个人是否卓越的唯一因素。他们还依靠“不断地进取和努力、性格中的自信以及伟大力量”来取得成功。有关天才形象的新意在于它将获得广泛的共识。[9]这一观点提供了许多研究机会，使我们得以通过巴丁的生活和工作来进一步考察它。

天才和杰出的创造力可以用3个不同性质的层面来表现：(1)*个人层面*，它包括同个人相关的特殊领域的特征，诸如天赋和动力；(2)*方法论层面*，它包括他们在各自领域中解决问题的各种方法；(3)*背景层面*，它包括诸如家庭和教育等环境因素。这些方面并不是相互独立的。举例来说，巴丁的家庭对他的能动性和价值观产生了重大影响。单独对这些方面进行考察可以为我们进一步的研究奠定基础。

多年以来，有关个人特征的问题一直存在着巨大争议。举例来说，几乎每个人都承认天赋和智力的重要性，[10]但是对于这些特征是否由遗传决定尚无定论。无论如何，巴丁在数学领域可以说是有才华的；他在数学上的杰出能力显然归功于孩童时期的父母教育。但正如高尔顿、特曼和考克斯所认为的那样，很难说这种天赋可以单独或主要归功于遗传或长期对数学的接触。

现在，大多数的学者同意这样的天赋至少部分地来自于遗传。然而令人吃惊的实验表明：在国际象棋或音乐等领域，

能力一般的人可以通过大约 10 年的长期训练取得大师级的成就。[11]确实有证据表明，巴丁在很小的时候就大量地接触数学，或许这是因为他对数学感兴趣的缘故。这样看来，才能同时基于遗传和训练的基础之上。

20 世纪早期，特曼和其他人认为智商是创造性的必要条件，现在大多数有关创造性的著作都对智力的遗传论点提出了质疑，至少在通过智商标准测试来证明这一点上。费恩曼显然是一个富有创造力的人，据说他的智商为 129，比正常人高一点，但远不在公认的天才的智商范围内。某些心理学家认为：创造性更多地是同某一特定领域创造性工作相匹配的智力相联系的。[12]举例来说，巴丁所具备的智力让他有可能“看见”固体中的电子。

那些相信才能主要归功于接触环境的人同样强调在某个领域工作的激情和动力。伟大的教育家孔子（Confucius）强调激情，“不愤不启，不悱不发。”[13]心理学家艾曼贝尔（Teresa Amabile）和她的学生坚持认为“内在动力”[14]——即便是相反阵营的人也认同这种品质，高尔顿也如此认为——有助于某一领域的投入性学习，他们认为这是天才产生的真正基础。从这个观点看来，赞同自学成才的专家建议每个人遵循自己的激情，这种看法是正确的，因为激情鼓励你去接触相关知识，追求卓越，反过来让你去追寻合适的环境。动力可以通过积极的接触来加强，由此我们得出结论：天才也是如此。尽管这一观点反对基因决定论，但是它并不否认基因有可能对于个人潜力的发挥起到重要作用。

激情是创造力的另一个重要来源，因为它被看作是天才的大多数个人品质的源泉，诸如学习意志力、执著、注意力、细心或掌握熟练性的动力。巴丁非常喜欢物理和数学，他拥有充满激情的人所具备的综合个性。他很早就学会把注意力集

中在难题上，即便遭遇挫折也是如此，而这往往给他带来巨大的回报。他从经验中了解到：同数学难题作斗争可以增强他的智力和自信，而这些是从事创造性的数学工作所必须的。他或许在哈佛大学的时候就努力把自己培养成为一个世界级的物理学家，当时他经常碰到那些棘手的数学问题。作为一个物理学家和数学家，他所培养的自信和智力又培养了适度的冒险精神。

有时，巴丁对物理学问题的投入会让同事感到沮丧，尤其是当注意力转变成一种沉思般的出神时——有时就是在谈话时。施里弗认为当巴丁“入定”时，他会让大自然“进入他的躯体”[15]，让思想充满自己正在研究的那个体系。巴丁把这种强烈的注意力和坚持不懈结合在一起，经过多年的训练后，他在物理学研究方面培养出了传奇般的“直觉”。

巴丁对物理学问题就像一个小孩子对于感兴趣的事物那样具有一种好奇心。[16]高普尼克（Alison Gopnik）和其他人把科学家比喻成一个长大了的孩子。加德纳（Howard Gardner）把创造性工作所必需的执著同孩子对周围世界的好奇心联系在一起，这样一种观点也在爱因斯坦的自传中有所提及。巴丁同孩子之间的亲善，在很大程度上可以同他在解决物理学问题时所具备的孩子般的注意力联系在一起。

有些研究者认为，童年时代的悲剧，诸如父母的死亡实际上有利于创造力的发展。[17]巴丁 12 岁时，母亲埃尔希娅就去世了。这一事件并没有对他产生毁灭性的影响，他所面对的这样一种痛苦的经历似乎增强了他的精神力。同样，他在小学和中学所经历的边缘化生活让他学会了如何同人群保持距离。有压力时，巴丁往往会求助于数学和物理，它们为巴丁提供了一个可控的世界，从而摆脱了个人或社会生活所带来的痛苦。

运动为他提供了另一个可控的世界——也带来了许多好处，如减轻压力、锻炼身体、社会交际、娱乐以及构建团队合作模式。最让巴丁着迷的运动是那些既能提高熟练性又能体现积极竞争的运动。[18]巴丁在工作和运动中都是极具竞争力的，但是这种竞争力更多地来源于征服自然难题的意愿，而不是战胜他人的意愿。施里弗说巴丁"基本上是同自己和自然竞争"[19]。

对天才个人生活的研究表明：有创造力的人会将这种积极状态延续到老年。[20]巴丁也不例外。他对物理学研究的热情和能力并没有随着年岁的增长而消逝，尽管他在思维的敏捷性方面有所下降。在70多岁时，巴丁依然从事早年曾试图研究的难题。要是他所从事的有争议的电荷密度波理论是一个有价值的发现的话，他或许会第三次获得诺贝尔奖。尽管他无法就电荷密度波理论的价值说服同事，但是他依然坚信自己理论的正确性。对这个问题，他从未丧失热情。一个同事说："他是我所知道的唯一一个在晚年依然充满激情、像疯子般地从事物理学研究的人，不但从事前沿性的研究，而且写了许多有争议的论文。"[21]我们在其他科学家身上同样发现了这一现象：爱因斯坦在晚年致力于发展统一理论，狄拉克最后的理论工作是同磁单极子相关的。

认知心理学家所从事的广泛的实验研究有助于我们了解天才所具备的第二个方面——方法论层面的特征。20多年来，他们主要把人类解决问题比喻成计算机处理信息。司马贺(Herbert Simon)和他的合作者在科学思考方面开创的开拓性工作把解决问题看作是在一个"问题空间"[22]进行搜索。

该领域得出了许多有趣的实验研究成果，其中包括旨在探索新研究者和资深研究者不同之处的研究。通过考察象棋

大师和新手的复盘能力，心理学家找到了支持以下理论的证据：象棋大师的思维结构比新手更为复杂。[23]这些思维结构是在长期的艰苦训练中锻炼出来的。有理由相信这样的知识模块也存在于科学领域。构建从事创造性工作所必需的专家级知识结构，需要近十年的艰苦学习和训练。因此，具备高度创造力的人往往每十年就会产生巨大的成就——正如巴丁所从事的晶体管和超导性研究，它们分别在 1947 年和 1957 年达到顶峰。大师级的认知能力让搜索问题空间的速度更快。那么，根据这样一种观点，个人在某一领域的“直觉”同他们在各自研究领域的经历密切相关。

巴丁的笔记本和书信证明了许多解决问题的方法，科学家已经通过实验对它们进行研究。心理学家称巴丁经常采用的一种方法为“分解问题”[24]，这是巴丁从维格纳那里学来的方法论的别称。巴丁的科学笔记包括许多“子问题”——组成大问题的小问题。1951 年，他在研究超导性问题时所列出的子问题包括：为多体推导伦敦方程，以单电子波函数验证电流和有效质量理论。同事们认为巴丁充分重视每个问题，无论这个问题有多小。[25]维格纳或许曾鼓励过巴丁使用这种分析方法，埃尔希娅教导巴丁预先分解问题，正如她在杜威实验学校要求学生的那样。[26]

巴丁所提及的分解问题的方法可归结为两类，这两种方法他都尝试过。一种方法只是把较大的问题分解成较小的问题，（如果有可能的话）把问题的各部分分配给团队的其他成员。因此，为了完成 BCS 理论，巴丁让施里弗从事热力学特性的研究，库珀从事电动力学的研究，自己则从事电子的传输和非平衡特性的研究。

在另一种分解问题的方法中，巴丁把问题转变成可以解决的最简单模型，它包含大问题的最基本特征。用他的话来

说:“你把一个问题归结为最基本的要素,它包含的就是最基本的物理学。”[27]这样,巴丁在1952年通过研究超导体内的电子和晶格振动的耦合之后,请派因斯研究极化子问题,这个较简单的问题包含了超导性问题的一些重要特征。之后,他就可以考虑大问题的特征了。

巴丁并不在乎解决问题的方法是否高雅。正如塞茨所说,他喜欢“直接找到”[28]答案。他通常愿意尝试多种方法。[29]举例来说,在发明晶体管前几周,巴丁和布喇顿研究了一系列在材料、几何构成和结构方面不同的系统。为了控制实验,他们只对每个系统做一处或几处改动。在完整的理论出现之前,这种实验修补法是有效的。

有时,巴丁还会运用类似于实验修补的理论修补。这是一种“头脑风暴”,这种理论修补类似于20世纪五六十年代广泛宣扬的激发创造性。那个时代,创造性被看作是对抗冷战的有效工具。

当时,创造性被看作是“发散性”思维的产物、“收敛性”(逻辑)思维的替代物。在思维脱离了“正常的轨道”之后,创造性就可能产生。学术界公开支持这样的发散性思维。1950年,心理学家吉尔福德(Joy P. Guilford,当时是美国心理协会主席)就号召对发散性思维进行科学研究。[30]他鼓励心理学家们对创造性解决问题的认知过程进行研究。这种研究导致了包含多个变量的“心理测量学”的产生。举例来说,卡特尔(Raymond Cattell)在20世纪六七十年代对可变智力进行了研究,加德纳在20世纪80年代对多元智能进行了研究。[31]

20世纪五六十年代,一些创造性专家如德波诺(Edward de Bono)也对基础性方法进行了宣传,大公司的高级管理人员广泛参加他举办的研讨会。一些头脑风暴(激发创造力)[32]的练习遵循奥斯本(Alex Osborn)在50年代所开创的方法,诸

如尽快说出同某个问题要素相关的所有词汇。

狂热的五六十年代的发散性思维运动已尘埃落定。我们依然可以从巴丁和其他创造性人物那里发现，他们倾向于群策群力解决问题，这也让我们想起了德波诺和奥斯本在他们的研究中“被卡住”的时候。想想巴丁和布喇顿在他们发明伟大的晶体管前12天所使用的各种方法。他们设计出了一种放大电流的结构，但是他们不知道原理。为了取得进展，他们尝试了各种变化——材料、几何构图或技术——并仔细地观察效应的增强或减弱。1957年1月，施里弗产生一系列理论想法，并写下了BCS基态波函数的表达公式，这也是一种“创造力的激发”。在技术史中可以找到无数个这样的例子，诸如十万火急的曼哈顿计划的爆聚研究、费米实验室的第一台大型超导磁力加速器以及怀特兄弟的飞行试验等等。[33]

这样的工作——以及巴丁解决的大多数问题——很大程度上是基于实验基础之上的。巴丁是一个受过训练的工程师和物理学家，用派因斯的话来说，他相信“实验是第一位的，实验是第二位的，实验也是第三位的”[34]。理论物理学家阿布里科索夫认为，巴丁同那些想要“创造定律并强加给自然”[35]的理论家不同，他总是从实验数据开始工作。施里弗写道：“理论如果不是紧密地同实验和物理学直觉地联系在一起的话，就可能让你误入歧途。他还认为数学尚没有强大到可以直接解决许多前沿问题的程度。”[36]一次，夏普公司的副总裁问巴丁同哪些理论家一起工作。巴丁答道：“我通常不同理论家一起工作。我喜欢自己来考查数据。”[37]

在实验性的研究项目中偶尔产生的反常情况，会带来了新的洞见。物理学家莱德曼（Leon Lederman）称这样的情况为“顿悟”[38]，因为它们使研究者突然理解了“新的、重要的以及美丽的事物”。当然，只有认识到这样一种反常情况起作

用时，顿悟才会发生。巴丁从事晶体管研究时，意外的实验结果产生了一些最具有戏剧性的进展。举例来说，1947 年 12 月第一个晶体管效应的产生是因为偶然的短路，他们认为存在的氧化锗实际上已经被冲刷掉了，这引起了短路。锗不支持氧化物这种特殊的材料特性以一种意外的方式改变了实验结构，使空穴进入了锗片的反型层。巴丁和布喇顿在观察到这一“意外事件”带来的明显结果时，意识到电流朝他们期望的相反方向流动了。

巴丁历史文件中的大量资料，有助于我们了解类比和隐喻在他科学思维中的作用。巴丁一直寻求用最好的方法来表达一个问题。举例来说，在库珀提出电子对的概念之后，巴丁、库珀和施里弗为此困惑了一年时间，他们不知道如何以数学的形式来表达这种情况，因为许多电子对同其他电子对重叠在一起。巴丁一度沿着弗里茨·伦敦的足迹，建议把他所指称的表达“语言”从普通的三维位置空间变为动量坐标所规定的电子空间。差不多在 BCS 理论创立后一年，施里弗巧妙地以舞蹈作类比，向同事和学生们解释这个问题。他把超导体内的电子对比喻成在一个拥挤的舞厅地板上跳摇摆舞的舞伴们，[39]这使他可以描述电子对之间相互作用的性质。

心理学家们把类比看成是从一个更为熟悉领域（“基础”）到一个较陌生的研究领域（“目标”）的映射。[40]通过清楚地表达基础到目标间的关系，包括根特纳（Dedre Gentner）在内的研究者已经解释了科学家如何为发展一种新思想创造条件。1947 年 12 月 24 日，巴丁在贝尔实验室的日志上（部分文字见图 17－1）解释了他和布喇顿如何把经过精心研究的熟悉的三极管结构（栅极和板极）映射到他们所设计的半导体系统上，[41]目的是了解半导体系统如何真正起作用。进一步分析巴丁和其他科学家如何通过这样的类比取得重大突

破，有助于我们理解科学方面的创造性发现。

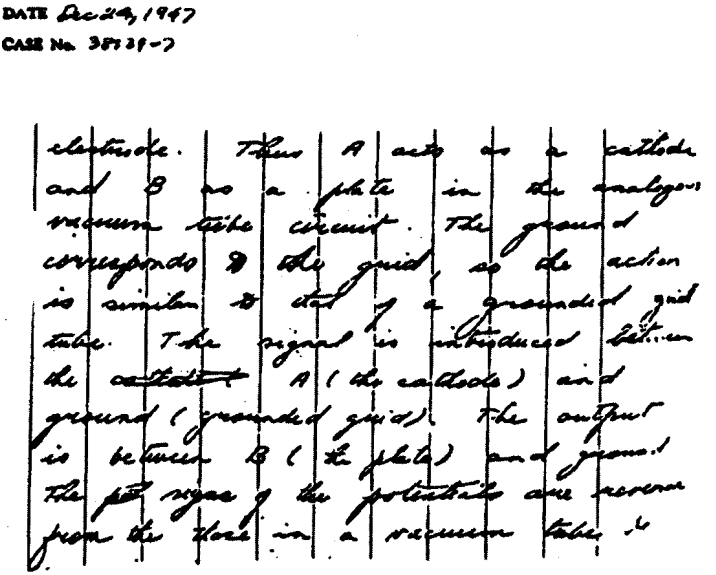


图 17－1　晶体三极管的类比（巴丁日志，1947 年 12 月 24 日）

和类比一样，隐喻也是将那些尚未理解的事物与较容易理解的事物作比较，但两者之间的联系更为直接：研究者以已知的事物来描述未知的事物，即便两者从细节来说并不能完全匹配。举例来说，当巴丁建议皮尔逊进行某个低温实验——一个电子被表面态冻住时，他的言下之意是在这个实验中，晶格就好像被冻成冰一样。阿瑟·I·米勒（Auther I. Miller）通过物理学史中的一系列例子，表明隐喻在研究中起到了模型作用，成为发明和发现的有力工具。[42]*

* 参见《爱因斯坦·毕加索——空间、时间与动人心魄之美》，阿瑟·I·米勒著，方在庆等译，上海科技教育出版社，2006 年。——译者

对于那些基础和目标领域重叠的例子，巴丁有时会用隐喻作为沟通原则，这样已知领域中的一部分可以为未知物理学领域指明方向。举例来说，巴丁使用一种类似于玻尔在对应原理中所使用的方法，指出未知的超导能态必须与自由电子态相对应。而自由电子态只在产生超导性弱剩余相互作用时才会产生。

只要有可能，巴丁就会根据团队成员的特殊经验和能力分配研究工作，使他能更有效地解决手头的问题。他的一些最杰出的研究成果都是通过合作产生的，其他成员为他提供了自己所不具备的专长。巴丁和布喇顿在1946年和1947年的笔记本记录了他们在贝尔实验室半导体研究小组工作中的频繁交流，这种交流促进了不同学科之间的合作。

晚年时，巴丁有意识地把这样一种学科合作纳入到解决问题的方法论体系之中。举例来说，他把库珀招收到超导体的研究小组是为了发挥后者在量子场论方面的专长。巴丁的合作网络从同事扩展到整个物理学界。这里有一个典型的例子，1950年5月15日，塞林打电话告诉巴丁一个线索："电子和晶格之间的相互作用对确定超导性至关重要。"[43]

巴丁方法论中的另一个策略是把研究重点限定在几个问题上。心理学家把那些"对几件事情了解很多的人"[44]视为专家。巴丁在同一个研究领域里呆了多年，凭借渊博的专业知识和扎实的专业基础对固态物理领域进行探索。好几次转变研究方向的维格纳告诉采访者，巴丁"有一种特别好的品质——他并不经常改变自己的研究兴趣，因此他可以作出非常重大的贡献"[45]。

巴丁对知识的频繁而系统的更新，也被看作是一个强有力的工具。他几乎每天都去图书馆，阅读自己感兴趣的专业出版物。开始新研究时，他总是从某一专著的评论着手。通

过对图书馆内著作的研究，巴丁拓展和加深了自己的知识基础，从而比他人获得了更多的优势。

巴丁解决问题的这些相互重叠的方法在他的研究文献中清楚地表现出来，这为我们了解一个物理学家的创造性方法提供了帮助。简言之，它发展了非传统模式的类型学，这对于创造性历史学家、心理学家以及其他学者研究各个案例是重要的。在科学史领域，尼塞斯安（Nancy Nersessian）、特韦尼（Ryan Tweney）、萨洛韦（Frank Sulloway）、格鲁伯（Howard Gruber）、阿瑟·I·米勒、霍尔顿（Gerald Holton）、西蒙顿（Keith Simonton）、金特纳以及兰利（Pat Langley）等学者也采用了类似的研究方法。但是采用这种研究方法的人太少，无法完成较为大型的任务。[46]

对天才认同的第三个方面是包括多种环境在内的社会背景，如家庭环境或工作环境，这些可以促进个人其他方面的发展，诸如灌输价值观、提供联系以及提供道义或经济上的支持。[47]巴丁的父母和祖父都强调学习、创造性、勤奋以及改善社会福利而获得的满足感。约翰的父母大力培养他在教育和创造力方面的有用品质。举例来说，他们支持巴丁早年对一些问题“钻牛角尖”[48]的倾向。巴丁的同事经常说他“顽固不化”[49]。

巴丁的母亲是一个独立的人，有勇气追求自己的激情，这为巴丁树立了一个典范。她25岁时脱离家庭去学习艺术，这为巴丁以后相似的做法铺平了道路：他在25岁美国经济大萧条时辞去了工程师这一有保障的职位，去普林斯顿大学读研究生。他父亲同样为他树立了榜样，查尔斯·拉塞尔是致力于为公众利益解决问题的学院科学家。巴丁则致力于解决实际问题，并致力于产业和政府研究，这些都是青年时代麦迪逊的进步主义文化和理念影响的结果。祖父曾写信告诉他：

“最大的机遇就是为国家服务。”[50]

父母对他学业的支持同时促进了他的智力和个人发展。在后来的一次采访中，他回忆道：尽管他在比自己大四五岁的孩子的班级中没有受到重视，但是他跳了三级这样一个事实确实对他大有裨益。[51]这不仅让他在数学方面接受了挑战，而且让他有更多时间集中精力学习。他避免了那些有天赋的孩子惯常在学校里遇到的无聊。这对他来说是很有意义的。

晚年时，巴丁常常会创造一些类似于他早年有益学习的环境。类似于埃尔希娅在同查尔斯结婚前在杜威学校倡导的理念，威斯康星大学附中是一个致力于激发学生创造力的进步学校。查尔斯把约翰在数学方面所培养的才能归功于大学附中。正如查尔斯告诉他父亲的那样，威斯康星大学的学生“可以选择适合他们自己能力的任何课程，快班制度实际上是不存在的”[52]。普林斯顿大学这个“研究生的天堂”、哈佛高级研究院那个激发创造力的环境、1945～1947 年贝尔实验室的半导体研究小组以及伊利诺伊大学物理系，都类似于威斯康星大学附中，它们都促进了巴丁在物理学研究方面的创造性工作。

巴丁的家庭也是一个重要因素。家庭和家人对他来说是非常重要的，尤其是在紧张和从事未知科学领域探索的时候，他们为巴丁提供了安全感和对现实的依恋。1938 年约翰结婚后，简承担起了维持这种家庭稳定的责任，尽管她感觉自己同丈夫的许多兴趣爱好是格格不入的。

巴丁的诸多导师也对他的创造性起到了很重要的作用。哈特是巴丁七八年级的数学老师，他激起了巴丁对数学的热爱。巴丁在威斯康星大学读本科时，狄拉克、德拜、尤其是约翰·范弗莱克把他引入了量子力学诞生后的现代物理学。

巴丁的导师们甘愿为他打开大门。约翰·范弗莱克给普林斯顿大学、哈佛大学、明尼苏达大学和伊利诺伊大学等写了很多推荐信。同朱克曼所提出的关于"同诺贝尔奖相关"[53]的导师和学生之间关系的理论相符合,巴丁的许多物理老师后来都获得了诺贝尔奖——狄拉克、德拜、范弗莱克、布里奇曼以及维格纳。巴丁从他们身上学会了如何去从事世界级的物理学研究。尽管这些老师没有一个在巴丁做他们的学生时获得诺贝尔奖,但是巴丁和导师们相互认同。

巴丁当维格纳学生的两三年正是维格纳对固态物理痴迷的时候。1945 年他在贝尔实验室工作,据物理学家们看来,那是当时世界上研究半导体的最好场所。1951 年,巴丁来到伊利诺伊大学时,塞茨正在建设美国物理学界的第一个大学固态物理系。巴丁同其他的一些创造性个人以及那些支持他们创造性工作的导师一起工作,这一切到底是怎么发生的呢?

巴丁宣称:"成功来自于好运——正确的时间在正确的地点——并且有合适的合作伙伴。"[54]他认为自己"幸运地"呆在了"固态物理学的底层"[55]。但是这种意外的运气并不能解释为何巴丁经常发现自己在正确的时间处于正确的地点,并解释他的创造力。任何重大的发现都需要诸多偶然性的汇合。为何这种几乎不大可能发生的事情在巴丁身上实现了两次呢?为何这种周期为十年左右的"顿悟"往往会在那些有创造力的人物身上不止一次地发生呢?

天才似乎总是积极地寻求或创造一种支持自己研究工作的环境。他们通过把自己置于"正确的时间在正确的地点以及合适的同事中",为自己创造了"历史的转折点",他们因为自己的精力、兴趣和热情,能够识别出自己的合作伙伴。巴丁小心地选择自己的论文导师,决定自己的各种职业发展。

非凡的创造力似乎是多种因素的共同产物，有些是个人的，有些是方法论的，有些是生活环境造成的。不言而喻，更有力地证实这些因素以及找出这些因素是如何相互作用的，将是了解天才或创造力的第二阶段工作亟待解决的问题。我们已经取得了一些进展，但是研究尚处于一个初级阶段。

我们需要不同的方法，因为每一种方法都有利弊。在实验中，我们可以通过改变参量来控制实验。[56]但是我们几乎不可能对大多数创造性天才进行实验，他们也不大可能简要地回顾几十年创造性工作所需要的条件和因素。调查和访谈让人们对他们的工作产生怀疑，但这些都是不可靠的，也是片面的。调查也很死板。个人无法通过自己从事的工作来了解自己。计算机模拟为分析大量的参量提供了无限可能性，但是至今为止，计算机尚无法处理非理性的参量。研究录像带的制作过程为研究者提供了一个近距离观察了解创造力的机会，但是同实验一样，它们的作用也是短暂的。

我们对天才所了解的很多东西都来自于考察他们的生活和工作的传记。这些也是有局限性的，因为传记和通史一样只是建立在可以获得的资料之上。天才不可能记录他们工作的每一个细节，人类的记忆也会歪曲发明的过程。德瓦尔（Frans de Waal）恰如其分地描述了科学研究："科学的研究往往是事后诸葛亮，从无知到深邃洞察力的道路看似笔直，但那只是因为人对过去的记忆比迷宫中的老鼠还要糟糕。"[57]关于个人创造力的传奇故事[58]很多被证明是杜撰的。如凯库勒（Fredrich August von Kekule）的那个著名的梦：他梦见蛇咬自己的尾巴。据说那个梦让他发明了苯环。还有柯勒律治讲述自己在吸食鸦片时创作出了诗歌《忽必烈汗》（Kubla Khan）。

即便这些天才所留下的文件也会产生误导，因为个人总会编造一些证据，以便让他们的发明道路看起来比实际的要

平坦。好心的家庭成员为减少对大量资料的收集，他们往往会舍弃那些不成功的开始。如果档案保管人为了方便而重新整理文件的话，有时也会毁坏一些历史资料。

对于研究天才和创造性的学者来说，道路依然很漫长。但是他们所面对的问题并不是无法解决的，因为他们的研究对象并不是人们曾经以为的彼岸世界的圣贤。他们是同约翰·巴丁一样真实的人。他们积极地培养出天才所需要的一些要素，而这些要素其实潜在地存在于我们大家身上。

参考文献

以下缩略词用于参考文献和注释中。

AIP	Niels Bohr Library, American Institute of Physics, College Park, Maryland
AT&T	American Telephone and Telegraph Corporation Archives, Warren, New Jersey
BFC	Bardeen Family Collection, Warrenville, Illinois
BNB	Bell Laboratories Notebook (AT&T)
HARB	Harvard University Archives, Cambridge, Massachusetts
NARA	National Archives and Records Administration, Washington, D. C.
NOL	Naval Ordnance Laboratory (now Naval Surface Weapons Center, Dahlgren, Virginia)
PRIN	Seeley G. Mudd Manuscript Library, Princeton University, Princeton, New Jersey
STAN	Stanford University Archives, Shockley Collection
UIUC-A	John Bardeen Papers, University of Illinois Archives, Urbana
UIUC-P	Department of Physics, University of Illinois, John Bardeen Collection, Urbana
UMP	Department of Physics, University of Minnesota, John Bardeen Collection, Minneapolis
USOPM	U. S. Office of Personnel Management, OPF/EMF Access Unit, St. Louis, Missouri
UWA	Archives, University of Wisconsin Memorial Library, Charles Russell Bardeen Collection, Madison

WHIT Walter Brattain Collection, Whitman College, Walla Walla, Washington

WHS Wisconsin Historical Society, Steinbock Archives, Madison

所有列出的访谈,除非另有说明,都在 UIUC - P。

Abrikosov, A. A. 1993. Interview by Vicki Daitch, August 5.

Albert, R. S. 1993. Genius and Eminence: The Social Psychology of Creativity and Exceptional Achievement. New York: Pergamon Press.

Albert, R. S., and M. A. Runco. 1999. A history of research on creativity. Pp. 16 - 31 in Handbook of Creativity, R. Sternberg, ed. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Allender, D. 1993a. Interview by Vicki Daitch, February 11.

——. 1993b. Interview by Vicki Daitch, February 23.

Allender, D., J. W. Bray, and J. Bardeen. 1973. Model for an exciton mechanism of superconductivity. Physical Review B 7(3)(February 1): 1020 - 1029.

Alpert, D. 1992. Interview by Vicki Daitch, March 5.

Amabile, T. M. 1996. Creativity in Context. New York: Westview Press.

Anderson, A. 1992. Interview by Fernando Irving Elichirigoity, January 13.

Anderson, P. 1958a. Coherent excited states in the theory of superconductivity: Gauge invariance and the Meissner effect. Physical Review 110: 827 - 835.

——. 1958b. Random-phase approximations in the theory of superconductivity. Physical Review 112: 1900 - 1916.

——. 1961. Tunneling from a many-particle point of view. Physical Review Letters 6 (2): 57 - 59.

——. 1970. How Josephson discovered his effect. Physics Today (November): 23 - 29.

——. 1987. Interview by Lillian Hoddeson, July 13.

——. 1992a. Interview by Lillian Hoddeson, Vicki Daitch, and Michael Riordan, March 17.

——. 1992b. *Tunneling into superconductors*. Physical Review Letters 9 (4): 147 - 149.

——. 1998. Take some germanium and two bits of gold foil. Review of Crystal Fire: The Birth of the Information Age in the Times Higher Education Supplement (March 13): 1.

Anderson, P. W., and J. M. Rowell. 1963. Probable observation of Josephson superconducting tunneling effect. Physical Review Letters 10 (6): 230 - 232.

Anspacher, W. 1992. Interview by Vicki Daitch, July 30.

Baker, W. 1992. Interview by Lillian Hoddeson and Michael Riordan, September 25.

Baker, W., and P. Miller. 1984. A Commemorative History of Champaign County, Illinois: 1833 - 1983. Champaign: Illinois Heritage Association.

Bardeen, C. R. 1907. Abnormal development of toad ova fertilized by spermatozoa exposed to the roentgen rays. Journal of Experimental Zoology 4 (1).

——. 1909. Variations in susceptibility of amphibian ova to the X-rays at different stages of development. Anatomical Record 3 (163).

——. 1918a. Determination of the size of the heart by means of the X-ray. American Journal of Anatomy 23.

——. 1918b. The value of the roentgen ray and the living model in teaching and research in human anatomy. Anatomical Record 14 (337).

Bardeen, C. W. 1910. A Little Fifer's War Diary. Syracuse, N. Y.: Charles William Bardeen.

Bardeen, Jane. 1991 a. Interview by Lillian Hoddeson and Fernando Irving Elichirogoity. June 6.

——. 1991b. Interview by Vicki Daitch, September 29.

——. 1991c. Group interview with Brian Pippard, David Pines, Lev

Gor'kov, Ansel Anderson, Gordon Baym, and Charles Slichter by Lillian Hoddeson, October 9.

——. 1993. Interview by Vicki Daitch, November 23.

——. 1994. Interview by Vicki Daitch, December 2.

Bardeen, J. 1936. Theory of the work function: II. The surface double layer. Physical Review 49 (May 1): 653 - 666.

——. 1937. Conductivity in monovalent metal. Physical Review 52 (October 1): 688 - 697.

——. 1938. An improved calculation of the energies of metallic Li and Na. Journal of Chemical Physics 6 (July): 367 - 371.

——. 1940. Electrical conductivity of metals. Journal of Applied Physics 11: 88 - 111.

——. 1941. Theory of superconductivity. Abstract. Physical Review 59: 928.

——. 1942. Analysis of pressure data. NOL Report 45. Washington, D. C.: United States Navy Yard, February 24, NOL.

——. 1947. BNB 20780, AT&T.

——. 1950a. Handwritten notes on superconductivity, May 15 - 18, UIUC-A.

——. 1950b. Zero-point vibrations and superconductivity. Physical Review 79: 167 - 168.

——. 1956. Theory of superconductivity. Theoretical part. Pp. 274 - 369 in *Handbuch der Physik*. Vol. 15, Sigfried Flügge, ed. Berlin: Springer.

——. 1957. Semiconductor research leading to the point-contact transistor. Pp. 77 - 99 in *Les Prix Nobel en 1956*, K. M. Siegbahn et al., eds. Stockholm: P. A. Nordstet & Sons.

——. 1960. Talk at Illinois State Normal University, May. UIUC-A.

——. 1961. Tunneling from a many-particle point of view. Physical Review Letters 6 (2): 57 - 59.

——. 1962. Tunneling into superconductors. Physical Review Letters

9 (4): 147 - 149.

——. 1963. Interview by Lincoln Barnett, May 21, AT&T.

——. 1965a. Basic research in the industrial laboratory. Pp. 56 - 70 in Science and Society: A Symposium. New York: W. A. Benjamin.

——. 1965b. Interview by Maynard Brichford, February 8, 1965, UIUC-A.

——. 1965c. 1968. Let's not overlook basic research. Undated manuscript, Xerox files, 1968 - 1969, UIUC-A.

——. 1973a. History of superconductivity research. Pp. 15 - 57 in Impact of Basic Research on Technology, B. Kursunoglu, and A. Perlmutter, eds. New York: Plenum.

——. 1973b. Interview by Louise Geislers, WILL Public Radio, Urbana, Illinois, November 6, UIUC-A.

——. 1977a. Interview by Lillian Hoddeson, May 12.

——. 1977b. Interview by Lillian Hoddeson, May 16.

——. 1977c. Interview by Lillian Hoddeson, December 1.

——. 1977d. Interview by Lillian Hoddeson, December 22.

——. 1978. Interview by Lillian Hoddeson with Gordon Baym, April 14.

——. 1980a. Tunneling theory of charge-density-wave depinning. Physical Review Letters 45:1978.

——. 1980b. Reminiscences of the early days in solid state physics. Proceedings of the Royal Society of London A371:77 - 83.

——. 1980c. Interview by Lillian Hoddeson, February 13.

——. 1984a. Beginnings of solid state physics and engineering. The Bridge (National Academy of Engineering) 14(4):8 - 12.

——. 1984b. Interview by William Aspray, May 29.

——. 1984c. Interview by Lillian Hoddeson.

——. 1985a. Macroscopic quantum tunneling in quasi one-dimensional metals. II. Theory. Physical Review Letters 55: 1010.

——. 1985b. William L. McMillan. In Lecture Notes in Physics: Charge Density Waves in Solids, Proceedings of the International Conference Held in Budapest, Hungary, September 3 - 7, 1984, Gy Hutiray and J.

Sólyom, eds. Berlin: Springer-Verlag.

——. 1985c. "A Meeting to Honor William L. McMillan," Department of Physics, University of Illinois at Urbana-Champaign.

——. 1986a. Consultation on Star Wars. Letter to the editor. Science. January 17.

——. 1986b. The origins of Star Wars. Arms Control Today (July 1), clipping, UIUC-P.

——. 1987. Solid-state physics—1947. Solid State Technology (December): 69 - 71.

——. 1988. Walter H. Brattain. Physics Today (April): 116 - 118.

——. 1989a. Classical versus quantum models of charge-density-wave depinning in quasi-one-dimensional metals. Physical Review B 39 (6): 3528 - 3532.

——. 1989b. Depinning of charge-density-waves by quantum tunneling. Physica Scripta T27: 136 - 143.

——. 1990a. Interview by NHK television, Japan, June, courtesy of Nick Holonyak.

——. 1990b. Superconductivity and other macroscopic quantum phenomena. Physics Today 43 (12): 25 - 31.

——. 1990c. Theory of size effects in depinning of charge-density waves. Physical Review Letters 64 (19): 2297 - 2298.

——. 1994. Walter Hauser Brattain. Memoirs of the National Academy of Sciences 63: 68 - 87, Washington, D. C., National Academy of Sciences.

Bardeen, J., and W. Brattain. 1948. The transistor: A semi-conductor triode. Letter to the editor. Physical Review 74 (2): 230 - 231.

——. 1949. Physical principles involved in transistor action. Physical Review 74 (April 15): 1208 - 1225.

Bardeen, J., and J. Keithley. 1942. Proposed design of a mine utilizing the decrease in water pressure created by the passage of a ship. Naval Ordnance Laboratory Report 498. Washington, D. C.: U. S. Navy Yard.

February, NOL.

Bardeen, J., and J. M. Kendall. 1941. Gravitational fields. Naval Ordnance Laboratory Report 316. Washington, D. C.: U. S. Naval Gun Factory. September 11, NOL.

Bardeen, J., and A. Nier. 1941. The production of concentrated carbon 13 by thermal diffusion. Journal of Chemical Physics 9: 690 – 692.

Bardeen, J., and D. Pines. 1955. Electron-phonon interaction in metals. Physical Review 99: 1140 – 1150.

Bardeen, J., and J. R. Schrieffer. 1961. Recent developments in superconductivity. Progress in Low Temperature Physics 3: 170 – 287.

Bardeen, J., and G. H. Shortly. 1942. Firing areas for Mark 13 mine with M4 Mod 1 mechanism. Naval Ordnance Laboratory Report 605. Washington, D. C.: U. S. Navy Yard. May 28, NOL.

Bardeen, J. et al. 1942. Target areas of submarines, Naval Ordnance Laboratory Report 528. Washington, D. C.: U. S. Navy Yard. May 28, NOL.

Bardeen, J., and J. H. Van Vleck. 1939. Current in the Bloch approximation of "tight binding" for metallic electrons. Proceedings of the National Academy of Sciences (February): 82 – 86.

Bardeen, J., L. N. Cooper, and J. R. Schrieffer. 1957a. Microscopic theory of superconductivity. Physical Review 106: 162 – 164.

——. 1957b. Theory of superconductivity. Physical Review 108: 1175 – 1204.

Bardeen, J., G. Baym, and D. Pines. 1962. Interactions between ^{3}He atoms in dilute solutions of ^{3}He and superfluid ^{4}He. Physical Review Letters 17 (7): 372 – 375.

Bardeen, J., W. Shockley, and W. Brattain. 1972. Interview by John L. Gregory, April 24, AT&T.

Bardeen family interview. 1992. Interview by Lillian Hoddeson, Michael Riordan, and Fernando Irving Elichirigoity, March 15.

Bardeen, W. 1993. The Barden-Bardeen Genealogy: A Revision of "The

Barden Genealogy," a Manuscript by Leon R. Brown of Rochester, New York. Baltimore: Gateway Press.

——. 1995. Interview by Lillian Hoddeson, March 23.

——. 2000. Interview by Vicki Daitch, May 30.

Baym, G. 1992. Interview by Fernando Irving Elichirigoity, March 4.

Baym, G., and L. Kadanoff. 1962. Quantum Statistical Mechanics: Green's Function Methods in Equilibrium and Nonequilibrium Problems. New York: Benjamin.

Baym, G., C. J. Pethick, and D. Pines. 1969. Superfluidity in neutron stars. Nature 224: 673 - 674.

Belyaev, S. T. 1959. Effect of Pairing Correlations on Nuclear Properties. *Matematish-Fysiske Meddelelser Konglige Danske Videnskabernes Selskab* 31 (11): 1 - 35.

Benjamin, A. C. 1955. Operationalism. Springfield, Ill.: Charles C. Thomas.

Bennett, R. D. 1987. Putting science to sea in World War II: The development of the modern Naval Ordnance Laboratory. On the Surface (July 10), NOL.

Bernstein, J. 1984. Three Degrees Above Zero. New York: Charles Scribner's Sons.

Bethe, H. 1972. Interview by Charles Weiner, October 1966 to May 1972, AIP.

——. 1981. Interview by Lillian Hoddeson, April 29.

Bethe, H., and J. Bardeen. 1986. Back to Science Advisors. New York Times, Op-Ed page, May 17.

Bethell, J. T. 1998. Harvard Observed: An Illustrated History of the University in the Twentieth Century. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Bhatt, R. 1992. Interview by Vicki Daitch, March 17.

Bleaney, B. 1982. John Hasbrouck Van Vleck. Pp. 627 - 665 in Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society, 28. London: The

Royal Society.

Boden, M. A., ed. 1996. Dimensions of Creativity. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Bohm, D. 1981. Interview by Lillian Hoddeson, May 8.

Bohr, A., B. R. Mottelson, and D. Pines. 1958. Possible analogy between the excitation spectrum of nuclei and those of the superconducting metallic state. Physical Review 110: 936 - 998.

Bondyopadhyay, P. K. 1998. In the beginning. Proceedings of the IEEE 86 (1): 63 - 77.

Bone, D. 1989. The Emptiness of Genius: Aspects of Romanticism. Pp. 113 - 127 in P. Murray, ed. Oxford: Basil Blackwell.

Booth, E., ed. 1969. The Beginnings of the Nuclear Age. New York: Newcomen Society in North America.

Bradley, H. C. 1992. Charles R. Bardeen. Wisconsin Medical Alumni Magazine Quarterly 32 (4): 2 - 18.

Bradshaw, G. 1992. The airplane and logic of invention. Pp. 239 - 250 in Cognitive Models of Science, R. N. Giere, ed. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Brattain, R. 1993. Interview by Lillian Hoddeson and Michael Riordan, February 20.

Brattain, W. n. d. How the transistor was named. Unpublished document, WHIT.

——. n. d. The saga of an expedition to Stockholm, Sweden, December, unpublished, WHIT.

——. 1947. BNB 18194, AT&T.

——. 1963. Interview by Lincoln Barnett, February 14, AT&T.

——. 1964. Interview by A. N. Holden and W. J. King, January, AIP.

——. 1974. Interview by Charles Weiner, May 28, AT&T.

Bray, J. 1993a. Interview by Vicki Daitch, February 8.

——. 1993b. Interview by Vicki Daitch, February 11.

Bridgman, P. 1927. The Logic of Modern Physics. New York: MacMillan.

——. 1936. The Nature of Physical Theory. Princeton, N. J.: Princeton University Press.

——. 1980. Reflections of a Physicist. New York: Arno Press.

Brinkley, D. 1988. Washington Goes to War. New York: Alfred Knopf.

Brinton, C. 1959. The Society of Fellows. Cambridge: Society for Fellows of Harvard University, distributed by Harvard University Press.

Brown, L. M., and L. Hoddeson, eds. 1983. The Birth of Particle Physics. New York: Cambridge University Press.

Brown, L., R. Brout, T. Y. Cao, P. Higgs, and Y. Nambu. 1997. Panel session: Spontaneous breaking of symmetry. Pp. 478 – 522 in The Rise of the Standard Model: Particle Physics in the 1960s and 70s, L. Hoddeson, L. M. Brown, M. Dresden, and M. Riordan, eds. New York: Cambridge University Press.

Brown, S., and G. Grüner. 1994. Charge and spin density waves. Scientific American (April): 51 – 56.

Buderi, R. 1996. The Invention That Changed the World: How a Small Group of Radar Pioneers Won the Second World War. New York: Simon and Schuster.

Burnham, J. C., J. D. Buenker, and R. M. Crowden. 1976. Progressivism. Cambridge, Mass.: Schenkman Publishing.

Burtis, L. 1995. Interview by Vicki Daitch, April 21.

Campbell, D. 1998. Interview by Lillian Hoddeson, March 27.

Chandler, A. D., Jr. 1977. The Visible Hand. Cambridge, Mass.: Belknap Press of Harvard.

Chang, I. 1988. To scientists he's an Einstein. To the public he's—John Who? Chicago Tribune. January 3, clipping, BFC.

Chase, W. G., and H. Simon 1973. Perception in chess. Cognitive Psychology 4: 55 – 81.

Chi, M. T. H., P. J. Feltovich, and R. Glaser. 1981. Categorization and representation of physics problems by experts and novices. Cognitive Science 5: 121 – 152.

Clark, J. n. d. Wisconsin High's ' thorough courses ' Made it Model School. Newspaper clipping, WHS.

Clark, P. F. 1967. The University of Wisconsin Medical School: A Chronicle, 1848 - 1948. Madison: University of Wisconsin Press.

Cohen, M. H., L. M. Falicov, and J. C. Phillips. 1962. Superconducting tunneling. Physical Review Letters 8 (8): 316 - 318.

Coleman, P. 1992. Interview by Vicki Daitch, February 7.

Condon, E. U., and G. H. Shortley. 1935. The Theory of Atomic Spectra. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Cooper, L. 1956. Bound electron pairs in a degenerate Fermi gas. Physical Review 104: 1189 - 1190.

——. 1987. Origins of the theory of superconductivity. IEEE Transactions on Magnetics MAG - 23(2) (March 1987): 376 - 379.

——. 2000. Interview by Lillian Hoddeson, August 4.

Crosby, A. 1976. Epidemic and Peace, 1918. Westport, Conn.: Greenwood Press.

——. 1977. The influenza pandemic of 1918. Pp. 5 - 13 in Influenza in America, 1918 - 1976: History, Science and Politics, J. Osborn, ed. New York: Prodist.

Csikszentmihalyi, M. 1990. Flow: The Psychology of Optimal Experience. New York: HarperCollins.

——. 1996. Creativity: Flow and the Psychology of Discovery and Invention. New York: HarperCollins.

Curti, M., and V. Carstensen. 1949. The University of Wisconsin, a History: 1848 - 1925, Vol. 2. Madison: University of Wisconsin Press.

Dahl, P. F. 1992. Superconductivity: Its Historical Roots and Development from Mercury to the Ceramic Oxides. New York: American Institute of Physics.

Davies, M. 1970. Peter Joseph Wilhelm Debye. Pp. 175 - 232 in Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society, 16. London: The Royal Society.

De Bono, E. 1992. Serious Creativity: Using the Power of Lateral Thinking to Create New Ideas. New York: HarperCollins.

DeBrunner, P. 1992. Interview by Vicki Daitch, February 12.

Del Guercio, G., R. Hudson, I. Flatow, and E. Augenbraun. 1998. Transistorized! KTCA-ScienCentral. Public Broadcasting System, Special Broadcast, November 1999.

Dessauer, J. 1971. My Years With Xerox: The Billions Nobody Wanted. Garden City, N. J.: Doubleday.

——. 1992. Interview by Lillian Hoddeson, July 28.

Dessauer, J., and E. Pell. 1992. Interview by Lillian Hoddeson, July 28.

de Wette, F. 1993. Interview by Vicki Daitch, November 12.

Dirac, P. A. M. 1930. The Principles of Quantum Mechanics. Oxford: Clarendon Press.

Dribin, A. 1997. John Bardeen and Xerox: Bridging the gap between science and the empirical art. Senior thesis for History 296. University of Illinois, Urbana.

Drickamer, H. 1992. Interview by Fernando Irving Elichirigoity, January 10.

Duke, C. B. 1992. Consultant to industry, advisor to government. Physics Today 45 (April): 56 - 62.

——. 1993a. Interview by Vicki Daitch, November 9.

——. 1993b. Interview by Vicki Daitch, December 2.

Dunbar, K. 1997. How scientists think: On-line creativity and conceptual change in science. Pp. 461 - 494 in Creative Thought: An Investigation of Conceptual Structures and Processes, T. B. Ward, S. M. Smith, and J. Vaid, eds. Washington, D. C.: American Psychological Association.

Eckert, M., H. Schubert, and G. Torkar, with C. Blondel and P. Quédec. 1992. The roots of solid-state physics. Pp. 3 - 87 in Out of the Crystal Maze, L. Hoddeson, E. Braun, J. Teichmann, and W. Weart, eds. New York: Oxford University Press.

Eddington, A. S. 1923. The Mathematical Theory of Relativity. Cam-

bridge, England: Cambridge University Press.

Einstein, A. 1949. Autobiographical notes. Pp. 3 - 95 in Albert Einstein: Philosopher-Scientist, P. A. Schilpp, ed. New York: HarperTorchbook.

Elkins, T. A. n. d. A brief history of Gulf's geophysical prospecting. Gulf Research and Development Corporation Archives, Pamphlet, Senator John Heinz Pittsburgh Regional History Center, Pittsburgh, Pennsylvania.

Ericsson, K. A., R. T. Krampe, and T. R. Clemens. 1993. The role of deliberate practice in expert performance. Psychological Review 100: 363 - 406.

Fagen, M. D., ed. 1975. A History of Science and Engineering in the Bell System: The Early Years (1875 - 1925). Murray Hill, N. J.: Bell Telephone Laboratories.

——. 1978. A History of Science and Engineering in the Bell System: National Security in War and Peace (1925 - 1975). Murray Hill, N. J.: Bell Telephone Laboratories.

Falk, V. S. 1992. Dean Bardeen. The Wisconsin Medical Alumni Magazine Quarterly. 32(4): 19, 20, 22 - 23.

Feist, G. J. 1999. The Influence of Personality on Artistic and Scientific Creativity, in Handbook of Creativity, R. Sternberg, ed. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Feist, G. J., and M. E. Gorman. 1998. The psychology of science: Review and integration of a nascent discipline. Review of General Psychology 2 (1): 3 - 47.

Feynman, R. 1957. Superfluidity and superconductivity. Reviews of Modern Physics 29 (2) (April): 205 - 212.

——. 1985. "Surely You're Joking, Mr. Feynman": Adventures of a Curious Character. New York: W. W. Norton.

Filene, P. 1970. An obituary for 'the progressive movement.' American Quarterly 22 (Spring): 20 - 34.

Fisk, James. 1976. Interview by Lillian Hoddeson and Alan Holden, June 24, AIP.

Fleming, D., and B. Bailyn, eds. 1969. The Intellectual Migration: Europe and America, 1930 – 1960. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, Belknap Press.

Flexner, A. 1960. An Autobiography. New York: Simon and Schuster.

Forman, P. 1969. The discovery of the diffraction of X rays by crystals: A critique of the myths. Archive for History of Exact Sciences 6: 38 – 71.

Frauenfelder, H. 1992. Interview by Fernando Irving Elichirigoity, February 28.

Friedman, A. J., and C. C. Donley. 1985. Einstein as Myth and Muse. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Fröhlich, H. 1950. Isotope effect in superconductivity. Letter. Proceedings of the Physical Society (London) A63: 778.

——. 1954. On the theory of superconductivity: The one-dimensional case. Proceedings of the Royal Society of London A223: 296 – 304.

Gallo, C. 1994a. Interview by Vicki Daitch, April 24.

——. 1994b. Interview by Vicki Daitch, May 3.

Galton, F. 1869. Hereditary Genius: An Inquiry into Its Laws and Consequences. London: Macmillan.

——. 1874. English Men of Science. London: Macmillan.

——. 1883. Inquiries into Human Faculties. London: Macmillan.

Gardner, H. 1985. Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences. New York: Basic Books.

——. 1993. Creating Minds: An Anatomy of Creativity Seen Through the Lives of Freud, Einstein, Picasso, Stravinsky, Eliot, Graham, and Gandhi. New York: Basic Books.

Gavroglu, K. 1995. Fritz London: A Scientific Biography. New York: Cambridge University Press.

Geison, G. L. 1995. The Private Science of Louis Pasteur. Princeton, N. J.: Princeton University Press.

Gentner, D. 1989. The mechanisms of analogical learning. Pp. 199 – 241 in Similarity and Analogical Reasoning, S. Vosniadou and A. Ortony, eds. New York: Cambridge University Press.

Ghiselin, B., ed. 1952. The Creative Process. New York: Mentor.

Gholson, B., W. R. Shadish, R. A. Neimeyer, and A. C. Houts. 1989. Psychology of Science: Contributions to Metascience. New York: Cambridge University Press.

Giaver, I. 1974. Electron tunneling and superconductivity. Reviews of Modern Physics 46 (2): 245 – 250.

Giaver, I., and C. Bean. 1995. Interview by Vicki Daitch, May 5.

Giere, R. N., ed. 1992. Cognitive Models of Science. Minnesota Studies in the Philosophy of Science. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Gilbarg, D. 1992. Interview by Vicki Daitch, July 14.

Gilbert, M. 1989. The Second World War: A Complete History. New York: Henry Holt.

Ginsberg, D. 1993a. Interview by Vicki Daitch and Lillian Hoddeson, December 13.

——. 1993b. Interview by Vicki Daitch and Lillian Hoddeson, December 16.

Ginzburg, V. L., and D. A. Kirzhnits. 1964. On the superfluidity of neutron stars. *Zhurnal Eksperimental'noi i Teoreticheskoi Fiziki* 47: 2006 – 2007. (Translated into English in 1965. *Sov. Phys. JETP* 20: 1346 – 1348).

Gleick, J. 1992. Genius: The Life and Science of Richard Feynman. New York: Pantheon Books.

Glover, J. A., R. R. Ronning, and C. R. Reynolds, eds. 1989. Handbook of Creativity. New York: Plenum.

Goldman, J. 2000. Interview by Vicki Daitch, February 8.

Goldstein, A. 1993. Finding the right material: Gordon Teal as inventor and manager. Pp. 93 – 126 in Sparks of Genius: Portraits of Electrical

Engineering Excellence, F. Nebeker, ed. New York: IEEE Press.

Goldwasser, N. 1992. Interview by Vicki Daitch, Febuary 13.

Gopnik, A., A. N. Meltzoff, and P. K. Kuhl. 1999. The Scientist in the Crib: What Early Learning Tells Us About the Mind. New York: Harper-Collins.

Gorman, M. E. 1992. Simulating Science: Heuristics, Mental Models and Technoscientific Thinking. Bloomington: Indiana University Press.

Graham, D., with G. Yocom. 1990. Mental Toughness Training for Golf. New York: Steven Green Press.

Graham, O., Jr. 1971. The Great Campaigns: Reform and War in America, 1900 - 1928. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall.

Gray, J. 1951. The University of Minnesota, 1851 - 1951. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Greytak, B. 2000a. Interview by Vicki Daitch, May 10.

——. 2000b. Interview by Vicki Daitch, May 24.

Greytak, T. 1993. Interview by Vicki Daitch, August 6.

Gruber, H. 1981. Darwin on Man: A Psychological Study of Scientific Creativity. Chicago: University of Chicago Press.

Grüner, G. 1983. Charge density wave transport in linear chain compounds. On Solid State Physics. Comments on Modern Physics: Part B 10(6): 183 - 197.

——. 2000. Interview by Lillian Hoddeson, October 3.

Guerlac, H. E. 1987. Radar in World War II. New York: American Institute of Physics/Tomash.

Guilford, J. P. 1950. Creativity. American Psychologist 5: 444 - 454.

Hackett, D. 1989. Sony gift honors Nobel laureate who's still working quietly at UI. Clipping. Champaign-Urbana News Gazette. October 6, BFC.

Hadamard, J. 1945. An Essay on the Psychology of Invention in the Mathematical Field. Princeton: Princeton University Press.

Hames, J. 1992. Interview by Vicki Daitch, January 13.

Handel, K. 1998. The uses and limits of theory: From radar research to the

invention of the transistor. Paper presented at the annual meeting of the History of Science Society, Kansas City, Missouri, October 21 - 25, 1998.

Handler, P. 1993. Interview by Vicki Daitch, December 22.

Hansen, H., ed. 1974. Illinois: A Descriptive and Historical Guide. New York: Hastings House.

Harmer, A. 1936. Teaching Report. Pp. 335 - 336 in The Dewey School: The Laboratory School of the University of Chicago, 1896 - 1903, K. C. Mayhew and A. C. Edwards, eds. New York: D. Appleton-Century.

Hart, D. M. 1998. Forged Consensus: Science, Technology, and Economic Policy in the United States, 1921 - 1953. Princeton, N. J.: Princeton University Press.

Hart, W. W., C. Gregory, and V. Schult. 1945. Mathematics in Daily Use. Boston: D. C. Heath.

Hartmann, G. 1992. Interview by Vicki Daitch, July 28.

Harvard Society of Fellows. 1987. Videotaped conversation, John Bardeen and Ed Purcell, with Carrol Williams. Cambridge, Mass.: Harvard Society of Fellows. Videotape. May.

Hays, S. P. 1959. Conservation and the Gospel of Efficiency: The Progressive Conservation Movement. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Henschel, A. B. 1992a. Interview by Vicki Daitch, January 13.

——. 1992b. At home with Charles Bardeen. The Wisconsin Alumni Magazine Quarterly 32 (4): 19 - 20.

——. 1995. Interview by Vicki Daitch, April 17.

Herken, G. 1992. Cardinal Choices: Presidential Science Advising from the Atomic Bomb to SDI. New York: Oxford University Press.

Herring, C. n. d. On the wisdom of cancelling a meeting in a "disapproved" city. Unpublished, UIUC-A.

——. 1974. Interview by Lillian Hoddeson, July 23, July 29, October 31.

——. 1992a. Interview by Vicki Daitch, March 16.

——. 1992b. Recollections from the early years of solid-state physics. Physics Today (April): 26 - 33.

Herring, L., and C. Herring. 2000. Interview by Lillian Hoddeson, July 12.

Hess, K. 1991. Interview by Fernando Irving Elichirigoity and Vicki Daitch, October 1.

Hiltzik, M. 1999. Dealers of Lightning: Xerox PARC and the Dawn of the Computer Age. New York: HarperCollins.

Hoch, P. K. 1993. The reception of Central European refugee physicists of the 1930s: USSR, UK, USA. Annals of Science 40: 217 - 246.

Hoddeson, L. 1981 a. The discovery of the point-contact transistor. Historical Studies in the Physical Sciences 12 (1): 41 - 76.

——. 1981b. The entry of the quantum theory of solids into Bell Telephone Laboratories, 1925 - 1940: A case-study of the industrial application of fundamental science. Minerva 18 (3): 422 - 447.

——. 1981c. The emergence of basic research in the Bell Telephone system, 1875 - 1915. Technology and Culture 22: 512 - 544.

——. 1987. The first large-scale application of superconductivity: The Fermilab energy doubler, 1972 - 1983. Historical Studies in the Physical and Biological Sciences 18 (1): 25 - 54.

——. 1994. Research on crystal rectifiers during World War II, and the invention of the transistor. History and Technology. 11: 121 - 130.

——. 2001. Toward a history-based model for scientific invention: Problem-solving practices in the invention of the transistor and the development of the theory of superconductivity. Paper presented at Model-Based Reasoning: Scientific Discovery, Technological Innovation, Values Conference, University of Pavia, Italy, May 17.

Hoddeson, L., and G. Baym. 1980. The development of the quantum mechanical electron theory of metals: 1900 - 1928. Proceedings of the Royal Society of London A371: 8 - 23.

Hoddeson, L., and M. Riordan. 1997. Minority carriers and the first two

transistors. Pp. 1 – 33 in Facets: New Perspectives on the History of Semiconductors, A. Goldstein and W. Aspray, eds. New Brunswick, N. J.: IEEE Center for the History of Electrical Engineering.

——. 2001. The electron, the hole, and the transistor. Pp. 327 – 338 in Histories of the Electron: The Birth of Microphysics, J. Z. Buchwald and A. Warwick, eds. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Hoddeson, L., G. Baym, and M. Eckert. 1987. The development of the quantum-mechanical theory of metals, 1928 – 1933. Reviews of Modern Physics 59 (1): 287 – 327.

Hoddeson, L., E. Braun, J. Teichmann, and S. Weart, eds. 1992. Out of the Crystal Maze. New York: Oxford University Press.

Hoddeson, L., P. Henriksen, R. Meade, and C. Westfall. 1993. Critical Assembly: A History of Los Alamos During the Oppenheimer Years, 1943 – 1945. New York: Cambridge University Press.

Hoddeson, L., L. M. Brown, M. Riordan, and M. Dresden, eds. 1997. The Rise of the Standard Model: Particle Physics in the 1960s and 1970s. New York: Cambridge University Press.

Hofstadter, R. 1955. The Age of Reform: From Bryan to FDR. New York: Vintage Books.

Holmes, F. L. 1985. Lavoisier and the Chemistry of Life: An Exploration of Scientific Creativity. Madison: University of Wisconsin Press.

Holonyak, N. 1991a. Interview by Susan Stamberg. Morning Edition. National Public Radio, January 31.

——. 1991b. Interview by Lillian Hoddeson and Fernando Irving Elichirigoity, May 29.

——. 1992. John Bardeen and the point-contact transistor. Physics Today 45 (4): 36 – 43.

——. 1993a. Interview by Vicki Daitch, January 21.

——. 1993b. Interview by Lillian Hoddeson and Michael Riordan, July 30.

——. 1993c. John Bardeen: 1908 – 1991. Pp. 3 – 12, Memorial Tribu-

tes, National Academy of Engineering of the United States of America, vol. 6. Washington, D. C. : National Academy Press.

——. 1998a. Interview by Lillian Hoddeson, June 12.

——. 1998b. Interview by Lillian Hoddeson and Vicki Daitch, August 6.

——. 2000. Interview by Vicki Daitch, December 6.

——. 2001. Interview by Vicki Daitch, February 4.

Holton, G. 1973. Thematic Origins of Scientific Thought. Cambridge, Mass. : Harvard University Press.

——. 1978. The Scientific Imagination: Case Studies. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Homans, G. C. , and O. T. Bailey. 1959. The Society of Fellows, Harvard University, 1933 - 1947. Pp. 1 - 37 in The Society of Fellows, C. Brinton, ed. Cambridge, Mass. : The Society of Fellows of Harvard University.

Hone, D. 1993. Interview by Vicki Daitch, March 16.

Howe, M. J. A. 1999. Genius Explained. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Hoxie, R. G. 1990. Eisenhower and "my scientists." National Forum (Fall): 9 - 12.

Huff, H. R. 2001. John Bardeen and Transistor Physics. In Characterization and Metrology for ULSI Technology, A. C. Diebold et al. , eds. College Park, MD: American Institute of Physics.

Hughes, T. P. 1987. American Genesis: A Century of Invention and Technological Enthusiasm, 1870 - 1970. New York: Viking.

Ihde, A. 1990. Chemistry as Viewed from Bascom's Hill: A History of the Chemistry Department at the University of Wisconsin in Madison. Madison: Wisconsin University Press.

Inkson, J. C. , and P. W. Anderson. 1973. Comment on "Model for an exciton mechanism of superconductivity." Physical Review B 8 (9): 4433 - 4434.

Jones, H. , N. F. Mott, and H. W. B. Skinner. 1934. A theory of the

form of the X-ray emission bands and metals. Physical Review 45: 379 - 384.

Josephson, B. D. 1962. Possible new effects in superconductive tunneling. Physics Letters 1 (7): 251.

——. 1966. Relation between the superfluid density and order parameter for superfluid He near T. Physics Letters 21: 608 - 609.

——. 1974. The discovery of tunneling supercurrents. Reviews of Modern Physics 46 (2): 251 - 254.

Kanigal, R. 1991. The Man Who Knew Infinity: A Life of the Genius Ramanujan. New York: Scribner's Sons.

Kaplan, L. 1946. The History of the Naval Ordnance Laboratory, 1918 - 1945, Part 1, Administrative History. Naval Ordnance Laboratory Report 1000. Washington, D. C.: U. S. Navy.

Keegan, John. 2000. His finest hour. U. S. News and World Report (May 29): 50 - 57.

Keller, E. F. 1983. A Feeling for the Organism. San Francisco: Freeman.

Kelly, M. J. 1943. A first record of thoughts concerning an important post-war problem of the Bell Telephone Laboratories and Western Electric Company, May 1, 1943, AT&T.

——. 1950. The Bell Telephone Laboratories—An Example of an Institute of Creative Technology. Proceedings of the Royal Society of London 203a: 287 - 301.

Kevles, B. H. 1997. Naked to the Bone: Medical Imaging in the Twentieth Century. Reading, Mass.: Helix Books, Addison-Wesley.

Kevles, D. J. 1978. The Physicists: The History of a Scientific Community in Modern America. New York: Knopf.

Keyworth, G. 2000. Interview by Lillian Hoddeson, March 12.

Kingery, R. A., R. D. Berg, and E. H. Schillinger. 1967. Men and Ideas in Engineering. Urbana: University of Illinois Press.

Kleppner, P. 1970. The Cross of Culture: Social Analysis of Midwestern Politics, 1850 - 1900. New York: Free Press.

Kragh, H. 1990. Dirac: A Scientific Biography. New York: Cambridge University Press.

Kuhn, T. S. 1959. Energy conservation as an example of simultaneous discoveries. Pp. 321 - 356 in Critical Problems in the History of Science, M. Clagett, ed. Madison: University of Wisconsin Press.

——. 1962 and 1970 (2nd edition). The Structure of Scientific Revolutions. Chicago: University of Chicago Press.

Kulkarni, D., and H. A. Simon. 1988. The processes of scientific discovery: The strategies of experimentation. Cognitive Science 12: 139 - 175.

Lakoff, G., and M. Johnson. 1980. Metaphors We Live By. Chicago: University of Chicago Press.

Landau, L. D. 1957. The Theory of a Fermi Liquid. *Zhurnal Eksperimental' noi i Teoreticheskoi Fiziki* 30 (1956): 1058 - 1064 (trans. Soviet Physics JETP 3 [1957]: 920 - 925).

Langley, P., H. Simon, G. Bradshaw, and J. Zytkow. 1987. Scientific Discovery: Computational Explorations of the Creative Processes. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Lazarus, D. 1987. The Loomis Legacy. Urbana: Department of Physics, University of Illinois, UIUC-P.

——. 1992. Interview by Fernando Irving Elichirigoity, February 24.

——. 1993. Interview by Fernando Irving Elichirigoity, February 11.

Lederman, L., with D. Teresi. 1993. The God Particle: If the Universe Is the Answer, What Is the Question? New York: Houghton Mifflin.

Lee, T. D., F. E. Low, and D. Pines. 1953. The motion of slow electrons in a polar crystal. Physical Review 90: 297 - 302.

Leggett, A. J. 1975. Theoretical description of the new phases of liquid ^{3}He. Reviews of Modern Physics 47: 331 - 414.

——. 1993. Interview by Vicki Daitch and Lillian Hoddeson, November 30.

Leonard, N. 1992. Interview by Vicki Daitch, April 17.

Lewis, S. M. 1991. Xerox Corporation in International Directory of Company Histories Chicago: St. James Press, pp. 171 - 173.

Link, A. 1954. Woodrow Wilson and the Progressive Era, 1910 – 1917. New York: Harper & Bros.

Link, A. S., and R. L. McCormick. 1983. Progressivism. Arlington Heights, Illinois: Harlan Davidson.

Lombroso, C. 1891. The Man of Genius. London: Walter Scott.

London, F. 1935. Macroscopic interpretation of superconductivity. Proceedings of the Royal Society of London A152: 24 – 54.

——. 1950. Superfluids, Vol. 1: Macroscopic theory of Superconductivity. New York: John Wiley.

London, F., and H. London. 1933. Supraleitung und diamagnetismus. Physica 2: 341 – 354.

Luttinger, J. M. 1960. Theory of the Fermi surface. Pp. 2 – 8 in The Fermi Surface, W. A. Harrison and M. B. Webb, eds. New York: John Wiley.

Lyding, J. 2000. Interview by Lillian Hoddeson, October 17.

Mapother, D. 1993. Interview by Vicki Daitch, November 24.

Margenau, H. 1956. Interpretations and misinterpretations of operationalism. In The Validation of Scientific Theories, 3rd ed., P. Frank, ed. Boston: Beacon Press.

Markowitz, J. 1976. The Gulf Oil Corporation—How it all began 75 years ago. Pittsburg Post-Gazette. January 15, p. 4.

Marlowe, D. 1992. Interview by Vicki Daitch, July 26.

Marshall, E. 1985. Keyworth quits White House post. Science (December 13): 1250.

Maxwell, E. 1983. Interview by Gordon Baym, March 4.

Mayhew, K. C., and A. C. Edwards. 1936. The Dewey School: The Laboratory School of the University of Chicago, 1896 – 1903. New York: D. Appleton-Century.

McAfee, J. 1977. From Spindletop to total energy: Gulf and the smaller business community. The Smaller Manufacturer (July/ August): 12.

McCarthy, C. 1912. The Wisconsin Idea. New York: Macmillan.

McCormick, R. L. 1981. The discovery that business corrupts politics: A reappraisal of the origins of progressivism. American Historical Review 86: 247 - 274.

McDonald, D. G. 2000. The Nobel laureate vs. the graduate student: John Bardeen and Brian Josephson debate superconductive tunneling. Unpublished manuscript, UIUC-P.

——. 2001. The Nobel laureate vs. the graduate student: John Bardeen and Brian Josephson debate superconductive tunneling. Physics Today (July): 46 - 51.

McDonald, D. G., and R. Kautz. 1999. Interview by Lillian Hoddeson, March 24.

McKay, K. 1992. Interview by Lillian Hoddeson and Michael Riordan, September 26.

McMillan, J. 1995. Interview by Vicki Daitch, April 14.

Medin, D. L., and B. H. Ross. 1996. Cognitive Psychology. Fort Worth, Texas: Harcourt Brace College Publishers.

Meek, Walter J. 1935. Charles R. Bardeen obituary. Science (December 27): 606 - 607.

Migdal, A. B. 1959. Superfluidity and the moments of inertia of nuclei. Nuclear Physics 13: 655 - 674. (Also, 1959. Zh. Exp. Theor. Fiz. 37: 249.

Miller, A. 1990. The Untouched Key: Tracing Childhood Trauma in Creativity and Destructiveness. Translated by H. Hannum and H. Hannum. New York: Doubleday.

Miller, A. I. 1984. Imagery in Scientific Thought: Creating Twentieth-Century Physics. Boston: Birkhauser.

——. 2000. Insights of Genius: Imagery and Creativity in Science and Art. New York: Springer-Verlag.

——. 2001. Einstein, Picasso: Space, Time, and the Beauty that Causes Havoc. New York: Basic Books.

Miller, J. 1993. Interview by Vicki Daitch, March 8.

Mitchell, B. 1987. Nobel Prize winner Bardeen keynotes symposium. On the Surface 10 (July 10).

Monceau, P., N. D. Ong, and A. M. Portis. 1976. Electric field breakdown of charge-density-wave-induced anomalies in $NbSe_3$. Physical Review Letters 37:(10)(September 6): 602 - 606.

Montgomery, S. L. 1994. Minds for the Making: The Role of Science in American Education, 1750 - 1990. New York: Guilford Press.

Morrison, G. B. 1995. Interview by Vicki Daitch, April 13.

Morse, P. M. 1977. In at the Beginnings: A Physicist's Life. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Mott, N., ed. 1980. The Beginnings of Solid State Physics. London: The Royal Society.

Mott, N., and H. Jones. 1936. The Theory of the Properties of Metals and Alloys. New York: Dover Publications.

Murray, P., ed. 1989. Genius: The History of an Idea. Oxford: Basil Blackwell.

Nakajima, S. 1993. Interview by Vicki Daitch, August 4.

Nambu, Y., and G. Jona-Lasinio. 1961. Dynamical model of elementary particles based on an analogy with superconductivity, I. Physical Review 122: 345 - 358.

Nersessian, N. J. 1984. Faraday to Einstein: Constructing Meaning in Scientific Theories. Dordrecht, the Netherlands: Martinus Nijhoff.

——. 1986. The Process of Science: Contemporary Philosophical Approaches to Understanding Scientific Practice. Dordrecht, the Netherlands: Martinus Nijhoff.

Nesbit, R. C., and W. F. Thompson. 1989. Wisconsin: A History. Madison: University of Wisconsin Press.

Nettleton, L. L. 1940. Geophysical Prospecting for Oil. New York: McGraw-Hill.

Newell, A., and H. Simon. 1972. Human Problem-Solving. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall.

Nickles, T., ed. 1980. Scientific Discovery: Case Studies. Boston Studies in the Philosophy of Science, Vol. 60. Dordrecht, the Netherlands: D. Reidel.

Nier, A. 1993. Interview by Vicki Daitch, October 5.

Nitzsche, J. C. 1975. The Genius Figure in Antiquity and the Middle Ages. New York: Columbia University Press.

Osheroff, D., R. C. Richardson, and D. M. Lee. 1972. Evidence for a new phase of solid ^{3}He. Physical Review Letters 28: 885 - 888.

Osterhoudt, W. 1991. Interview by Vicki Daitch, November 16.

Pais, A. 1982. "Subtle is the Lord .... ": The Science and the Life of Albert Einstein. New York: Oxford University Press.

Pake, G. 1992a. Interview by Fernando Irving Elichirigoity, March 17.

——. 1992b. Consultant to industry, adviser to government. Physics Today (April): 56 - 62.

Pao, H. 1994. Interview by Lillian Hoddeson, January 11.

Patterson, J. 1987. The Dread Disease: Cancer and Modern American Culture. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Pearson, G. 1976. Interview by Lillian Hoddeson, August 23.

Pearson, R., ed. 1992. Shockley on Eugenics and Race: The Application of Science to Human Problems. Washington, D. C.: Scott Townsend.

Peierls, R. E. 1929. *Zur Theorie der galvanomagnetischen Effekte. Zeitschrift fiir Physik* 53: 255 - 266.

——. 1930. *Zur Theorie der elektrischen und thermischen Leit-fähigkeit von Metallen. Annalen der Physik* 4: 121 - 148.

——. 1964. The Quantum Theory of Solids. Oxford: Clarendon Press.

Pell, E. 1992. Interview by Lillian Hoddeson, July 28.

——. 1995. Interview by Vicki Daitch, May 21.

Perkins, D. 1981. The Mind's Best Work. Boston: Harvard University Press.

Peters, L. J. 1949. The direct approach to magnetic interpretation and its practical applications. Geophysics 14 (July): 29 - 32.

Peters, L. J., and J. Bardeen. 1930. The solution of some theoretical problems which arise in electrical methods of geophysical exploration. Bulletin of the University of Wisconsin, Engineering Experiment Station Series No. 71, Monograph, Madison: University of Wisconsin.

——. 1932. Some aspects of electrical prospecting applied in locating oil structures. Physics 2 (3): 103 - 122.

Peters, P. 1972. Bardeen more than just a scientist. Champaign-Urbana Courier. October 22, clipping. BFC.

Peterson, L. 1981. John Bardeen: Quiet brilliance. Champaign-Urbana News Gazette. February 9, clipping. BFC.

Phillips, H. 1972. Superconductivity mechanisms and covalent instabilities. Physical Review Letters 29: 23 (December 4): 1551 - 1554.

Pierce, J. 1992. Interview by Lillian Hoddeson and Michael Riordan, June 29.

Pines, D. 1981. Interview by Lillian Hoddeson, August 13 and 16.

——. 1993. Interview by Lillian Hoddeson and Vicki Daitch, December 3.

Pines, D., and J. R. Schrieffer. 1958. Gauge invariance in the theory of superconductivity. *Nuovo Cimento* 10: 496 - 504.

Pines, D., and C. P. Slichter. 1972. The 1972 Nobel Prize for physics. Science (November 3): clipping, BFC.

Pippard, A. B. 1961. The cat and the cream. Physics Today 14(11): 38 - 41.

Polleti, P. 1972. Professor Bardeen—Research top priority. Illinois Technograph Engineering Magazine (October): 14 - 15.

Portnoy, W. 1993. Interview by Vicki Daitch, February 24.

Rabi, I. I. 1980. Dedication of the Loomis Laboratory of Physics. Urbana: Department of Physics, University of Illinois, February 14, UIUC-P.

Reimann, P., and M. Chi. 1989. Human expertise. Pp. 161 - 191 in Human and Machine Problem Solving, K. Gilhooly, ed. New York: Plenum.

Rhodes, R. 1986. The Making of the Atomic Bomb. New York: Simon and Schuster.

Rigden, J. S. 1987. Rabi: Scientist and Statesman. New York: Basic Books.

Riordan, M., and L. Hoddeson. 1997a. Crystal Fire: The Birth of the Information Age. New York: W. W. Norton.

——. 1997b. The origins of the p-n junction. IEEE Spectrum 34 (6): 46 - 51.

Riordan, R., L. Hoddeson, and C. Herring. 1999. The invention of the transistor. Reviews of Modern Physics 71: S336 - S345.

Riordan, R., L. Hoddeson, A. Kolb, R. Jacobs, and G. Sandiford. Forthcoming. Tunnel Visions: The Rise and Fall of the Superconducting Supercollider.

Robertson, J. K. 1974. St. Andrews: Home of Golf. Fife, Scotland: Citizen Office.

Rodgers, D. T. 1982. In search of progressivism. Reviews in American History 10: 113 - 132.

Rowell, J. M. 1963. Magnetic field dependence of the Josephson tunnel current. Physical Review Letters 11 (5): 200 - 201.

Rowland, B., and W. B. Boyd. 1953. U. S. Navy Bureau of Ordnance in World War II. Washington, D. C.: Government Printing Office.

Runco, M. A., and R. S. Albert, eds. 1990. Theories of Creativity. Newberry Park, Calif.: Sage Publications.

Russell, G. 1995. Interview by Vicki Daitch, April 17.

Sah, C. T. 1993. Interview by Vicki Daitch, April 1.

Salamon, M. 2000. Interview by Lillian Hoddeson, October 6.

Salamon, M., and J. Bardeen. 1987. Comment on Bulk Superconductivity at 91K° in Single-Phase Oxygen-Deficient Perovskite $Ba_2YCu_3O_{9-\Delta}$. Physical Review Letters 59 (22) (November 30): 2615 - 2616.

Sapolsky, H. 1990. Science and the Navy: The History of the Office of Naval Research. Princeton, N. J.: Princeton University Press.

Sayen, J. 1985. Einstein in America: The Scientist's Conscience in the Age of Hitler and Hiroshima. New York: Crown Press.

Schaffer, S. 1990. Genius in Romantic natural philosophy. Pp. 82 - 98 in Romanticism and the Sciences, A. Cunningham and N. Jardine, eds. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Schapiro, S. 1963. Josephson currents in superconducting tunneling: The effect of microwaves and other observations. Physical Review Letters 11 (2): 80 - 82.

Schmidt, R. 1995. Interview by Vicki Daitch, April 24.

Schrieffer, R. 1974. Interview by Joan Warnow and Robert Williams, September 26, AIP.

——. 1992a. Interview by Vicki Daitch, March 16.

——. 1992b. John Bardeen and the theory of superconductivity. Physics Today 45 (4) (April): 46 - 53.

Schweber, S. 1986. The empiricist temper regnant: Theoretical physics in the United States, 1920 - 1950. Historical Studies in the Physical and Biological Sciences 17 (1): 55 - 98.

——. 1994. QED and the Men Who Made It: Dyson, Feynman, Schwinger, and Tomonaga. Princeton, N. J.: Princeton University Press.

Seaborg, G. T. 1995. Interview by Kristine Fowler, May 2.

——. n. d. National service with ten presidents of the United States. Lawrence Berkeley Laboratory Report LBL - 704. Berkeley, Calif.: Lawrence Berkeley Laboratory Technical Information Department.

Seitz, F. 1940. The Modern Theory of Solids. New York: McGraw-Hill.

——. 1980. Biographical notes. Pp. 84 - 99 in The Beginnings of Solid State Physics, N. Mott, ed. London: The Royal Society.

——. 1981a. Interview by Lillian Hoddeson, January 26.

——. 1981b. Interview by Lillian Hoddeson, March 3.

——. 1991. Interview by Lillian Hoddeson, December 28.

——. 1991. Francis Wheeler Loomis. National Academy of Sciences: Biographical Memoirs 60: 119.

——. 1992. Interview by Vicki Daitch, March 16.

——. 1992a. The Princeton years and beyond—1930 - 45. Talk at 1992

March meeting of the American Physical Society, Indianapolis. Also published in Nuovo Cimento della Society Italiana D-Condensed Matter, Atomic Molecular & Chemical Physics Fluids, Plasma, Biophysics, 15D, ser 1 (2-3)(Feb. - March 1993): 131-138.

——. 1992b. Interview by Lillian Hoddeson and Michael Riordan, September 26.

——. 1993. Interview by Lillian Hoddeson, Vicki Daitch, and Irving Elichirigoity, April 22.

——. 1994. On the Frontier: My Life in Science. New York: AIP Press.

——. 1997. Interview by Gino Del Guercio, c. September. UIUC-P.

——. 1998. Interview by Vicki Daitch and Lillian Hoddeson, March 24.

——. 1999. Letter to Lillian Hoddeson, November 11. UIUC-P.

——. 2000. Interview by Lillian Hoddeson, September 17.

——. 2001. Interview by Lillian Hoddeson, April 10.

Seitz, F., and N. Einspruch. 1998. Electronic Genie: The Tangled History of Silicon. Urbana: University of Illinois Press.

Shapiro, S. 1963. Josephson currents in superconducting tunnelling: The effect of microwaves and other observations. Physical Review Letters 11 (2): 80-82.

Shockley, E. 1994. Interview by Lillian Hoddeson and Michael Riordan, January 13.

Shockley, W. 1939. On the surface states associated with a periodic potential. Physical Review 56: 317-323.

——. 1950. Electrons and Holes in Semiconductors, with Applications to Transistor Electronics. New York: Van Nostrand.

——. 1974. Interview by Lillian Hoddeson, September 10.

——. 1976. The path to the conception of the junction transistor. IEEE Transactions on Electronic Devices ED-23, 7: 597-620.

Shoenberg, D. 1938, 1952. Superconductivity. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Shortley, G. H. 1935. The Theory of Atomic Spectra. Cambridge, Eng-

land: Cambridge University Press.

Simmons, R. 1993. Interview by Lillian Hoddeson and Vicki Daitch, December 6.

Simon, H. A. 1978. Information-processing theory of human problem solving. Pp. 271 – 295 in Handbook of Learning and Cognitive Process, Vol. 5, W. K. Estes, ed. Hillsdale, N. J.: Erlbaum.

Simon, R. 1973. John Bardeen invented the transistor and fathered the theory of superconductivity but he's still not a household word. Chicago Sun Times Midwest Magazine. March 18, clipping, BFC.

Simonton, D. 1988. Scientific Genius: A Psychology of Science. Cambridge, England: Cambridge University Press.

——. 1990. Psychology, Science, and History: A Treatise on Their Convergence. New Haven, Conn.: Yale University Press.

——. 1999. Origins of Genius: Darwinian Perspectives on Creativity. New York: Oxford University Press.

Slater, J. C. 1975. Solid-State and Molecular Theory: A Scientific Biography. New York: John Wiley & Sons.

Slichter, C. 1992. Interview by Fernando Irving Elichirigoity, February 26.

——. 1995a. Interview by Vicki Daitch and Kristine Fowler, April 18.

——. 1995b. Interview by Vicki Daitch and Kristine Fowler, May 2.

——. 1995c. Interview by Vicki Daitch, May 10.

Slossum, E. E. 1920. Creative Chemistry: Description of Recent Achievements in the Chemical Industries. New York: Century.

Smaldane, J. P. 1977. History of the White Oak Laboratory, 1945 – 1975. Silver Spring, Md.: Naval Surface Weapons Center, White Oak.

Smith, B. L. R. 1990. American Science Policy Since World War II. Washington, D. C.: The Brookings Institution.

Smith, C. S. 1965. The prehistory of solid-state physics. Physics Today 18 (12): 18 – 30.

Smith, D. K., and R. C. Alexander. 1988. Fumbling the Future: How

Xerox Invented, Then Ignored, the First Personal Computer. New York: William Morrow.

Sommerfeld, A., and H. Bethe. 1933. *Elektronentheorie der Metalle*, Pp. 333 - 622 in *Handbuch der Physik*, Ser. 2, Vol. 24, H. Geiger and K. Sheel, eds. Berlin: Springer.

Sopka, K. R. 1988. Quantum Physics in America: The Years Through 1935. New York: Tomash.

Sparks, M. 1993. Interview by Lillian Hoddeson and Michael Riordan, June 17.

Sparks, M., and B. Sparks. 1992. Interview by Lillian Hoddeson, August 11.

Sternberg, R., ed. 1988. The Nature of Creativity: Contemporary Psychological Perspectives. Cambridge, England: Cambridge University Press.

——. 1999. Handbook of Creativity. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Sternberg, R. J., and J. Davidson, eds. 1995. The Nature of Insight. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Sternberg, R. J., and N. K. Dess. 2001. Creativity for the New Millennium. American Psychologist 56(4): 332 - 363.

Stevens, A. 1941. Washington: Blight on democracy. Harper's (December): 51 - 52.

Stone, M. 1992. Interview by Vicki Daitch, February 19.

Sugarbaker, D. 2001. Interview by Vicki Daitch, April 6.

Sullivan, W. E. 1936. Charles Russell Bardeen, 1871 - 1935, in memoriam. The Anatomical Record 65(2). From an address given at the Fifty-second Session of the American Association of Anatomists, Duke University, Durham, North Carolina, April 9 - 11.

Sulloway, F. J. 1983. Freud: Biologist of the Mind. New York: Basic Books.

——. 1996. Born to Rebel: Birth Order, Family Dynamics, and Creative Lives. New York: Pantheon Books.

Suzuki, S. 1970. Zen Mind, Beginner's Mind. New York: Weatherhill.

Szanton, A. 1992. The Recollections of Eugene P. Wigner, as Told to Andrew Szanton. New York: Plenum Press.

Tamm, I. 1932. *Uber eine mögliche Art der Elektronenbindung an Kristalloberflächern. Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion* 1: 733 – 746.

Teal, G., and L. Teal. 1993. Interview by Lillian Hoddeson and Michael Riordan, June 19.

Tennyson, A. 1987. Ulysses. Pp. 11 – 12 in The New Oxford Book of Victorian Verse, C. Ricks, ed. Oxford: Oxford University Press.

Thelen, D. P. 1969. Social tensions and the origins of progressivism. Journal of American History 56: 323 – 341.

Thompson, C. 1951. Since Spindletop: A Human Story of Gulf's First Half-Century. Pittsburgh: Gulf Oil.

Thorne, R. E. 1996. Charge density wave conductors. Physics Today (May): 42 – 47.

Thwaites, R. 1899. The Story of Wisconsin. London: Lothrop.

Tinkham, M. 1993. Interview by Vicki Daitch, August 4.

Torrey, H. 1983. Interview by Lillian Hoddeson, January 19.

Torrey, H. C., and C. A. Whitmer. 1948. Crystal Rectifiers. New York: McGraw-Hill.

Trick, T. 1991. Interview by Fernando Irving Elichirigoity and Vicki Daitch, September 24.

Tsuneto, T. 1993. Interview by Vicki Daitch, August 5 and 6.

——. 1994. Interview by Gordon Baym, July 2.

Tucker, J. 1995. Interview by Lillian Hoddeson and Joseph Tillman, November 14.

Tucker, J. R., J. H. Miller, K. Seeger, and J. Bardeen. 1982. Tunneling theory of ac-induced dc conductivity for charge-density waves in NbSe. Physical Review B 25 (4) (February 15): 25.

Tweney, R. D. 1985. Faraday's discovery of induction: A cognitive approach. In Faraday Rediscovered: Essays on the Life and Work of Mi-

chael Faraday: 1791 - 1867, D. Gooding and F. James, eds. New York: Stockton Press.

Tweney, R. D., M. E. Doherty, and C. R. Mynatt, eds. 1981. On Scientific Thinking. New York: Columbia University Press.

Van Vleck, J. H. 1926. Quantum Principles and Line Spectra. Bulletin No. 54. Washington, D. C.: National Research Council.

——. 1932. The Theory of Electric and Magnetic Susceptibilities. Oxford: Clarendon Press.

——. 1964. American physics comes of age. Physics Today (June): 21 - 26.

Vinen, J. 1993. Interview by Vicki Daitch, August 5.

Waley, A., trans. 1989. The Analects of Confucius. New York: Vintage Books.

Walter, M. L. 1990. Science and Cultural Crisis: An Intellectual Biography of Percy Williams Bridgman (1882 - 1961). Stanford, Calif.: Stanford University Press.

Ward, T. B., S. M. Smith, and R. A. Finke. 1999. Creative cognition. Pp. 189 - 212 in Handbook of Creativity, R. Sternberg, ed. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Warne, L. 1991. Vignettes from a Century of Service to the University, the State and the Nation, 1890 - 1990. Urbana-Champaign: University of Illinois, Department of Physics.

Weinberg, G. 1994. A World at Arms: A Global History of World War II. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Weiner, C. 1968. A new site for the seminar: The refugees and American physics in the thirties. Perspectives in American History 2: 190 - 234.

Weinstein, J. 1968. The Corporate Ideal in the Liberal State, 1900 - 1918. Boston: Beacon Press.

Weisberg, R. W. 1986. Creativity: Genius and Other Myths. New York: W. H. Freeman.

——. 1993. Creativity: Beyond the Myth of Genius. New York: W. H.

Freeman.

——. 1999. Creativity and knowledge: A challenge to theories. Pp. 226 - 250 in Handbook of Creativity, R. Sternberg, ed. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Weisberger, B. 1994. The LaFollettes of Wisconsin. Madison: University of Wisconsin Press.

Weisskopf, V. 1951. Nuclear models. Science 113 (January 26): 101 - 102.

Werstler, B., and E. Werstler. 1992. Interview by Vicki Daitch, February 18.

Wiebe, R. 1967. The Search for Order. New York: Hill and Wang.

Wigner, E. 1963. Interview by Thomas Kuhn, November 21 and December 3, AIP.

——. 1981. Interview by Lillian Hoddeson with Gordon Baym and Frederick Seitz, January 24.

——. 1984. Interview by William Aspray, April 12, IEEE.

Wigner, E., and F. Seitz. 1933. On the constitution of metallic sodium. I. Physical Review 43: 804 - 810.

Wigner, E., and J. Bardeen. 1935. Theory of the work function of monovalent metals. Physical Review 48 (July 1): 84 - 88.

Wigner, E., and F. Seitz. 1934. On the constitution of metallic sodium. II. Physical Review 46: 509 - 524.

Wilson, A. 1936. The Theory of Metals. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Wilson, A. H. 1931. The theory of electronic semi-conductors. Proceedings of the Royal Society of London A133: 458 - 491; The theory of electronic semi-conductors—II, A134: 277 - 287.

Woodward, A. 1979. A Biographical Sketch of Alexander Francis Harmer. Pamphlet, BFC.

Wooldridge, D. 1976. Interview by Lillian Hoddeson, August 21.

Woolf, H. 1980. Albert Einstein: Encounter with America. Pp. 28 - 37 in Some Strangeness in the Proportion: A Centennial Symposium to Cele-

brate the Achievements of Albert Einstein, H. Woolf, ed. Reading, Mass.: Addison-Wesley.

Young, P. 1972. Supercold superprize. National Observer (December 9). Clipping, BFC.

Zachary, G. P. 1997. Endless Frontier: Engineer of the American Century. New York: Free Press.

Zawadowsky, F. 1998. Interview by Lillian Hoddeson, April 2.

Zuckerman, H. 1977. Scientific Elite: Nobel Laureates in the United States. New York: Free Press.

——. 1983. The scientific elite: Nobel laureates' mutual influences. Pp. 157 – 171 in Genius and Eminence: The Social Psychology of Creativity and Exceptional Achievement. International Series in Experimental Social Psychology, R. S. Albert, ed. Oxford: Pergamon Press.

注　释

第一章　关于天才

1. For example, *Time* magazine, December 31, 1999, 57.
2. Seitz (1994), 67.
3. Lazarus (1992).
4. Riordan and Hoddeson (1997a), 201.
5. Hoddeson, et al. (1992), ch. 8.
6. Marie Curie's two Nobel Prizes had been in different fields—physics in 1903 and chemistry in 1911. Linus C. Pauling, whose first Nobel Prize was for chemistry in 1954, received his second in 1962 for contributions to world peace. In 1980, Frederick Sanger became the second person to receive two Nobel Prizes in the same field when he won his second prize in chemistry.
7. Chang (1988).
8. Film director David Frankel raised the same question about Bardeen on reading his obituary in 1991. When he shared the question with friends at *The New York Times Magazine*, they responded by including Bardeen in their New Year's feature in 1995, "Lives Well Lived," *The New York Times Magazine*, January 1, 1995, Section 6. Bardeen, however, remains largely unkown.
9. Ghiselin (1952); Lombroso (1891); Murray (1989); Nitzsche (1975).
10. Schaffer (1990).
11. Bone (1989); Galton (1869, 1874); Weisberg (1993).

12. For scientists and mathematicians see Gleick (1992); Kanigel (1991).
13. Gleick (1992), 313 - 29, quotes on 329.
14. Feynman (1985).
15. Pais (1982).
16. Herring (1992b), 30.
17. Hess (1991); Holonyak (1993c).
18. Philip Foy, in del Guercio (1998).
19. Holonyak (1993a).
20. Anspacher (1992).
21. Bray (1993a).

第二章 根

1. The incident is described in A. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d., c. 1918, UWA.
2. A. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d.; C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, May 5, 1919, UWA.
3. A. H. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d., UWA.
4. W. Bardeen (1993), i - iv.
5. The following works represent only a small sampling of the diverse interpretations of the period known as the Progessive Era: Filene (1970); Hofstadter (1955); Link and McCormick (1983); McCormick (1981); Wiebe (1967).
6. McCarthy (1912), 28 - 32.
7. Some of the earlier sources are Curti and Carstensen (1949); McCarthy (1912); and Thwaites (1899). We are grateful to Joseph Tillman for helping us to establish these connections in John Bardeen's heritage. For a more recent history of Wisconsin, see Nesbit and Thompson (1989).
8. Curti and Carstensen (1949), 1: 288, 2: 18 - 19, 311 - 312; Nesbit and Thompson (1989), 427; Weisberger (1994), 10, 12.
9. Curti and Carstensen (1949), 2: 5 - 9.

10. Nesbit and Thompson (1989), 426.
11. "Resolution of the Faculty of the University of Wisconsin on the Death of Dean Bardeen," undated document in UWA.
12. W. Bardeen to L. Hoddeson, February 1, 2002; C. W. Bardeen (1910), BFC.
13. W. Bardeen (1993), 208; Syracuse, N. Y., Wednesday Evening, August 20, 1924, "C. W. Bardeen, Publisher and Educator Dies,": unattributed newpaper clipping in BFC.
14. C. W. Bardeen to C. R. Bardeen, February 8, 1916, C. R. Bardeen Papers, UWA.
15. C. R. Bardeen, "A Journey for Speech, The dairy [*sic*] of one of a party of seven, the five children of which went to Leipsic, Germany to learn German, French, etc.," 1888, UWA.
16. Quoted in Clark (1967), 41. Original in C. R. Bardeen Papers, UWA.
17. Bradley (1992), 2.
18. Clark (1967), 4, 41 - 42.
19. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, February 9, 1900, BFC.
20. Sullivan (1936).
21. Falk (1992), 22.
22. Clark (1967), 4.
23. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, January 11, 1920, UWA.
24. Alexander Harmer appears likely to have been Althea's uncle, but we have not been able to verify the exact relationship.
25. Montgomery (1994), 137 - 144.
26. Mayhew and Edwards (1936), vii.
27. Ibid., v - vi.
28. Ibid., xv - xvi.
29. For a modern account of "intrinsic" motivation, see Amabile (1996).
30. Montgomery (1994), 137 - 144. We find almost the same idea in John Bardeen's later writings on industrial research and science education.
31. Mayhew and Edwards (1936), 435 - 436.

32. Report by Althea Harmor in Mayhew and Edwards (1936), 335.
33. Ibid.
34. C. W. Bardeen to C. R. Bardeen, June 22, 1905, UWA.
35. W. Bardeen (1995).
36. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, June 14. 1905.
37. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, June 22, 1905, UWA.
38. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, June 1, 1905, UWA.
39. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, June 27, 1905, UWA.
40. "Appreciate Jap Art Exhibit; Many People View Rare Collection" and "Lectures on Japanese Art," two unattributed newspaper clippings in BFC.
41. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, June 14, 1905, UWA.
42. "Obituary: Charles R. Bardeen, 1871 - 1935," in *Science* 82 (December 27, 1935), 606.
43. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, January 12, no year, UWA.
44. "Bardeen Warns of Money-Hungry Doctors; 300 at Honor Banquet," *Capital Times*, June 21, 1932; "25 Years of Service," the *Wisconsin State Journal*, June 21, 1932.
45. Clark (1967), 45.
46. Harland Mossman to Paul Clark, July 29, 1964, cited in Clark (1967), 47 - 48.
47. A. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d., UWA.
48. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, February 12, 1906, UWA.
49. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, April 19, 1905, UWA.
50. A. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d., UWA.
51. "I believe in a single Christian name and in having that name distinctive." C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, May 31, 1906, UWA.
52. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, April 20, 1906; July 6, 1906, UWA.
53. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, June 26, 1906, UWA.
54. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, March 20, 1907, UWA.
55. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, July 28, 1908, UWA. John

Bardeen's birth weight is noted in Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, February 28, 1939, BFC.

56. A. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d., UWA.
57. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, February 16, 1910, UWA.
58. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, June 23, 1910, UWA.
59. A. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d., UWA; Henschel (1992).
60. A. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d., UWA.
61. A. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d., UWA.
62. A. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d., UWA.
63. Henschel (1995).
64. Clark (1967), 43 - 44.
65. A. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d., UWA.
66. Young (1972), clip in UIUC-P. For example, he misspelled the word "existence" in a card to Nick Holonyak in 1956 describing the experience of his first Nobel Prize. John Bardeen to Nick Holonyak, December 13, 1956, UIUC-A.
67. C. R Bardeen to C. W. Bardeen, February 12, 1913, UWA.
68. A. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d., UWA.
69. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, July 14, 1919, UWA. In the same letter Charles writes, "since John took the scholarship I have become John's father."
70. A. H. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d., UWA.
71. John Bardeen (1977b).
72. Jane Bardeen (1991b).
73. Rosemary Royce Bingham to John Bardeen, February 1, 1973, UIUC-A.
74. Henschel (1995).
75. A. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d., UWA.
76. Slossum (1920).
77. C. R. Bardeen to National Stain and Reagent Co., Norwood, Ohio, December 27, 1921, UWA.
78. John Bardeen (1977a).

79. R. Bingham to J. Bardeen, February 1, 1973; C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, July 6, 1922, UWA.
80. John Bardeen (1977b).
81. John Hames to Vicki Daitch, October 15, 1991; Hames (1992).
82. Newspaper article, Jim Clark, "Wisconsin High's Thorough Courses' Made it Model School," n. d., Wisconsin Historical Society, misc. Steinbock archives, Box 94/14, 1 of 1.
83. According to remaining records, John attended the summer session at least once. Permanent record cards of the Wisconsin High School of the University of Wisconsin Archives; Madison Central High School permanent record card, Admission Records, UWA.
84. A. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d., UWA.
85. C. W. Bardeen (1910).
86. Ibid., 19.
87. C. W. Bardeen (1910), BFC.
88. John Bardeen to Lynn Lester, Christmas 1975. Special thanks to Lynn Lester Maynard for a copy of the letter from her private collection.
89. W. Bardeen private communication to Hoddeson, August 15, 2001.
90. A. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d., UWA.
91. A. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d., UWA.
92. C. R. Bardeen to Marie E. Demetre, chair, the Fatherless Children of France, New York City, January 14, 1918, C. R. Bardeen Papers, UWA.
93. A. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d., UWA.
94. A. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d., UWA.
95. A. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d., UWA.
96. A. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d., UWA.
97. Ibid.
98. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, February 8, 1915, UWA.
99. Osterhoudt (1991).
100. A. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d., UWA.

101. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, August 28, 1910, UWA.
102. William Bardeen interview, August 1, 1964, by Paul Clark, cited in Clark (1967), 44; Henschel (1992).
103. A. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d., UWA.
104. See, for example, a letter from C. W. to Charles R. Bardeen, in which he says, "The spirit of outdoors is in the air and I should like to be getting about the links again." May 11, 1916, UWA.
105. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, March 3, 1918, UWA.
106. C. R. Bardeen's publications on X Rays include "Abnormal Development of Toad Ova Fertilized by Spermatozoa Exposed to the Roentgen Rays," *Journal of Experimental Zoology* 4, no. 1 (1907); "Variations in Susceptibility of Amphibian Ova to the X rays at Different Stages of Development," *Anatomical Record* 3, no. 163 (1909); "Determination of the Size of the Heart by Means of the X ray," *American Journal of Anatomy* 23 (1918); and "The Value of the Roentgen Ray and the Living Model in Teaching and Research in Human Anatomy," *Anatomical Record* 14, no. 337 (1918).
107. Patterson (1987), 64.
108. C. R. Bardeen to J. C. Bloodgood, January 12, 1920; J. C. Bloodgood, Baltimore to C. R. Bardeen, January 25, 1920, UWA. Dr. Joseph C. Bloodgood was considered one of the nation's premier experts on cancer at the time. Patterson (1987).
109. Kevles (1997), 33 - 53, 80.
110. Patterson (1987), 64, 72.
111. Crosby (1977) and (1976). Crosby describes the early 1919 wave of influenza to which the Bardeens were exposed as somewhat less virulent than the two 1918 waves, but nasty all the same.
112. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, March 4, 1919, C. R. Bardeen Papers, UWA.
113. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, July 14, 1919, UWA.
114. Mary Morris to C. R. Bardeen, summer 1919, UWA.

115. Dr. William A. Thomas to C. R. Bardeen, March 27, 1920; C. R. Bardeen to W. A. Busey, April 14, 1920; C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, April 9, 1920, C. R. Bardeen Papers, UWA.
116. Dr. J. L. Yates to C. R. Bardeen, April 12, 1920, UWA.
117. C. R. Bardeen to J. L. Yates, August 28, 1919, C. R. Bardeen Papers, UWA.
118. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, April 9, 1920, UWA.
119. John Bardeen (1977a).
120. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, April 9, 1920 and May 12, 1920, C. R. Bardeen Papers, UWA.
121. John Bardeen (1977a).
122. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, May 12, 1920, UWA.
123. "Althea Harmer Bardeen," *Madison Democrat*, April 21, 1920.
124. In addition to his university work, he often picked up odd voluntary assignments, such as stocking the library of the new University Club. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, March 4, 1919, UWA.
125. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, May 12, 1920, C. R. Bardeen Papers, UWA.
126. John Bardeen (1977a).

第三章　成为一名工程师

1. C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, August 25, 1920.
2. Ruth Hames Bardeen McCauley continued to enjoy warm relations with the Bardeen children until her death in September 1979.
3. Jane Bardeen (1993); W. Bardeen (1993), 266.
4. Bradley (1992), 2; Henschel (1992).
5. A. Bardeen to C. W. Bardeen, c. 1919; Laura B. Johnson to C. R. Bardeen, May 16, 1921, UWA.
6. Permanent record cards of the Wisconsin High School of the University of Wisconsin Archives; Madison Central High School permanent record card, Admission Records, UWA.

7. C. W. Bardeen to C. R. Bardeen, March 4, 1919, UWA.
8. Untitled newspaper article in UIUC-P; also John Bardeen interview by Maynard Brichford, February 8, 1965, UIUC-A.
9. John Bardeen (1977a). Hart brought *Mathematics in Daily Use* (Hart, et al., 1945) through several editions.
10. Walter W. Hart to John Bardeen, April 7, 1962, UIUC-A.
11. John Bardeen to Walter W. Hart, April 4, 1962, UIUC-A.
12. Henschel (1995).
13. *Wisconsin Badger* 1927, 312.
14. Security Investigation Data For Sensitive Position, FBI security clearance, 1981, UIUC-A; Betsy Bardeen Greytak, Bardeen family interview (1992).
15. Burtis (1995).
16. John Bardeen (1977b).
17. Scott H. Goodnight, dean of Men at the University of Wisconsin, to C. S. Marsh, assistant dean at Northwestern University, March 12, 1923.
18. Transcript in Bardeen graduate student file, PRIN.
19. John's undergraduate grade point average (GPA) during his fraternity years appears to have ranged from a low of 0.944 to a high of 2.25, on a scale of A = 3.000, B = 2.000, C = 1.000, D = 0.000, and F = −1.000. Zeta Psi fraternity papers, Wisconsin Library Archives, Madison, WI.
20. Osterhoudt (1991).
21. Osterhoudt (1991).
22. Ibid. Bardeen admits to a disorderly conduct arrest in summer 1928 on a personnel security questionnaire of the U. S. Department of Energy filled out in 1982. Bardeen Personnel File, USOPM.
23. Betsy Bardeen in Bardeen family interview (1992); Henschel (1992).
24. John Bardeen (1965b).
25. Answers to Harvard University Junior Fellowship Questionnaire, October

16, 1967, UIUC-A.

26. John Bardeen (1977a); John Bardeen to Dr. Raymond Damadian, Fonar Corporation, Melville, N. Y., December 5, 1990, UIUC-A.
27. John Bardeen (1984b); "Weaver in Wonderland, "*Wisconsin Alumnus*, October 1959, 12, 35. In 1954, Weaver became president of the American Association for the Advancement of Science.
28. Bardeen's course notes for Weaver's course, "Electrodynamics," p. 1, BFC.
29. Leroy A. Howland to Professor Evans, April 1, 1948, Edward Burr Van Vleck file, UWA.
30. "Memorial Resolution on the Death of Professor E. B. Van Vleck," excerpt from University faculty meeting, October 4, 1943, E. B. Van Vleck file, UWA; Bleaney (1982), 655; Charles Slichter's comments at John Van Vleck's memorial service.
31. John Bardeen (1980c), 77.
32. Bleaney (1982); Van Vleck (1932).
33. John Bardeen (1980c); also Bardeen's official college transcript, UWA.
34. Van Vleck (1926).
35. John Bardeen (1977a); (1984b).
36. unattributed newspaper clipping, no title, UIUC-P.
37. John Bardeen (1977a, 1984b). Debye's physics background resembled Bardeen's in that he took his undergraduate degree in electrical engineering. Davies (1970).
38. Dirac (1930).
39. John Bardeen (1980c). Bardeen's official transcript, Office of the Registrar, University of Wisconsin, Madison. In 1937, Dirac married the sister of Eugene Wigner, Bardeen's Ph. D. thesis advisor. "Paul Adrien Maurice Dirac," *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* (London: The Royal Society, 1986); Kragh (1990).
40. John Bardeen (1980c).
41. John Bardeen (1977a).

42. Ibid.
43. Ibid.
44. John Bardeen transcript, Office of the Registrar, University of Wisconsin, Madison. Faculty Employment Cards, UWA.
45. Osterhoudt (1991).
46. Nettleton (1940), 2; Peters and Bardeen (1932).
47. Thompson (1951), 80.
48. Peters and Bardeen (1930), 5.
49. John Bardeen (1977a).
50. L. J. Peters, quoted in E. Bennett to Dean C. S. Slichter, December 11, 1928, UWA.
51. Weaver, chair of Mathematics Department, to Trinity College, January 11, 1929, UWA.
52. John Van Vleck to R. H. Fowler, March 18, 1929, Bardeen files, UIUC-P.
53. Ibid.
54. Edward Bennett, "Electric Circuit Equations: Their Derivation and Application," undated course notes, p. 1, BFC.
55. Edward Bennett, chair of Electrical Engineering Department, to Dean C. S. Slichter, December 11, 1928, UWA.
56. John Bardeen (1984b); John Bardeen transcript, Office of the Registrar; Course Catalog, 1929 – 1930, UWA.
57. John Bardeen (1977a).
58. Ibid.
59. James Affleck, editorial, *Carnegie Mellon Magazine* (Winter 1990). The author of this editorial also wrote, "At the early age of 22 he [Bardeen] had completed most requirements for a Ph. D. at the University of Wisconsin, but, dissatisfied with his dissertation, quit."
60. Description of dormitories provided by University Libraries, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA.
61. Pittsburgh City Directory, 1930, 1931, 1932.

62. Markowitz (1976), 4.
63. Ibid.
64. Thompson (1951), 81; also McAfee (1977), 12; "Introduction," *1900 – 1976 : A Special Issue of the Orange Disc* 22:5, 3 – 4, 7.
65. Ibid., 91.
66. John Bardeen (1977a, 1977b).
67. John Bardeen (1977b).
68. Peters and Bardeen (1932), 122.
69. Thomas A. Elkins, "A Brief History of Gulf's Geophysical Prospecting," Gulf Research and Development Corporation Archives, UIUC-A; Peters (1949).
70. Osterhoudt (1991).
71. Ibid.
72. John Bardeen (1977b).
73. John Bardeen (1977b).
74. John Bardeen (1977a, 1977b, 1984b).
75. John Bardeen (1977a).
76. John Bardeen (1965a).
77. C. R. Bardeen to Abraham Flexner, Princeton Institute, New York, N. Y., December 22, 1932, PRIN.
78. John Bardeen (1984b).
79. John Van Vleck, University of Wisconsin, Madison, to dean of the graduate school, Princeton University, February 8, 1933, PRIN.
80. Warren Weaver, Rockefeller Foundation, New York, N. Y., to Robert K. Root, chair, Graduate School Committee, Princeton University, February 16, 1933, PRIN.
81. John Bardeen (1977b).
82. John Bardeen (1984b).
83. Bardeen (1977a).
84. W. Bardeen (1993), 208.
85. Seitz (1998); C. R. Bardeen to C. W. Bardeen, May 5, 1919, C.

R. Bardeen Papers, UWA; Employment chronology, July 28, 1941, Bardeen personnel file, USOPM.

86. Harvard Fellows tape.
87. Thompson (1951), 91; "This is Gulf Research," public relations documents, Library and Archives Division, Historical Society of Western Pennsylvania, Pittsburgh, PA.
88. Osterhoudt (1991).
89. Ibid.
90. Fleming and Bailyn (1969). See especially Weiner (1968).
91. Jane Bardeen (1991b).
92. Jane Bardeen (1991a).
93. Despite debilitating arthritis, her mother lived to celebrate her fiftieth wedding anniversary and beyond. "Local Couple Well Known," the *Washington (Pennsylvania) Reporter*, June 11, 1956; "Dr. R. I. Maxwell Has Practiced Here 56 Years," the *Washington (Pennsylvania) Reporter*, August 15, 1958.
94. Jane Maxwell to Mrs. J. R. Maxwell, May 1, 1927, BFC.
95. Jane Bardeen (1991a, 1991b).
96. Jane Bardeen (1993).
97. Jane Bardeen (1991a).

第四章　研究生的天堂

1. Seitz (1999).
2. Morse (1977), 56 - 57.
3. Seitz (1999).
4. Ibid.
5. Seitz (1998).
6. Seitz(1992b).
7. Seitz (1999).
8. Ibid.
9. Ibid.

10. Seitz (1981a, 1982b).
11. Seitz (1999); Morse(1977), 57.
12. To attract the best scholars, Flexner set the Institute's salary more than three times the median of a full professor's salary. The early days of the Institute are described in Sopka (1988), 229 - 234. See also Sayen (1985), 58 - 61; Woolf(1980), 32 - 33; and Flexner (1960), 252.
13. Sayen (1980), 81 - 82; Sopka (1988), 229 - 234; Woolf(1980).
14. Sayen (1980), 61 - 64.
15. Einstein, quoted in Gleick (1992), 97.
16. Szanton (1992), 133 - 134.
17. R. Brattain (1993). Bardeen later won a bowling award while working during the Second World War at the Naval Ordnance Laboratory. Years later Charles Jakowatz told Nick Holonyak about bowling with Bardeen and how "tough" he was. Holonyak to L. Hoddeson, January 31, 2001.
18. R. Brattain (1993).
19. R. Brattain (1993).
20. W. Brattain (1964); Hoddeson (1981b).
21. W. Brattain (1964).
22. J. C. Phillips to John Bardeen, April 19, 1988, UIUC-A.
23. John Bardeen (1994).
24. Riordan and Hoddeson (1997a); also Bardeen (1977a).
25. John Bardeen (1977b).
26. Hoddeson et al. (1992), 186, Herring and Herring (2000).
27. Seitz (2000).
28. Seitz (1992a); Wigner (1963).
29. Seitz (1981a).
30. John Bardeen to S. I. Goldberg, Department of Mathematics and Statistics, Queen's University, Kingston, Canada, April 24, 1981, UIUC-A.
31. This "coming-of-age" of American physics was the result of ample institutional and financial support, as well as the attraction of many bright young Americans to the field of physics. Hoch (1983); Sopka

(1988), xii - xii, xix; VanVleck (1964); Weiner (1968).

32. Seitz (2001).
33. Szanton (1992), 150 - 153.
34. John Bardeen (1984a), 9.
35. John Bardeen (1977b); Bardeen transcript, Graduate Student files, 1936, Box 62, PRIN.
36. Seitz (2001).
37. John Bardeen (1984b).
38. Herring and Herring (2000).
39. John Bardeen (1977b); Seitz (1992a). Also, Rigden (1987).
40. John Bardeen (1984b).
41. John Bardeen (1972a, 1972b).
42. John Bardeen (1984b).
43. Seitz (1994), 47.
44. John Bardeen (1984b).
45. NHK.
46. Seitz (1994), 61 - 62; Seitz(1998).
47. Condon and Shortley (1935).
48. John Bardeen (1977a).
49. Seitz (2001).
50. John Bardeen (1977a, 1984b).
51. Brown (1983), 311 - 375; Schweber (1994).
52. Wigner (1981).
53. Wigner (1981).
54. Wigner (1963, 1981).
55. Duke (1993); John Bardeen (1984b).
56. Morse (1977), 98.
57. Szanton (1992), v - vi.
58. Seitz (1992a).
59. Seitz (1998).
60. Seitz to L. Hoddeson, February 12, 2001.

61. John Bardeen (1984b).
62. Ibid.
63. Seitz (1998). See also John Bardeen (1977a); (1984b); Duke (1993); Seitz (1992a).
64. John Bardeen (1984b).
65. P. Anderson (1998).
66. John Bardeen(1984b).
67. E. Wigner, "Statement Concerning John Bardeen," Graduate School, John Bardeen file, PRIN.
68. Sopka (1988), 259. See also Fisk (1976); Slater (1975), 173; W. Shockley to May Shockley, December 12, 1932, Stanford Archives (10/8).
69. John Bardeen (1984b).
70. Wigner (1984).
71. Jane Bardeen (1991a).
72. Ibid. Also Jane Bardeen to Vicki Daitch, personal communication, 1992. According to Osterhoudt (1991), John occasionally dated other women. A letter in the archives hints of a romance: "I should address you more formally but since I do feel I know you from way back in the 20's I am going to be informal .... I worked at the U. W. Clinic when your father was Dean.... I'm anxious to know did you marry Elizabeth Kruse? " Helen Brown White to John Bardeen, January 9, 1990, UIUC-A.
73. Jane Bardeen (1991a).
74. Jane Bardeen (1991b).
75. Wisconsin High School of the University of Wisconsin permanent record card, UWA.
76. Elmer Krack to Sigmund Hammer, February 15, 1981, UIUC-A.
77. John Bardeen, "Career of Tom Bardeen with Gulf Oil Company," family document. The authors thank Lynn Maynard and Ellen Stiehl for kindly sending us a copy.

78. Henschel (1995); Jane Bardeen (1991a).
79. Jane Bardeen (1991b).
80. Seitz to L. Hoddeson, phone conversation, November 13, 1999. In this period there were 17 students enrolled for roughly four years each in the math-physics program that Bardeen was in.
81. Seitz to L. Hoddeson, February 12, 2001.
82. John Bardeen (1984b).
83. F. Seitz to C. Herring, cited in Herring and Herring (2000).
84. Seitz (1994), 64 - 65.
85. E. Wigner, "Statement Concerning John Bardeen," c. fall 1934 or early spring 1935, Graduate School, John Bardeen file, PRIN.
86. Hoddeson, et al. (1992), ch. 1.
87. John Bardeen (1977c).
88. Smith (1965).
89. Forman (1969); Hoddeson, et. al. (1992), ch. 1.
90. Hoddeson, et al. (1992), 88 - 160; Pauli quote is on p. 181, note 458. The brief survey presented in these pages of the history of the quantum theory of solids is largely based on the treatment found in Hoddeson, et al. (1987).
91. Wilson (1931).
92. Peierls (1929). See also Hoddeson and Riordan (2001).
93. See reference 218 in Hoddeson, et al. (1992). According to Wilson, the "canard" that siliconis a good metal lingered through the pre World War II period.
94. Hoddeson, et al. (1992), 122 - 123.
95. Wigner and Seitz (1933, 1934).
96. John Bardeen (1977, 1984b).
97. Slater, quoted in Hoddeson, et al. (1992), 188.
98. Weart, "The Solid Community," in Hoddeson, et al. (1992).
99. Hoddeson, et al. (1987).
100. Sommerfeld and Bethe (1933).

101. Wigner (1981).
102. John Bardeen (1937); David Pines, Meeting with Brian Pippard, etc., October 9, 1991.
103. John Bardeen (1936, 1984b); Wigner and Bardeen (1935).
104. E. Wigner, c. fall 1934 or early spring 1935, note in John Bardeen's graduate student file, PRIN.
105. The Society did not at this point expect to initiate any women into its ranks. Homans and Bailey (1959), 25.
106. John Bardeen (1977b); Slichter (1992).
107. Harvard Society of Fellows (1987).
108. Harvard Society of Fellows (1987); Slichter (1995).
109. John Bardeen (1984a), 10.
110. John Bardeen (1984b).
111. Meek (1935). John's older brother William died of a similar form of cancer in 1986. Henschel (1992, 1995).
112. Henschel (1995).
113. Sullivan (1936).
114. Clark(1967), 45.
115. Harold C. Bradley, "Reminiscences of Doctor Bardeen," in "Dedication of the Bardeen Memorial Laboratories," pamphlet, Charles R. Bardeen biographical file, UWA. Fifty-three years later, when John Bardeen died, Morton Weir, the chancellor of the University of Illinois used words that echoed those of Bradley, "A giant has passed from our midst." *Inside Illinois* 10, no. 10 (February 7, 1991).
116. Bradley (1992), 17 - 8.
117. John Bardeen (1977, 1980b). Also John Bardeen file, PRIN.

第五章　多体理论的开始

1. John Bardeen (1977b).
2. Brinton (1959), 67 - 68.
3. Bardeen to James B. Fisk, Bell Laboratories, October 29, 1973, UIUC-A.

4. Homans and Bailey (1959), 29, 31 - 32.
5. Harvard Society of Fellows (1987).
6. John Bardeen (1977b).
7. Harvard Society of Fellows (1987).
8. Harvard Society of Fellows(1987).
9. John Bardeen (1977b).
10. Garrett Birkhoff to Charles Slichter, October 19, 1992. The authors thank Slichter for sharing this letter with us. Garrett's father, George Birkhoff, a Harvard mathematics professor, was a senior fellow.
11. John Bardeen (1977b); Eddington (1923).
12. Eddington (1923).
13. John Bardeen (1980b), 80.
14. John Bardeen (1977b).
15. Weiner (1968).
16. Bethe (1972).
17. John Bardeen (1977b).
18. Mott and Jones (1936); Wilson (1936). Also see John Bardeen (1980b).
19. Seitz (1940); Mott and Jones (1936); and Wilson (1936).
20. Bardeen and Van Vleck (1939).
21. John Bardeen(1977b).
22. John Bardeen (1984a).
23. Slater (1975), 42.
24. Hoddeson, et al. (1992), 41.
25. Hoddeson and Baym (1980); Hoddeson, et al. (1992), 4.
26. Slater (1975), 5 - 6.
27. Herring and Herring (2000).
28. Herring (1992a).
29. Herring and Herring (2000).
30. Herring's "Recollections," in Mott (1980), 65 - 76.
31. Herring and Herring (2000).

32. Seitz (1994), 67.
33. Ibid., 67.
34. John Bardeen (1977b).
35. Shockley eventually wrote a paper in 1939 predicting surface states whenever two electronic bands within a finite periodic structure intersect. Hoddeson, et al. (1992), 468; Tamm (1932); Shockley (1939).
36. John Bardeen (1977b). In chemical language, the surface states are "the extra-orbitals leftovers. The other valence bonds are filled with electrons," Bardeen explained.
37. John Bardeen (1977b); (1984b).
38. Shockley (1974).
39. Riordan and Hoddeson(1997a), 81. Also see Hoddeson (1981b).
40. Herring and Herring (2000).
41. Walter (1990), 31.
42. Edwin C. Kemble, "Apostle of Ruthless Logic," lecture given at Percy Williams Bridgman Memorial Meeting, October 24, 1961, Harvard University, Cambridge, Massachusetts, AID.
43. Edward M. Purcell, "The Teacher and Experimenter," lecture given at Percy Williams Bridgman Memorial Meeting, October 24, 1961, Harvard University, Cambridge, Massachusetts, AIP.
44. Walter (1990), 49.
45. John Bardeen (1980b), 81; John Bardeen to Maila Walter, July 28, 1981, UIUC-A.
46. John Bardeen (1980b), 82. Also John Bardeen to Maila Walter, July 28, 1981, UIUC-A.
47. John Bardeen (1977b).
48. Harvard Society of Fellows (1987).
49. John Bardeen (1938); (1980b), 81; (1977b).
50. Seitz to L. Hoddeson, February 12, 2001.
51. Bridgman (1927, 1936); Benjamin (1955), esp. 1 - 20; also Bridg-

man (1980).

52. Walter (1990), 2 - 4.
53. Bridgman (1927), 5.
54. See for example, Margenau (1956), 39.
55. Schweber (1986).
56. Zuckerman (1983).
57. A. H. Bardeen to C. W. Bardeen, n. d., UWA.
58. Bethe (1981), quoted in Hoddeson, et al. (1992), 210; John Bardeen (1980b).
59. Hoddeson, et al. (1992), 196, 199; Jones et al. (1934).
60. Weisskopf (1951).
61. Luttinger and Kohn showed that the occupation number has a sharp discontinuity at the Fermi surface, like a cliff that slopes gently down, then falls drastically, then slopes more gently again near the bottom. Landau (1957); Luttinger (1960).
62. John Bardeen (1977c).
63. John Bardeen (1937).
64. John Bardeen(1980b).
65. Harvard Society of Fellows (1987).
66. Niels Bohr, Wolfgang Pauli, Werner Heisenberg, Felix Bloch, Lev Landau, Leon Brillouin, W. Elsasser, Yakov Frenkel, Ralph Kronig, and Einstein were among the many who tried and failed to develop a detailed first-principles theory of superconductivity. For a summary of research on superconductivity, from its discovery up to the Second World War, see Dahl (1992). For other references see Hoddeson, et al. (1992), 588, note 21, 141 - 153; also Hoddeson, et al. (1987), Section 4: "Superconductivity, 1929 - 1933."
67. Sommerfeld and Bethe (1933), 555, 558.
68. Hoddeson, et al. (1992), 144.
69. Hoddeson, et al. (1992), ch 2.
70. Shoenberg (1938), ix.

71. London and London (1933).
72. For insights into the London brothers, especially Fritz, see the biography of Fritz London by Gavroglu (1995); also Dahl (1992); and Hoddeson, et al. (1992).
73. London and London (1933), 348.
74. London (1935).
75. Jane Bardeen (1991b).
76. John Bardeen (1977a).
77. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, July 2, 1936, BFC; Jane Bardeen (1991b).
78. Jane Maxwell to Mrs. J. R. Maxwell, June 28, 1936, BFC.
79. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, July 2, 1936, BFC.
80. Jane Bardeen (1991a).
81. Jane Bardeen to Maxwell family, August 15, 1937, BFC.
82. Jane Bardeen (1991b).
83. Jane Maxwell to Mrs. J. R. Maxwell, November 29, 1937, BFC.
84. Jane Maxwell to Mrs. J. R. Maxwell, November 29, 1937, BFC.

第六章 学术生涯

1. Jane Maxwell to Mrs. J. R. Maxwell, May 26, 1938, BFC; Nier (1993).
2. Jane Maxwell to Mrs. J. R. Maxwell, May 26, 1938, BFC.
3. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, December 6, 1938.
4. Gray (1951), 3, 415 - 418. Tate, who came to Minnesota as an instructor, was appointed dean in 1937.
5. John Van Vleck to Johns Hopkins, n. d., UMP.
6. J. W. Buchta to John Bardeen, G31 Lowell House, March 29, 1938, UMp. According to an employment application in Bardeen's personnel file of the USOPM, he was earning $3,000 per year at Gulf.
7. Nier (1993).
8. Bardeen spoke there on the theory of "Electrical conduction and other

transport phenomena." Francis Bitter and Foster Nix spoke on experiment, while Seitz and Mott spoke on theoretical subjects. Later, Bardeen expanded the material from his talk into a review article. John Bardeen (1940, 1980b).

9. Jane Maxwell to Mrs. J. R. Maxwell, May 26, 1938; February 28, 1940, BFC.
10. Jane Maxwell to Sue Maxwell, June 2, 1938, BFC.
11. Jane Bardeen (1991b).
12. Jane Bardeen (1993b).
13. "Dr. R. J. [*sic*] Maxwell Has Practiced Here 56 Years," *the Washington (Pennsylvania) Reporter*, August 15, 1958, 36.
14. Jane Bardeen (1993b).
15. Jim was following the model of his father and training to become a doctor. "Dr. R. J. [*sic*] Maxwell." *the Washington (Pennsylvania) Reporter*, August 15, 1958.
16. Jane Maxwell to Sue Maxwell, June 2, 1938, BFC.
17. Henschel (1995).
18. Jane Bardeen (1993).
19. Jane Bardeen (1993).
20. Jane Bardeen to Maxwell family, July 26, 1938, BFC.
21. Jane Bardeen to Maxwell family, July 26, 1938, BFC.
22. W. Bardeen private communication to L. Hoddeson, August 16, 2001.
23. Jane Bardeen to Maxwell family, July 26, 1938, BFC.
24. Jane Bardeen to Maxwell family, July 26, 1938, BFC.
25. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, July 26, 1938, BFC.
26. Ibid.
27. Jane Bardeen to Maxwell family, July 26, 1938, BFC.
28. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, August 9, 1938, BFC.
29. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, August 3, 1938, BFC.
30. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, August 1, 1938, BFC.
31. Jane Bardeen (1993).

32. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, July 26, 1938, BFC.
33. Jane Bardeen (1993).
34. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, August 16, 1938, BFC.
35. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, August 22, 1938, BFC.
36. Ibid.
37. Jane Bardeen to Betty Maxwell, September 3, 1938, BFC.
38. Jane Bardeen to Betty Maxwell, September 12, 1938, BFC.
39. Ibid.
40. Jane Bardeen to the Maxwell family, October 1938, BFC.
41. Ibid.
42. Jane Bardeen (1993).
43. Jane Bardeen to Betty Maxwell, January 19, 1939, BFC.
44. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, February 28, 1939, BFC. The present was from Jo Gerken and Florence Rumbaugh.
45. Helen Temple Cooke to Jane Maxwell Bardeen, June 26, 1939, BFC.
46. Jane Bardeen (1991a).
47. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, February 28, 1939; November 11, 1939, BFC.
48. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, November 11, 1940, BFC.
49. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, February 28, 1939, BFC.
50. Young (1972).
51. Nier (1993).
52. Ibid.
53. Ibid.
54. Ibid.
55. Ibid.
56. Jane Bardeen (1993).
57. John Bardeen (1977c).
58. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, August 7, 1939, BFC.
59. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, August 23, 1939, BFC.
60. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, March 28, 1939, BFC.

61. Jane Bardeen to Susan Maxwell, January 10, 1940, BFC.
62. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, October 19, 1938, BFC.
63. John Bardeen (1940), 88, 90.
64. Ibid., 90-94, 96.
65. Ibid., 96, 111.
66. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, May 4, 1939, BFC.
67. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, March 28, 1939, BFC.
68. Ibid.
69. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, May 4, 1939, BFC.
70. Jane Bardeen to Susan Maxwell, November 15, 1939, BFC.
71. Nier (1993).
72. Helen Buchta Gustafson to Jane Bardeen, April 15, 1991, BFC.
73. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, April 6, 1940, BFC.
74. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, February 16, 1940, BFC.
75. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, December 15, 1939, BFC.
76. Jane Maxwell to Mrs. J. R. Maxwell, November 29, 1937, BFC.
77. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, August 18, 1940, BFC.
78. Jane Bardeen to Dr. J. R. Maxwell, May 19, 1940, BFC.
79. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, December 15, 1939, BFC.
80. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, November 11, 1940, BFC.
81. Jane Bardeen to Betty Maxwell, March 22, 1940, BFC.
82. Jane Bardeen to Dr. J. R. Maxwell, May 19, 1940, BFC.
83. Jane Bardeen to Susan Maxwell, January 10, 1940, BFC.
84. Hoddeson, et. al (1993).
85. Bardeen and Nier (1941); Nier (1993). Also John Bardeen (1977b).
86. Booth et al., (1969), 28; Rhodes (1986), 332.
87. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, May 10, 1940, BFC; *Minneapolis Star-Journal*, May 5, 1940.
88. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, November 11, 1940, BFC.
89. Harvard Society of Fellows (1987).

90. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, February 6, 1941, BFC.
91. Jane Bardeen to Maxwell family, November 11, 1940, BFC.
92. Jane Bardeen to Betty Maxwell, March 22, 1940, BFC.
93. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, February 6, 1941, BFC.
94. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, December 6, 1938; Jane Bardeen to Betty Maxwell, November 29, 1940, BFC.
95. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, November 29, 1940, BFC.
96. Ibid.
97. Jane Bardeen to Dr. J. R. Maxwell, January 14, 1941, BFC.
98. Ibid.
99. Morrison (1995); Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, December 6, 1938; January 19, 1939; February 28, 1939, BFC.
100. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, February 6, 1941, BFC.
101. John Bardeen (1980b).
102. John Bardeen (1941, 1980b).
103. Seitz (2001).
104. John Bardeen (1980b).

第七章　国防工程学

1. Jane Bardeen to Dr. and Mrs. J. R. Maxwell, April 10, 1940, BFC.
2. Keegan (2000), 55; Gilbert (1989), 64.
3. Buderi (1996).
4. Weinberg (1994).
5. Zachery (1997); Hart (1998).
6. For more detail, see Kevles (1978).
7. Smaldane (1977), 167 – 169; also Rowland and Boyd (1953), 18.
8. John Bardeen to George Hamlin, Naval Surface Warfare Center, Dahlgren, Virginia, July 31, 1985, UIUC-A; Anspacher (1992).
9. Rowland and Boyd (1953), 71; Bennett (1987).
10. Rowland and Boyd (1953).
11. Anspacher (1992); Lt. Cmdr. Ralph D. Bennett, U. S. N. R., to John

Bardeen, March 19, 1941; John Bardeen personnel file, USOPM. Bennett mentioned that "Wetzel, Johnson and others" had brought up Bardeen's name as a likely candidate to help them with the kinds of problems they faced.

12. Correspondence between John Bardeen and Lt. Cmdr. Ralph D. Bennett, U. S. N. R., Naval Ordnance Laboratory, Washington, D. C., March 19, 1941; March 28, 1941; April 9, 1941; April 17, 1941; April 26, 1941; May 13, 1941; May 16, 1941; May 19, 1941; and June 4, 1941, USOPM.
13. "Putting Science to Sea in World War II: The Development of the Modern Naval Ordnance Laboratory," *On the Surface* 10, no. 14 (Special R&D Technology Edition, July 10, 1987) 7-9.
14. Jay Buchta to Lt. Cmdr. R. D. Bennett, May 16, 1941, USOPM.
15. Jane Bardeen (1993).
16. Stevens (1941), 51-52.
17. Jane Bardeen (1991a).
18. Jane Bardeen (1993).
19. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, February 6, 1941, BFC.
20. See Brinkley (1988) and Stevens (1941).
21. Anspacher (1992).
22. Jane Bardeen (1993).
23. John Bardeen to George Hamlin, Naval Surface Warfare Center, Dahlgren, Virginia, July 31, 1985; Mitchell (1987).
24. John Bardeen to George Hamlin, Naval Surface Warfare Center, Dahlgren, Virginia, July 31, 1985. The authors thank George Hamlin for sharing these documents from his personal correspondence files.
25. R. H. Park to Secretary of the Navy Frank Knox, November 20, 1942, NARA, RG 298, Box 2.
26. Rear Adm. W. R. Purnell to Rear Adm. J. A. Furer, coordinator of R & D, September 6, 1942, NARA, RG 298, Box 96.
27. Nick Holonyak to L. Hoddeson, February 2, 2001; Charles Kittel to

Jane Bardeen, February 11, 1991, BFC.

28. Anspacher (1992).
29. Charles Kittel to Jane Bardeen, February 11, 1991, BFC.
30. Gilbarg (1992).
31. Anspacher (1992).
32. Bardeen and Kendall (1941).
33. John Bardeen (1942); Bardeen and Keithley (1942).
34. Bardeen et al. (1942).
35. Bardeen and Shortly (1942).
36. John Bardeen travel orders dated March 4, 1942; March 14, 1942; April 6, 1942; April 21, 1942; June 23, 1942; September 21, 1942; November 25, 1942; March 31, 1943; and June 15, 1943, John Bardeen personnel file, USOPM.
37. John Bardeen travel orders dated November 29, 1941; February 4, 1943; March 10, 1943; May 3, 1943; May 24, 1943; July 5, 1943; August 3, 1943; and August 16, 1943, John Bardeen personnel file, USOPM; Seattle reference is from John Bardeen (1977c).
38. John Bardeen (1977c); John Bardeen travel orders dated May 15, 1943 and July 27, 1943, John Bardeen personnel file, USOPM.
39. John Bardeen to Stephen Brunauer, Clarkson College, Potsdam, New York, July 30, 1980. There are travel orders dated June 30, 1943, for Bardeen to visit the Institute for Advanced Study on or around July 2, 1943, USOPM.
40. John Bardeen (1977c); Kaplan (1946), 35.
41. Kaplan (1946), 38.
42. Jane Bardeen (1991a).
43. Kaplan (1946), 40 – 45.
44. Job Classification Sheet for John Bardeen, September 20, 1943, USOPM.
45. Kaplan (1946), 45.
46. John Bardeen to A. H. Hausrath, August 16, 1967, UIUC-A. Bardeen's own work status changed from contract to civil service in June

1943 when the navy changed its policy regarding contract work. His new title was Principal Physicist, but his duties, almost entirely administrative, hardly changed. Memos from Personnel Officer R. F. Cautley to Bardeen, June 10, 1943, from F. L. Reichmuth, commandant, NOL Navy Yard, Washington, D. C., to the assistant secretary of the navy; from Bardeen to purchase officer via officer-in-charge, NOL, September 30, 1943, USOPM.

47. Jane Bardeen (1991a).
48. Affidavit—Occupational Classification (Industrial) for John Bardeen, 8 December 30, 1943, USOPM.
49. William Bardeen, private communication to L. Hoddeson, November 19, 1999.
50. Seitz (2001).
51. William F. Whitmore to John Bardeen, January 11, 1988, UIUC-A.
52. John Bardeen to chief of the Bureau of Ordnance via commandant, U. S. Navy Yard, October 31, 1942, USOPM.
53. Reports of Efficiency Rating on John Bardeen, August 29, 1944; March 31, 1945; and September 11, 1945, USOPM.
54. "Dr. John Bardeen is World Famous As Versatile Theoretical Physicist," *Report*, July 1945, 8. Charles V. Jakowatz who bowled both with and against Bardeen during those years later told Nick Holonyak that Bardeen was "tough." N. Holonyak to L. Hoddeson, January 31, 2001.
55. John Bardeen to George Hamlin, Na val Surface Warfare Center, Dahlgren, Virginia, July 31, 1985, UIUC-A.
56. Jane Bardeen (1993).
57. G. W. Beach to John Bardeen, February 18, 1943; Williams and Rae, Barristers and Solicitors, to John Bardeen, March 3, 1943; Donald Beach to John Bardeen, December 8, 1942; Williams and Rae to John Bardeen, March 5, 1943, BFC.
58. John Bardeen, "Career of Tom Bardeen with Gulf Oil Company,"

n. d. , family document. The authors thank Lynn Maynard and Ellen Stiehl for kindly sending us a copy.

59. John Bardeen to Professor Sigmund Hammer, Department of Geology and Geophysics, University of Wisconsin-Madison, February 25, 1981, UIUC-A.
60. James Bardeen to Jane Bardeen, November 30, 1943, BFC.
61. Jane Bardeen (1993).
62. Jane Bardeen (1993).
63. John Bardeen to Bill Bardeen, April 1943, BFC.
64. John Bardeen to Jay Buchta, June 10, 1944, UMP.
65. Jane Bardeen (1993).
66. John Bardeen to Jay Buchta, May 6, 1945, UMP.
67. Telegram from Jay Buchta to John Bardeen, May 24, 1945, Bardeen.
68. Alfred O. C. Nier, Acting Chair, Department of Physics, to Dean J. W. Buchta, April 18, 1951, Bardeen personnel file, UMP; Al Nier (1993); Jane Bardeen (1991a).
69. Hoddeson, et al. (1992), ch. 9. Slater pushed for the application to solid-state research of the compact helium liquefier that Collins developed during the war for portable oxygen generators to be used on submarines and airplanes. The subsequent wide use of the Collins liquefier enabled low-temperature physics studies to be conducted at many institutions.
70. John Bardeen to Jay Buchta, May 6, 1945, Bardeen personnel file, UMP.
71. Kelly (1943).
72. Torrey and Whitmer (1948), viii. The classic work on this radar program is Guerlac (1987). See also Hoddeson (1994); Henry Torrey to L. Hoddeson, June 6, 1993. The Telecommunications Research Establishment played a similar role in England, coordinated with the General Electric Company; British Thompson Houston, Ltd.; and Oxford University.

73. Kelly (1943).
74. Kelly (1950).
75. Harvard Society of Fellows (1987).
76. Technical Employment Manager R. A. Deller, Bell Telephone Laboratories, to John Bardeen, May 26, 1945, UIUC-A; John Bardeen to Officer-in-Charge W. G. Schindler, via L. H. Rumbaugh and personnel office, NOL, Washington, D. C., June 26, 1945, USOPM.
77. According to an application for employment as a federal consultant, Bardeen was making $11,400 at Bell Labs by the time he was ready to leave in March 1951, only six years later. USOPM.
78. Technical Employment Manager R. A. Deller, Bell Telephone Laboratories, to John Bardeen, May 26, 1945, UIUC-A.
79. John Bardeen to Jay Buchta, June 11, 1945, UMP.
80. Ibid.
81. Ibid.
82. John Bardeen to Officer-in-Charge Capt. W. G. Schindler, via L. H. Rumbaugh and personnel office, NOL, Washington, D. C., June 26, 1945, USOPM.
83. Ibid.
84. Ibid.
85. L. H. Rumbaugh to officer-in-charge, NOL, July 3, 1945, USOPM.
86. Marlowe (1992).
87. Officer-in-Charge Capt. W. G. Schindler, NOL, to John Bardeen, via personnel officer and Dr. L. H. Rumbaugh, July 4, 1945, USOPM.
88. Memo to the Board on Awards for Civilian Service from Officer-in-Charge Capt. W. G. Schindler, USN, NOL, November 29, 1945, USOPM.
89. Secretary of the Navy James V. Forrestal to Rear Adm. F. L. Reichmuth, commandant, Navy Yard, Washington, D. C., June 11, 1946; G. B. Davis, commandant, Potomac River Naval Command, to John Bardeen, September 4, 1946, USOPM.

第八章　晶体管

1. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, October 14, 1945, BFC.
2. Ibid.
3. Ibid.
4. Ibid.
5. Ibid.
6. Ibid.
7. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, October 25, 1945, BFC.
8. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, October 14, 1945, BFC.
9. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, October 25, 1945, BFC.
10. Bardeen family interview (1992); W. Bardeen (1995), BFC.
11. Betsy Bardeen Greytak, Bardeen family interview (1992), BFC.
12. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, April 25, 1948, BFC.
13. Ann Bardeen Henschel, Bardeen family interview (1992), BFC.
14. John Bardeen (1977a).
15. Ann Bardeen Henschel, Bardeen family interview (1992); Henschel (1992).
16. Bardeen family interview (1992).
17. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, January 17, 1949, BFC.
18. Jane Bardeen (1993).
19. John Bardeen (1994), 73.
20. Herring and Herring (2000).
21. Ibid.
22. Herring and Herring (2000); Seitz (2001).
23. Seitz (2000).
24. Bardeen family interview (1992).
25. Pearson (1992), 240.
26. Herring and Herring (2000).
27. Jane Bardeen (1991a).
28. Jane Bardeen (1993b); Bardeen family interview (1992).

29. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, October 25, 1945, BFC.
30. Jane Bardeen (1991a); Jane Maxwell to Mrs. J. R. Maxwell, November 29, 1937, BFC.
31. Herring and Herring (2000).
32. The Bell Telephone Laboratories was officially incorporated on January 1, 1925, but the research groups out of which the corporation emerged had been created over a decade earlier. Hoddeson (1981c), 512 - 544.
33. Ibid.; see also Fagen (1975). For the information about doughnuts and coffee, the authors are grateful to Terry Eisinger, personal communication to L. Hoddeson, September 1995.
34. Mervin Kelly memorandum to Oliver Buckley, January 1945, Box 53, pp. 18, 25, AT&T.
35. Bernstein (1984), viii.
36. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, October 25, 1945, BFC.
37. N. Holonyak to L. Hoddeson, February 3, 2001.
38. undated newspaper clipping, UIUC-P.
39. See Bell Labs phone directories for 1945 and 1946, AT&T.
40. Herring and Herring (2000).
41. W. Brattain (1964).
42. Guerlac (1987); Hoddeson (1994); Seitz and Einspruch (1998), esp. ch. 11; Torrey and Whitmer (1948).
43. F. Seitz to L. Hoddeson, February 12, 2001.
44. Hoddeson (1981c).
45. Hoddeson (1981c).
46. N. Holonyak to L. Hoddeson, February 3, 2001.
47. Wooldridge (1976).
48. Ibid.
49. Shockley described the design, which would now be called a "Schottky-gate-field-effect" transistor, in his laboratory notebook on December 29, 1939. See also Riordan and Hoddeson (1997a).
50. W. Brattain (1964).

51. Riordan and Hoddeson (1997a), 88 – 89; also (1997b).
52. Bardeen BNB 20780 October 23, 1945, p. 3, AT&T.
53. W. Brattain (1964).
54. John Bardeen (1987), 70 – 71.
55. John Bardeen to Jane Bardeen, July 9, 1947, BFC.
56. Muriel Kittel to Jane Bardeen, February 12, 1991, BFC.
57. John Bardeen (1987), 70 – 71. Also W. Shockley to Ralph Bown, July 21, 1947, STAN.
58. John Bardeen to Jane Bardeen, July 15, 1947, BFC.
59. John Bardeen to Jane Bardeen, July 19, 1947, BFC.
60. John Bardeen to Jane Bardeen, July 20, 1947, BFC.
61. John Bardeen to Jane Bardeen, July 19, 1947, BFC.
62. John Bardeen to Jane Bardeen, August 1, 1947, BFC.
63. John Bardeen (1977d).
64. John Bardeen to Jane Bardeen, August 1, 1947, BFC.
65. Ibid.
66. W. Brattain (1963).
67. W. Brattain (1964).
68. Ibid.
69. Ibid.
70. John Bardeen (1978).
71. Shockley (1976), 609. See also Riordan, et al. (1999), S336 – S345.
72. W. Brattain (1963).
73. W. Brattain (1964).
74. John Bardeen (1978).
75. W. Brattain (1964).
76. W. Brattain BNB 18194, December 8, 1947, p. 171. Also see Shockley (1976), 610.
77. W. Brattain (1964).
78. W. Brattain BNB 18194, December 8, 1947.
79. Ibid., 176 – 177.

80. W. Brattain (1964). See also Riordan and Hoddeson (1997a), 134.
81. W. Brattain (1964), 30.
82. W. Brattain BNB 18194, December 15, 1947, p. 192; W. Brattain (1964).
83. Harvard Society of Fellows (1987).
84. John Bardeen (1957).
85. W. Brattain (1963).
86. N. Holonyak to L. Hoddeson, February 2, 2001.
87. Bondyopadhyay (1998).
88. Davydov (1938).
89. Holonyak (1992).
90. W. Brattain (1964).
91. John Bardeen (1963).
92. John Bardeen (1963). That holes flow into the bulk was later mentioned in Bardeen and Brattain's joint paper presented at the November 1948 National Academy of Sciences meeting, and in their article on the point-contact transistor submitted to the *Physical Review* in December 1948. They wrote, "[H]oles may flow either through the surface layer or through the body of the semiconductor." Bardeen and Brattain (1949), 1211; John Bardeen (1978). See also W. Brattain (1964); Riordan and Hoddeson (1997a), 153 - 155; (1997b).
93. John Bardeen (1963).
94. W. Brattain (1964).
95. W. Brattain (1963).
96. Jane Bardeen (1991c).
97. W. Brattain (1964).
98. W. Brattain BNB 21780, December 24, 1947, pp. 7 - 8.
99. John Bardeen BNB 207880, December 24, 1947, p. 72.

第九章　跟贝尔决裂

1. *New York Times*, December 27, 1947, 1 - 2.

2. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, January 1, 1948; January 7, 1948, BFC. The quizzical parenthetical question mark is Jane's.
3. John Bardeen (1990a).
4. Riordan and Hoddeson (1997a), 142 - 144.
5. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, January 1, 1948.
6. Harry C. Hart to John Bardeen and Walter Brattain, April 13, 1964, BFC.
7. W. Brattain (1974), 25.
8. John Bardeen (1990a).
9. Riordan and Hoddeson (1997a), 153 - 155.
10. Ibid., 147 - 151.
11. W. Brattain (1964).
12. John Bardeen (1978).
13. Harry C. Hart to John Bardeen and Walter Brattain, April 13, 1964, UIUC-A.
14. W. Brattain (1974), 28.
15. Handel (1998), 8 - 9.
16. Bardeen and Brattain (1948).
17. Walter Brattain quoted in *Time* magazine, June 29, 1959, 58.
18. W. Brattain, "How the Transistor was Named," n. d., WHIT.
19. Ibid.
20. Bown, cited in Riordan and Hoddeson (1997a), 164.
21. John Bardeen (1990a).
22. Jane Bardeen to Maxwell family, July 1, 1948, BFC.
23. Riordan and Hoddeson (1997a), 164.
24. John Bardeen (1990a).
25. *New York Times*, June 30, 1948, 46.
26. *New York Herald Tribune*, July 1, 1948.
27. W. Brattain (1964).
28. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, April 25, 1948, BFC.
29. Riordan and Hoddeson (1997a), 167.

30. Holonyak (1993b).
31. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, January 17, 1949, BFC.
32. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, October 26, 1948, BFC.
33. Bardeen family interview (1992).
34. Holonyak (1992), 41 - 42.
35. Betsy Bardeen Greytak, Bardeen family interview (1992).
36. Riordan and Hoddeson (1997a), 205.
37. Herring and Herring (2000).
38. Herring and Herring (2000).
39. Bell Labs phone books, 1948 - 1949, AT&T.
40. Michael Riordan, quoted in Del Guercio (1998).
41. John Bardeen to M. Kelly, May 24, 1951, BFC.
42. Ibid.
43. John Bardeen to Alvin M. Weinberg, September 23, 1948, AT&T. See also John Bardeen to James Fisk, April 22, 1949, STAN.
44. John Bardeen to A. M. Weinberg, April 22, 1949, AT&T. The authors would like to thank Michael Riordan for sharing this letter with us.
45. John Bardeen to J. B. Fisk, April 22, 1949, Stanford Archives. The authors are grateful to Michael Riordan for sharing this letter with us.
46. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, May 25, 1949, BFC.
47. John Bardeen to M. Kelly, May 24, 1951, BFC.
48. Herring and Herring (2000); Herring (1974).
49. Herring and Herring (2000).
50. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, April 10, 1948, BFC.
51. James Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, January 4, 1949, BFC.
52. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, May 25, 1949, BFC.
53. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, April 18, 1948, BFC.
54. Jane Bardeen to Mrs. J. R. Maxwell, January 17, 1949, BFC.
55. Walter Kohn to Jane Bardeen, April 4, 1991, BFC.
56. Ibid.
57. Ravin Bhatt to Jane Bardeen, February 15, 1991, BFC.

58. Bhatt (1992).
59. For Brattain reference see Riordan and Hoddeson (1997a). See also P. Anderson (1992a).
60. John Bardeen to M. Kelly, May 24, 1951, BFC.
61. John Bardeen, handwritten note, May 16, 1950, UIUC-A. See also John Bardeen (1973).
62. Torrey (1983); Maxwell (1983).
63. Hoddeson, et al. (1992), 548 - 549.
64. Torrey (1983).
65. John Bardeen (1950a).
66. John Bardeen (1950a); (1950b), 167 - 168; Hoddeson, et al. (1992), 549 - 550.
67. The classic discussion of simultaneous discovery in science is Kuhn (1989).
68. Fröhlich (1950).
69. Ibid.
70. Herring and Herring (2000).
71. John Bardeen (1973), 15 - 57.
72. John Bardeen to M. Kelly, May 24, 1951, BFC.
73. The fact that Welker had applied for a patent for the junction transistor was apparently not known in the United States. Handel (1998).
74. Betsy Bardeen Greytak, Bardeen family interview (1992).
75. Seitz (1992b).
76. Seitz (1994), 194 - 196.
77. Seitz (1997).
78. Frederick Seitz to John Bardeen, February 19, 1951; Seitz (1992b).
79. Seitz (1993).
80. Seitz (1994), 219; del Guercio (1998).
81. Seitz (1993).
82. F. Seitz to John Bardeen, February 19, 1951, UIUC-A.
83. G. M. Almy to John Bardeen, March 31, 1951; W. L. Everitt to John

Bardeen, April 16, 1951, UIUC-P.

84. Riordan and Hoddeson (1997a), 191.
85. Ibid., 191; John Bardeen to G. M. Almy, April 6, 1951, UIUC-P.
86. Fisk, quoted in Seitz (1992b). See also Riordan and Hoddeson (1997a), 191.
87. William L. Everitt to John Bardeen, April 16, 1951, UIUC-P.
88. F. Seitz to John Bardeen, April 27, 1951, UIUC-A.
89. F. Seitz to John Bardeen, April 5, 1951, UIUC-A.
90. Record of Training and Professional Experience, Application for position at University of Illinois, Bardeen file, UIUC-P. By 1955, his salary would grow to $13,500.
91. F. Seitz to John Bardeen, April 28, 1951, BFC.
92. John Bardeen to Mervin Kelly, May 24, 1951, BFC.
93. Ibid.
94. John Bardeen to M. Kelly, May 24, 1951, BFC.
95. Ibid.
96. Ibid.
97. Ibid.
98. W. Brattain (1974), 33.
99. F. Seitz to L. Hoddeson, February 12, 2001.
100. Riordan and Hoddeson (1997a), 225.
101. More detail on this episode can be found in Riordan and Hoddeson (1997a), 225 - 253.
102. Seitz (2000).
103. Seitz (2001).
104. Seitz (2000).
105. Seitz (2000); F. Seitz to Professor and Mrs. John Bardeen, October 18, 1989.
106. For a more complete story, see Riordan and Hoddeson (1997a), 225 - 253.
107. For more information on Shockley see the manuscript by Joel Shurkin,

Broken Genius.

108. Seitz said that he had heard this story from several sources. Seitz (1998).
109. Bill Bardeen recalls they had the DeSoto from 1951 until 1958, when Jim took it along to college. W. Bardeen, private communication to L. Hoddeson, May 15, 2000.
110. Holonyak (1992), 39; Shockley (1950).

第十章 回家

1. The authors are grateful to Fernando Irving Elichirigoity for contributions to this chapter on the history of the University of Illinois Department of Physics.
2. Jane Bardeen, quoted in the *Champaign-Urbana News Gazette*, October 10, 1991.
3. Hansen (1974), 159 - 161; Baker and Miller (1984), 103.
4. John Bardeen (1965b).
5. Jane Bardeen to Betty Maxwell, April 1, 1962, BFC.
6. Jane Bardeen (1991a); (1993).
7. Bill Bardeen, talk given at John Bardeen's memorial service, February 8, 1991; W. Bardeen (1995).
8. Bardeen family interview (1992).
9. Betsy Bardeen Greytak, talk given at John Bardeen's eightieth birthday celebration, May 7, 1988, UIUC-A.
10. Betsy Bardeen Greytak, talk given at John Bardeen's eightieth birthday celebration, May 7, 1988, UIUC-A.
11. Alice Townsend Barlow, "From Caddies to Carts: Champaign Country Club Historical Reminiscences, 1904 - 1996," pamphlet.
12. Holonyak (1998b).
13. Jane Bardeen (1993).
14. Jane Bardeen (1991a).
15. Jane Bardeen to Maxwell family, August 4, 1956, BFC.

16. John Bardeen to Jane Bardeen, August 7, 14, 17, 20, 1956; Jane Bardeen to Maxwell family, August 10, 1956, BFC.
17. Jane Bardeen to John Bardeen, August 7, 1956, BFC.
18. Jane Bardeen (1993).
19. Ibid.
20. Robert L. Kabel to Vicki Daitch, October 25, 1993; *Champaign-Urbana Courier*, May 10, 1962, UIUC-A.
21. Jane Bardeen (1993).
22. Ibid.
23. Ibid.; also William Bardeen, private communication to Lillian Hoddeson, January 2002.
24. Jane Bardeen (1993).
25. John Bardeen to Sergei Kapitsa, July 6, 1988. UIUC-P.
26. Lazarus (1987), 2; Warne (1991), 10.
27. Seitz (1991), 119; Lazarus (1987), 3.
28. I. Rabi, "Dedication of the Loomis Laboratory of Physics," February 14, 1980, 12.
29. Lazarus (1987), 4.
30. Ibid., 7.
31. Bradley (1992).
32. Warne (1991), 17; Lazarus (1987), 7 – 8. On the history of the betatron at the University of Illinois, see Kingery, et al. (1967), 66 – 77.
33. Warne (1991), 19.
34. Lazarus (1987), 11.
35. Five years later, during the Korean War, he returned for two more years to set up MIT's Lincoln Laboratory. Frederick Seitz, Dedication of the Loomis Laboratory of Physics, 18. Lazarus (1987), 3; Warne (1991), 26 – 27; Lazarus (1993).
36. Lazarus (1993).
37. Ibid.
38. Goldwasser (1992).

39. Russel (1995).
40. Seitz (1994), 194 - 196.
41. Ibid., 195 - 201.
42. Ibid., 194 - 196.
43. Seitz, "Biographical Notes," p. 98, in Mott (1980); Lazarus (1993).
44. Lazarus (1993). Eventually several other universities established major solid-state research groups. They included Charles Kittell's group at the University of California-Berkeley and Karl Lark-Horowitz's group at Purdue.
45. Warne (1991), 25.
46. Alpert (1992); Lazarus (1993).
47. Alpert (1992).
48. DeBrunner (1992); Drickamer (1992).
49. A reporter once asked Bardeen whether accepting funds from a government agency directed his research toward problems of military interest. He said he did not think so. He noted that nearly all government funding of research at the university was initiated by the researchers, not by the government. Polleti (1972).
50. Sapolsky (1990), 39, 49, 64.
51. Lazarus (1993).
52. Lazarus (1993).
53. John Bardeen to Jane Bardeen, September 9, 1953, BFC.
54. Seitz (1994), 221.
55. John Bardeen to Jane Bardeen, September 24, 1953, BFC.
56. John Bardeen, draft of informal talk (1953), UIUC-A.
57. Nakajima (1993).
58. John Bardeen to George Hatoyama, November 11, 1953, UIUC-A.
59. George Hatoyama to John Bardeen, December 16, 1955, UIUC-A.
60. Makoto Kikuchi to Nick Holonyak, Jr., August 2, 1974. The authors would like to thank Nick Holonyak for sharing this document with us.
61. See, for example, John Bardeen to George Hatoyama, November 1,

1955, and December 23, 1955; George Hatoyama to John Bardeen, December 16, 1955, UIUC-A.

62. John Bardeen to Harold Clark, April 22, 1957; John Bardeen to George Hatoyama, April 23, 1957; George Hatoyama to John Bardeen, May 1, 1957, UIUC-A.
63. Holonyak (1991b).
64. John Bardeen to J. B. Fisk, August 9, 1951, UIUC-A.
65. Holonyak (1991 a).
66. Shockley (1950).
67. Holonyak (1992).
68. Holonyak (1993b).
69. Lex Peterson, "John Bardeen: Quiet Brilliance," *Champaign-Urbana News Gazette*, January 9, 1981.
70. Bardeen family interview (1992).
71. Holonyak (1993a). After his move from Bell Labs to Walla Walla, Washington, Brattain tried to interest Bardeen to come visit him. "I can guarantee a [golf] game almost any month except January." Brattain to John Bardeen, November 12, 1965, UIUC-A.
72. Holonyak (1993a); Handler (1993).
73. Warne (1991), 25.
74. Holonyak (1991b).
75. John Bardeen to Nick Holonyak, December 13, 1987, UIUC-A.
76. The story is related in a letter from Hisashi Shichijo to Nick Holonyak, October 30, 1987 and Nick Holonyak to Hisashi Shichijo, November 2, 1987. Shichijo cites an article in *Nikkei Electronics*.
77. Nick Holonyak to Hisashi Shichijo, November 2, 1987. Schrieffer arrived in the fall of 1953 with a B. S.; Holonyak left in September 1954 with a Ph. D.
78. Bray (1993b).
79. Holonyak (1991b).
80. John Bardeen to Local Board No. 17, Newark, New Jersey, September

10, 1954, UIUC-A.

81. Handler (1993).
82. Ibid.
83. John Bardeen to Nick Holonyak, Jr., September 9, 1955, UIUC-A.
84. John Bardeen to Nick Holonyak, October 16, 1955, UIUC-A.
85. John Bardeen to Nick Holonyak, September 26, 1956, UIUC-A.
86. George Hatoyama to John Bardeen, May 1, 1957, UIUC-A.
87. John Bardeen to Nick Holonyak, Jr., November 2., 1959, personal collection of Nick Holonyak.
88. Bray (1993a).
89. Bhatt (1992).
90. A. Anderson (1992).
91. Handler (1993); Bob and Anne Schrieffer, "Remembrances of Jane Bardeen," Jane Maxwell Bardeen Memorial, April 5, 1997.
92. Bray (1993b).
93. A. Anderson (1992).
94. Holonyak (1991b).
95. John Bardeen to Alan J. Pifer, Carnegie Corporation of New York, New York City, January 19, 1971, UIUC-A.
96. Hess (1991); Pao (1994).
97. Zuckerman (1983), 249.
98. Ibid., 240 - 250.
99. Bradley (1992), 14 - 15.
100. Bray (1993b).
101. Schrieffer (1992a); see also Handler (1993); Bhatt (1992).
102. Bray (1993b).
103. Schrieffer (1992a).
104. Sah (1993).
105. Ibid.
106. Dan Mattis to Vicki Daitch, February 4, 1993.
107. Allender (1993).

108. Pao (1994). Pao met Bardeen as an undergraduate at the University of Illinois in the late 1950s. After finishing a master's degree in electrical engineering in 1960, he spent some years in industry and then returned to the university hoping to finish a Ph. D. under Bardeen. As Bardeen was then spending a great deal of time in Washington, D. C., Pao turned to Chih-Tang Sah, who had studied with Bardeen when he was an undergraduate at the University of Illinois. Pao (1994).
109. Lazarus (1992). Also Alpert (1992).
110. Coleman (1992).
111. Alpert (1992).
112. Ibid.
113. Russell (1995).
114. A. Anderson (1992); Ansel Anderson to Vicki Daitch, January 30, 2002.
115. John Bardeen, talk given at memorial service for Bill McMillan, October 17, 1984, UIUC-A.
116. John Bardeen to W. L. McMillan, July 14, 1978, UIUC-A.
117. Bardeen family interview (1992).
118. Hess (1991).
119. Ludwig Tewordt to Vicki Daitch, February 10, 1994.
120. Hess (1991).
121. Elizabeth Bardeen Greytak, talk given at John Bardeen memorial service, February 8, 1991, BFC.
122. Tom Bardeen, personal communication with Vicki Daitch, May 1998.
123. Goldwasser (1992).
124. James Bardeen, talk given at John Bardeen memorial service, February 8, 1991, UIUC-A.

第十一章　破解超导性之谜

1. John Bardeen to Rudolf Peierls, July 17, 1951, Peierls Papers, Oxford.
2. Pines (1993).

3. John Bardeen handwritten notes, October 23, 1951, UIUC-A.
4. Schweber (1994); Brown and Hoddeson (1983), 311 - 375.
5. John Bardeen, "Talk on Superconductivity," 1951 unpublished notes, UIUC-A.
6. Hoddeson, et al. (1992), 534 - 535.
7. Hoddeson, et al. (1992), ch. 8.
8. Pines (1981).
9. Lee, Low, and Pines(1953).
10. Bardeen and Pines (1955).
11. John Bardeen (1956).
12. Ibid.
13. Schrieffer (1974).
14. Ibid. (1974).
15. Ibid. (1974).
16. Ibid. (1974).
17. Ibid. (1974).
18. Ibid. (1974).
19. John Bardeen (1973a).
20. Harvard Society of Fellows (1987).
21. Cooper (1987), 376.
22. Cooper (2000).
23. Cooper (2000); Cooper (1987), 376.
24. Cooper (2000).
25. Schrieffer (1974).
26. Ibid.
27. London (1950); Shoenberg (1952).
28. London (1950), esp. 142 - 155, quotes on p. 150.
29. Cooper (2000)..
30. Ibid.
31. Ibid.
32. Ibid.

33. Cooper (1987), 377.
34. Schrieffer (1974).
35. Cooper (1987), 377.
36. Cooper (2000).
37. Ibid.
38. Ibid.
39. Miller (1993).
40. Schrieffer (1992a).
41. Schrieffer (1974).
42. Ibid.
43. Ibid.
44. Cooper (2000).
45. Schrieffer (1974).
46. Ibid.
47. Ibid.
48. Bardeen, et al. (1957b).
49. Schrieffer (1974).
50. Ibid.
51. Ibid.
52. Cooper (2000).
53. Schrieffer (1974).
54. Ibid.
55. Ibid.
56. Schrieffer (1974).
57. Elizabeth Bardeen Greytak quoted in, Julie Wurth, "Nobel-winner awards go to UI," The *Champaign-Urbana News Gazette*, October 10, 1991, BFC; Bardeen family interview (1992); Handler (1993).
58. Jane Bardeen, notes on Nobel, 1956, BFC.
59. Ibid.
60. Jane Bardeen in Bardeen family interview (1992).
61. Handler (1993).

62. "Husband of Former Local Girl Nobel Prize Winner," *Washington Observer*, November 2, 1957.
63. Wigner to Bardeen, handwritten note on a memo from Wigner to Members of the Council of the APS, November 8, 1956, BFC.
64. John Van Vleck to John Bardeen, November 2, 1956, BFC.
65. Walter Osterhoudt to John Bardeen, March 5, 1957, BFC.
66. Lazarus (1992).
67. John Bardeen to E. J. W. Vewey, 29 November 1956, UIUC-A.
68. Feynman (1957). The conference was held from September 17 – 21, 1956.
69. Feyman quoted in Cooper (1987), 378.
70. Jane Bardeen, notes on Nobel, 1956, BFC.
71. Tommy von Foerster to Vicki Daitch, October 21, 1993, UIUC-A.
72. Schrieffer (1974).
73. Jane Bardeen, notes on Nobel, 1956, BFC.
74. Jane Bardeen (1993).
75. Seitz (2000).
76. Jane Bardeen, notes on Nobel, 1956, BFC. See also *Illini Week*, February 19, 1987.
77. P. Anderson (1992a).
78. Jane Bardeen (1993); Jane Bardeen, notes on Nobel, 1956, BFC.
79. W. Brattain (undated).
80. Ibid.
81. Jane Bardeen to the Maxwell family, December 5, 1956, BFC.
82. W. H. Brattain (undated).
83. Ibid.
84. Emmy Shockley, personal communication to Michael Riordan, May 16, 1996, cited in Riordan and Hoddeson (1997a), 328, note 244.
85. W. H. Brattain (undated).
86. Ibid.
87. Jane Bardeen to the Maxwell family, December 12, 1956, BFC.

88. W. H. Brattain (undated).
89. Jane Bardeen to the Maxwell family, December 5, 1956, BFC.
90. W. H. Brattain (undated). Also interview with Jane Bardeen for Champaign-Urbana's *The Courier*, December 31, 1975.
91. W. H. Brattain (undated).
92. Jane Bardeen to the Maxwells, December 12, 1956, BFC.
93. Ibid.
94. John Bardeen to Nick Holonyak, December 13, 1956, UIUC-A.
95. Nick Holonyak in remarks made at John Bardeen Memorial service, February 8, 1991; Holonyak (1991b).
96. Slichter (1992).
97. W. Bardeen (1995).
98. Bardeen family interview (1992).
99. Bray (1993b).
100. "Supercold Superprize," *The National Observer*, December 9, 1972, UIUC-P.
101. Edward Jordan to Jane Bardeen, n. d., BFC; Edward Jordan, "Introductory Comments," IEEE Student Section talk, undated.
102. James Bardeen in Bardeen family interview (1992).
103. Betsy Bardeen Greytak, Bardeen family interview (1992).
104. Schrieffer (1974).
105. Ibid.
106. Cooper (2000).
107. Schrieffer (1974).
108. Ibid.
109. Cooper (2000).
110. Schrieffer (1974).
111. Ibid.
112. Ibid.
113. Cooper (2000).
114. Schrieffer (1974).

115. Lazarus (1992).
116. Cooper (1987), 378.
117. John Bardeen to S. A. Goudsmit, February 15, 1957, UIUC-A.
118. Bardeen, Cooper, and Schrieffer (1957a).
119. Ibid.
120. Schrieffer (1974).
121. Ibid.
122. Charles Slichter, remarks at John Bardeen's memorial service, February 8, 1991.
123. Cooper (1987), 378.
124. Hoddeson, et al. (1992), 604, 606, refs 320 and 378.
125. Schrieffer (1974).
126. Ibid.
127. Herring and Herring (2000).
128. Bill Brattain to Jane Bardeen, February 13, 1991, BFC. "Dr. Brattain, Chatham, Dies," *Newark Evening News*, April 12, 1957.
129. Cooper (1987), 379.
130. Bardeen, Cooper, and Schrieffer (1957b).
131. A. B. Pippard to John Bardeen, September 11, 1957, UIUC-A.
132. John Bardeen to Jane Bardeen, September 1, 1957, BFC.
133. John Bardeen to Leon Cooper, September 19, 1957, UIUC-A.
134. Schrieffer (1974).
135. John Bardeen to A. B. Pippard, September 27, 1957, UIUC-A.
136. Anderson (1958a, 1958b); Pines and Schrieffer (1958).
137. John Bardeen to Philip Anderson, October 11, 1957, UIUC-A.
138. Nambu and Jona-Lasinio (1961); L. Brown, R. Brout, T. Y. Cao, Peter Higgs, and Y. Nambu, "Panel Session: Spontaneous Breaking of Symmetry," in Hoddeson, et al. (1997), 478 - 522.
139. Brown et al, panel on broken symmetry, in Hoddeson, et al. (1997).
140. Schrieffer (1974).
141. Robert Schrieffer remarks at John Bardeen's memorial service, Febru-

ary 8, 1991.

142. For the nuclear problem, see A. Bohr, B. R. Mottelson, and D. Pines (1958); A. B. Migdal (1959); and S. T. Belyaev (1959). For neutron stars, see Migdal (1959); Ginzburg and Kirzhnits (1964); and G. Baym, C. J. Pethick, and D. Pines (1969). For the superfluidity of ^{3}He, see Oscheroff, et al. (1972), and Leggett (1975).

143. Lazarus (1992).

第十二章　两个诺贝尔奖胜过一个一杆进洞

1. Bernard Serin, cited in personal communication from Enid Sichel to L. Hoddeson, May 8, 1998. The authors would like to thank Professor Sichel for sharing her recollection. According to the 1958 – 1959 University of Illinois Staff Directory, Serin's campus address was 416 Physics Laboratory, while Bardeen's was 307.
2. "Journal of Glenn T. Seaborg," Lawrence Berkeley Laboratory Technical Information Department, Berkeley, California.
3. Jane Bardeen to Dr. J. R. Maxwell and Beth Maxwell, May 13, 1962, BFC.
4. University of Illinois, Department of Physics (1980), 59.
5. Bray (1993b).
6. Frederick Lamb to L. Hoddeson, private communication, October 3, 2000.
7. Baym and Kadanoff (1962). Here gauge invariant means having the freedom to make certain formal changes in the electromagnetic potentials without changing the electric or magnetic fields.
8. The Landau-Ginzburg theory, the derivation of Landau-Ginzburg from BCS, and the Landau Fermi liquid theory were among the great projects of the Landau Institute during this period. See Hoddeson, et al. (1992), ch. 8, esp. 538 – 541, 558 – 572.
9. Baym (1992).
10. John Wheatley to John Bardeen, October 25, 1976. Hess (1991).

11. McDonald (2000 draft) and (2001). The authors are indebted to McDonald for sharing his research with us prior to its publication. See also McDonald and Kautz (1999). Among those interviewed by McDonald were Morrel Cohen, Pierre-Gilles de Gennes, William Little, Robert L. Powell, Geoffrey Sewell, and Harold Weinstock.
12. Walter A. Harrison to Vicki Daitch, November 14, 1993.
13. John Bardeen (1961).
14. Cohen, et al. (1962), 316 - 318.
15. John Bardeen (1962), 148 - 149.
16. P. Anderson (1970), 23.
17. Josephson (1974), 251.
18. McDonald (2001), 48.
19. Josephson (1974), 251.
20. Ibid., 252.
21. P. Anderson (1970), 23 - 24.
22. Josephson (1974), 252.
23. P. Anderson (1970), 23 - 24. Josephson's classic paper is Josephson (1962).
24. John Bardeen (1962), 148 - 149.
25. Derek Martin, private communication to Donald G. McDonald, cited in McDonald (2000).
26. Ivar Giaever, private communication to Donald G. McDonald, cited in McDonald (2000).
27. McDonald (2001), 49 - 50.
28. Wolfgang Klose to Vicki Daitch, July 11, 1995, UIUC-A.
29. Brian Josephson, cited in McDonald (2001), 50.
30. Anderson and Rowell (1963); Rowell (1963).
31. John Bardeen to Philip Anderson, February 26, 1963, UIUC-A.
32. Shapiro(1963), 82.
33. Josephson (1966).
34. Robert Schrieffer, remarks made at John Bardeen's memorial service,

February 8, 1991.

35. John Bardeen to A. Abrikosov, L. Gor'kov, and I. Khalatnikov, June 4, 1968, UIUC-A.
36. Makoto Kikuchi to John Bardeen, May 18, 1976; Bardeen to Kikuchi, May 25, 1976; George Hatoyama to John Bardeen, June 4, 1976; Bardeen to Hatoyama, June 7, 1968, UIUC-A.
37. Bray (1993b).
38. John Bardeen to George Hatoyama, December 18, 1985, UIUC-A.
39. Bray (1993a).
40. Bray (1993a, 1993b).
41. Salamon (2000).
42. Bray (1993b).
43. Ibid. Bray's thesis was titled "Fluctuation Conductivity from Charge Density Waves in Pseudo-one-dimensional Systems." David William Allender's thesis was titled "Model for an Exciton Mechanism of Superconductivity, in Planar Geometry."
44. Baym (1992).
45. Ibid.
46. Ibid. The reference was to Bardeen and Schrieffer (1961). **B** and **H** are discussed on page 188.
47. Baym (1992).
48. Frederick Lamb, private communication to L. Hoddeson, October 2, 2000.
49. John Bardeen to C. Kittel, November 28, 1967.
50. C. Kittel to F. Seitz, December 19, 1967.
51. Slichter (1995).
52. John Bardeen to Nobel Committee for Physics of the Royal Academy of Sciences, January 27, 1967, UIUC-A.
53. Ibid.; John Bardeen to the Nobel Committee for Physics of the Royal Academy of Sciences, January 4, 1971, and January 25, 1973; A. B. Pippard to John Bardeen, January 3, 1973; John Bardeen to A. B.

Pippard, February 15, 1973, UIUC-A.

54. Slichter (1995).
55. "Bardeen Physicists Galore," *Chicago Tribune*, October 21, 1972, clipping in John Bardeen file, UIUC-P.
56. John Bardeen (1973b); John Bardeen to Robert L. Weber, January 12, 1979.
57. *Champaign-Urbana News Gazette*, October 20, 1972, clipping in UIUC-P.
58. Pines and Slichter (1972).
59. Simon (1973).
60. Paula Peters (1972).
61. Simon (1973).
62. Nick Holonyak, private communication to L. Hoddeson, February 4, 2001.
63. Walter Brattain to John Bardeen, October 30, 1972, UIUC-A.
64. John Bardeen to W. Brattain, November 7, 1972, UIUC-A.
65. George A. Russell, president, Champaign Country Club to John Bardeen, November 17, 1972, UIUC-A.
66. Letter to the editor by John Smetana, Urbana, Illinois, no name of newspaper listed, n. d., clipping in UIUC-P.
67. Shannon, Illinois, eighth grade class, to John Bardeen, October 27, 1972, UIUC-A.
68. Sister Rita Michael Aguillard to John Bardeen, November 21, 1972, UIUC-A.
69. John Bardeen to Sister Rita Michael Aquillard, December 28, 1972, UIUC-A.
70. Jane Bardeen to Betty Maxwell, November 24, 1972, BFC.
71. Jane Bardeen, notes on "Nobel Journey 1972," BFC.
72. John Bardeen to Aage Bohr, November 7, 1972; Jane Bardeen, notes on "Nobel Journey 1972," BFC.
73. Jane Bardeen, notes on "Nobel Journey 1972," BFC.

74. "Bardeen Compares Nobel Trips," *The Courier*, *Champaign- Urbana*, December 21, 1972.
75. Typed mailing list and card in BFC.
76. John Bardeen to Carl G. Vernersson, December 28, 1972. See also Carl Vernersson to John Bardeen, November 20, 1972, UIUC-P. Three years later Bardeen and other Nobel Prize winners would return to Stockholm for a grand celebration of the seventy-fifth anniversary of the Nobel Prize.
77. John Bardeen to Olli v. Lounsasmaa, November 8, 1972, UIUC-A.
78. Jim Fisk to John Bardeen, November 22, 1972.
79. H. B. Groh, president, Wisconsin Telephone Company to John Bardeen, December 12, 1972, UIUC-A.
80. John Bardeen to H. B. Groh, January 3, 1973, UIUC-A.
81. Bray (1993a); Goldwasser (1992).
82. Jim Phillips to John Bardeen, September 11, 1972; John Bardeen to Jim Phillips, September 26, 1972, UIUC-A.
83. Bray (1993a); Phillips (1972); Allendar, et al. (1973).
84. Bray (1993a).
85. John Bardeen to Samuel Goudsmit, January 5, 1973, UIUC-A.
86. Samuel Goudsmit to John Bardeen, January 25, 1973, UIUC-A.
87. Hess (1991).
88. Allender, et al. (1973); P. Anderson (1992); Inkson and Anderson (1973).
89. P. Anderson (1992).
90. Bray (1993a).
91. Allender (1993).
92. Werstler and Werstler (1992).
93. Graham (1990), xviii.
94. Graham (1990), 16.
95. Bray (1993b).
96. Coleman (1992).

97. Ibid.
98. Werstler (1992).
99. Robert Kabel to Vicki Daitch, December 20, 1993, UIUC-A.
100. Werstler (1992).
101. The authors would like to thank Robert Kabel for sharing the card with us. Robert Kabel to Vicki Daitch, October 25, 1993.
102. Robert Kabel used the word "ordinary" to describe Bardeen, as did another member of the golfing community: attorney Art Lerner. Art Lerner private communication to L. Hoddeson, c. March, 1992.
103. Cited in Simon (1973).
104. Coleman (1992).
105. Drickamer (1992).
106. Bhatt (1992). Bhatt's thesis was titled "Electronic Instabilities and the Martensitic Transition in A-15 Compounds" (1976).
107. Bhatt (1992).
108. R. O. Simmons to P. Handler, N. Holonyak, and D. Pines, January 27, 1975, UIUC-P.
109. "Symposium on Frontiers in Condensed Matter Physics to Honor Professor John Bardeen," October 15, 1976, dinner menu, UIUC-A.
110. J. Miller (1993); Pines (1993).
111. Young (1972).
112. A. Anderson (1992); Baym (1992). Frederick Lamb, private communication to L. Hoddeson, October 3, 2000. Baym traces Bardeen's new talkativeness to the receipt of his second Nobel Prize.

第十三章　涉足产业

1. This chapter draws on material prepared in 1992 by Fernando Irving Elichirigoity and on a University of Illinois senior thesis by Andrew Dribin, "John Bardeen and Xerox: Bridging the Gap between Science and the Empirical Art." Dribin (1997). The authors are grateful to both Elichirigoity and Dribin for their contributions.

2. Hess (1991).
3. "John Bardeen to retire," *The Daily Illini*, February 14, 1975, UIUC-P.
4. Leonard (1992).
5. Gallo to the editor, *Physics Today*, April 1992, 15.
6. Harold Clark, "The Early Association of John Bardeen with the Haloid Company," unpublished manuscript. The authors would like to thank Erik Pell for generously sharing this document with us.
7. Dessauer (1971), 9. Wilson was the grandson of one of Haloid's four founders. Except where indicated, our story of the early years of Xerox comes from Dessauer's book.
8. R. Radnai, and R. Kunflavi, *Physics in Budapest* (Amsterdam: North Holland, 1988), 64, cited in Dribin(1997), 78.
9. Dessauer (1971).
10. Ibid. Carlson remained involved and later raised the money to buy back some of his own rights in electrophotography.
11. Harold Clark, "The Early Association of John Bardeen with the Haloid Company," unpublished manuscript.
12. Bardeen's file in PRIN contains a form letter dated December 11, 1935, explaining that "it will be necessary for the candidate to file two copies of his dissertation in the office of the Graduate School."
13. Joseph R. Wilson, quoted in the *Rochester Democrat and Chronicle*, September 25, 1960, BFC.
14. Peter Bart, "Advertising: TV Series on U. N. Stirs Debate," *The New York Times*, April 10, 1964.
15. John's Bardeen's lecture to the Ministry of Science and Higher Education in Tehran, Iran, cited in Dribin (1997), 17.
16. *Fortune* magazine, quote cited in *International Dictionary of Company Histories* (Chicago: St. James Press, 1991).
17. Patent 3041166, "Xerographic Plate and Method," February 12, 1958, UIUC-A; Pell (1995).
18. Dessauer and Pell (1992).

19. J. D. Wright to Morton Weir, February 1, 1991, BFC.
20. Charles B. Duke to A. C. Anderson, March 21, 1991. Copy provided to the authors by C. B. Duke.
21. John Bardeen to G. E. Pake, Report of visit to Webster, New York, November 29 – December 1, 1978 with TAP, UIUC-A.
22. John Bardeen (c. 1968).
23. John Bardeen to Dr. N. B. Hannay, vice-president, Bell Laboratories, March 8, 1973, BFC. The term "bean counters" appears to have been widely used among Xerox's technical staff to deride executives whose efforts to savemoney undermined the company's long-term investment in research and development. Pell (1995); Smith and Alexander(1988), 162.
24. John Bardeen (c. 1968); John Bardeen (1965a), 65.
25. John Bardeen (c. 1968).
26. John Bardeen (1965a), 56 – 57.
27. John Bardeen (c. 1968).
28. John Bardeen (1965a). See also John Bardeen to B. D. Thomas, September 18, 1964; John Bardeen to Jerome Weisner, September 18, 1964; John Bardeen to John Dessauer, February 1958, UIUC-A.
29. The industrial laboratories (the "cat") would never consume all the interesting scientific problems of solid-state physics (the "cream"), as there would be a constant flow of new ones. John Bardeen (1965a), 68; Pippard (1961), 38.
30. John Bardeen (c. 1968).
31. John Bardeen (c. 1968).
32. Joe Wilson to John Bardeen, February 23, 1961, UIUC-A; Lewis (1991).
33. John Bardeen to John Dessauer, October 6, 1961, UIUC-A.
34. Charles Duke to Ansel Anderson, March 21, 1991.
35. Goldman (2000).
36. Hiltzik (1999), 56.

37. Goldman (2000); Hiltzik (1999), 56 – 57.
38. Smith and Alexander (1988), 14.
39. Jack Goldman, quoted in Smith and Alexander (1988), 163.
40. John Bardeen to C. Peter McColough, May 14, 1973, UIUC-A.
41. Ibid.
42. Archie McCardell to John Bardeen, May 22, 1973, UIUC-A.
43. Smith and Alexander (1988), ch. 14.
44. John Bardeen to George Pake, December 18, 1980, UIUC-A.
45. John Bardeen to John Dessauer, January 2, 1976, UIUC-A.
46. Holonyak (2001).
47. John Bardeen to A. H. Markham, June 30, 1961. See also John Fisher to John Bardeen, July 29, 1959; John Bardeen to John Fisher, August 28, 1959, UIUC-A.
48. Pao (1994). Information on Supertex is from *Corporate Technology Directory*, 1989 edition.
49. Pao (1994).
50. Ibid.
51. "Sony gift honors Nobel laureate," *Champaign-Urbana News-Gazette*, October 6, 1989.
52. Mikoto Kikuchi to Jane Bardeen, February 26, 1993, BFC.
53. Nakajima (1993).
54. John Bardeen, "Plans for an Industrial Research Visitor's Program," lecture given at Industry-University Research Forum, April 18, 1963, UIUC-A.
55. John Bardeen to John A. Kennedy, Illinois Governor's Office, July 24, 1964, UIUC-A.
56. Coleman (1992).
57. Ibid.
58. Charles Gallo to John Bardeen, January 30, 1986, UIUC-A.
59. Coleman (1992). John Bardeen, "Comments on Industry-University Interactions," enclosed in a letter to Floyd Ingersoll, Illinois Founda-

tion Seeds, Inc., September 30, 1982.

第十四章　科学的公民

1. Bardeen (1960). Illinois State Normal University, May 1960, UIUC-A.
2. Ibid.; Hoxie (1990).
3. Bardeen (1960); see also Rigden (1987), 247 - 250. Rabi was an important participant in the creation of PSAC.
4. Slichter (1995).
5. Ibid.; Press release and typed copy of talk by John Bardeen at Illinois State Normal University, May 1960, UIUC-A.
6. John Bardeen to Earl G. Droessler, March 10, 1961, UIUC-A.
7. John Bardeen to Jerome Wiesner, March 10, 1961, UIUC-A.
8. John Bardeen to George B. Kistiakowsky, May 31, 1960, UIUC-A.
9. Bardeen (1960).
10. John Bardeen to Robert E. Green, August 5, 1963, UIUC-A.
11. Seaborg (1995). See also White House press release, February 28, 1959, in Bardeen personnel file, USOPM.
12. Slichter (1995).
13. John Bardeen to President Dwight D. Eisenhower, January 27, 1961, UIUC-A.
14. The authors would like to thank Glenn T. Seaborg for sending us his "National Service with Ten Presidents of the United States" Seaborg (n. d.).
15. Rigden (1987), 250 - 251.
16. John Bardeen to President John F. Kennedy, January 21, 1963, UIUC-A.
17. Harvey Brooks, President's Science Advisory Committee, memo, "Issues on Research and Development in the Federal Government," n. d., UIUC-A.
18. John Bardeen to G. B. Kistiakowsky, October 7, 1959, UIUC-A. Bardeen also told Kistiakowsky that he was on the Executive Committee

of the Graduate College at Illinois and that he had "participated in study groups on engineering education."

19. Harvey Brooks, "Issues on Research and Development in the Federal Government," UIUC-A.
20. John Bardeen to the Hon. Emilio Q. Daddario, House of Representatives, Washington, D. C., March 20, 1970.
21. Glenn T. Seaborg, "Journal of Glenn T. Seaborg," Lawrence Berkeley Laboratory Technical Information Department, n. d. The authors thank Glenn Seaborg for generously sharing these documents with us.
22. John Bardeen, notes on PSAC memo, "Jobs to be Done on the Basis of the Kistiakowsky Paper," UIUC-A.
23. John Bardeen to I. I. Rabi, November 18, 1960, UIUC-A.
24. USOPM, Official Personnel Folder on John Bardeen.
25. Charles Piozet, Special Assistant to the Chief of Industrial Relations, Department of the Navy to John Bardeen, October 31, 1952, Bardeen personnel file, USOPM.
26. Notifications of Personnel Action dated June 26, 1952, and June 26, 1953, *John Bardeen personnel file*, USOPM; *Alan T. Waterman*, Director NSF to John Bardeen, June 2, 1952; John Bardeen to Alan T. Waterman, June 24, 1952, John Bardeen personnel file, USOPM.
27. John Bardeen personnel files, USOPM. Others on the Special Commission on Weather Modification included Adrian R. Chamberlain, Qilliam G. Colman, John C. Dreier, Leoni Hurwicz, Thomas F. Malone, Arthur W. Murphy, Sumner T. Pike, William S. Von Arx, Gilbert F. White, and Karl M. Wilbur, according to the list in Bardeen's government personnel file.
28. President Lyndon B. Johnson to John Bardeen, July 23, 1965; John Bardeen to Alfred C. Marmor, President's Commission on the Patent System, July 29, 1965; Lawrence Fleming to John Bardeen, August 29, 1966; John Bardeen to Alfred C. Marmor, comments on draft of committee report, August 29, 1966, UIUC-A.

29. John Bardeen to Alfred C. Marmor, August 29, 1966, UIUC-A.
30. John Bardeen to Alfred C. Marmor, President's Commission on the Patent System, September 29, 1966 and October 17, 1966, UIUC-A.
31. Vincent J. Higgins to John Bardeen, January 9, 1979, UIUC-A.
32. Robertson (1974); Jack Allen to David Pines, April 28, 1992, UIUC-A.
33. Jane Bardeen (1994).
34. Jane Bardeen to Betty Maxwell, July 12, 1967, BFC.
35. John Bardeen to John Dessauer, July 25, 1967, UIUC-A.
36. Jack Allen to Vicki Daitch, October 6, 1993; John Bardeen to John Dessauer, July 25, 1967, UIUC-A.
37. Jack Allen to Vicki Daitch, October 6, 1993; Enid Sichel to L. Hoddeson, May 9, 1998, UIUC-A.
38. Jack Allen to Vicki Daitch, October 6, 1993, UIUC-A.
39. John Bardeen to T. Suguwara, February 24, 1971, UIUC-A.
40. John Bardeen to T. Suguwara, February 24, 1971, UIUC-A; "Washington Pulls Plug on 4 Helium Contracts After a Year of Talks," *Wall Street Journal*, February 1, 1971, UIUC-A.
41. Jack Allen to Vicki Daitch, October 6, 1993, UIUC-A.
42. John Bardeen to Hugh Odishaw, National Academy of Sciences, Washington, D. C., December 8, 1970, UIUC-A.
43. Jack Allen to Vicki Daitch, October 6, 1993, UIUC-A.
44. John Bardeen to Charles Laverick, August 30, 1974, UIUC-A.
45. John Bardeen (1973b).
46. Hackett (1989).
47. James W. Riddleberger, Population Crisis Committee, Washington, D. C., to John Bardeen, June 12, 1970; John Bardeen to James W. Riddleberger, July 16, 1970, UIUC-A.
48. "John Bardeen: Quiet Brilliance," *Champaign-Urbana News Gazette*, January 9, 1981.
49. Betsy Bardeen, private communication to Vicki Daitch, October 1994.

50. Conyers Herring, "On the Wisdom of Cancelling a Meeting in a 'Disapproved' City," draft of statement to the American Physical Society, UIUC-A.
51. John Bardeen to Elliott Lieb, MIT, November 5, 1968; Jay Orear to John Bardeen, President, American Physical Society, 29 October 1968; John Bardeen to Richard J. Daley, Mayor of Chicago, October 17, 1968; W. W. Havens to John Bardeen, November 14, 1968, UIUC-A; Drickamer (1992).
52. John Bardeen to William C. H. Joiner, November 20, 1968, UIUC-A.
53. Drickamer (1992).
54. John Bardeen to Reiner Kummel, January 17, 1969, UIUC-A.
55. Jack Allen to Vicki Daitch, November 15, 1993, UIUC-A.
56. John Bardeen to Dr. T. Sugawara, General Secretary, Twelfth International Conference on Low Temperature Physics, Tokyo, Japan, March 26, 1970, UIUC-A.
57. The military laboratories represented included the U. S. Naval Research Lab and the Royal Military College of Canada. John Bardeen to Dr. T. Sugawara, June 1, 1970; John Bardeen to Jack Allen, St. Andrews, Scotland, July 7, 1970, UIUC-A.
58. John Bardeen to Dr. T. Sugawara, June 1, 1970 and June 11, 1970, UIUC-A.
59. John Bardeen to Jack Allen, July 7, 1970, UIUC-A.
60. John Bardeen to Jack Allen, July 27, 1970, UIUC-A.
61. Jack Allen to Vicki Daitch, November 15, 1993, UIUC-A.
62. John Bardeen to Dr. J. So'lyom, Central Research Institute for Physics, Budapest, Hungary, August 13, 1976, UIUC-A.
63. John Bardeen to Senator Thomas C. Hennings, Jr., April 22, 1959, UIUC-A.
64. John Bardeen to Thomas H. Johnson, March 24, 1982, UIUC-A.
65. Jane Bardeen to Betty Maxwell, March 27, 1974, BFC.
66. John Bardeen to John D. Hoffman, March 8, 1973, UIUC-A.

67. Ibid.
68. B. L. R. Smith (1990), 3 - 4.
69. Keyworth (2000).
70. Slichter (1992).
71. Keyworth (2000).
72. Marshall (1985).
73. John Bardeen to James G. Ling, November 24, 1982. The WHSC Federal Laboratory Review Panel consisted of Bardeen, David Packard (chair), James G. Ling (executive secretary), Mrs. Mirth-Trier Lethi (policy analyst), D. Allan Bromley, Donald S. Fredrickson, Arthur K. Kerman, Edward Teller, and Albert D. Wheelon. "Report of the White House Science Council," Appendix A, May 1983, UIUC-A.
74. John Bardeen (1986a); Marshall (1985).
75. Slichter (1992).
76. Goldwasser (1992).
77. John Bardeen to George Keyworth, April 11, 1983, UIUC-A.
78. Ibid.
79. John Bardeen to Eugene P. Goldberg, Professor, Materials Science and Pharmacology, Director, Biomedical Engineering Center, University of Florida, Gainsville, February 12, 1986, UIUC-A. Draft 4 of letter on Marshall's (1985) article states Bardeen's point of view is more bluntly. John Bardeen, letter in regard to Marshall's article on Keyworth's resignation, Draft 4, December 23, 1985, UIUC-A.
80. John Bardeen (1986b).
81. Ibid.; John Bardeen to George J. Keyworth, Office of Science and Technology Policy, White House, Washington, D. C., April 11, 1983, UIUC-A.
82. A. Anderson (1992).
83. Lazarus (1992).
84. John Bardeen to Hans A. Bethe, February 3, 1986, UIUC-A.
85. Ibid.

86. Hans Bethe to John Bardeen, April 9, 1986, UIUC-A; John Bardeen to Hans Bethe, April 18, 1986, UIUC-A; Hans A. Bethe and John Bardeen, "Back to Science Advisors," *New York Times*, Op-Ed page, May 17, 1986. Bethe and Gottfried were members of the Union of Concerned Scientists. Bardeen published a number of editorials in addition to the one with Bethe. See, for example, John Bardeen (1986a), 203, 231.
87. Bethe and Bardeen (1986); also Herken (1992).
88. John Bardeen to Professor Joseph A. Burton, the Arms Control Association, Washington, D. C., April 21, 1986, 7-22, UIUC-A.
89. Bardeen (1986b).
90. Goldwasser(1992).
91. Betsy Bardeen Greytak, private communication to Vicki Daitch, October 1994.
92. Bardeen to Peace Research Institute, October 27, 1962, BFC. Also, Peace Research Institute to John Bardeen, October 26, 1962.
93. Paul Cornil, European Committee on Crime Problems, to John Bardeen, January 20, 1965, UIUC-A.
94. John Bardeen to Paul Cornil, March 5, 1965, UIUC-A.
95. John Bardeen to Pierre-Frantz Chapou, February 26, 1981, UIUC-A.
96. Bray (1993a).
97. Jane Bardeen (1993).
98. Ibid.
99. Ibid. "The Urban League of Champaign County, Inc.: Building Toward Equality," brochure, n. d.
100. Ibid.
101. Hess (1991).
102. Bardeen's comments written by hand on a draft of Karen Fitzgerald's obituary of William Shockley for the *IEEE Spectrum*, UIUC-A.
103. Flyer produced by Scientists and Engineers for Johnson/Humphrey, UIUC-A.
104. Illinois Scientists and Engineers for Johnson/Humphrey, "Statement

of Principles," October 6, 1964, UIUC-A.

105. Ibid.

106. Cameron B. Satterthwaite to members, Scientists and Engineers for Johnson/Humphrey, Champaign-Urbana Chapter, December 22, 1964, UIUC-A.

107. C. J. Chang to Vicki Daitch, November 21, 2001.

108. John Bardeen to E. L. Goldwasser, October 21, 1981, UIUC-A; Goldwasser (1992); C. J. Chang to Vicki Daitch, November 21, 2001.

109. "Prof. Bardeen—Research Top Priority," *Technograph*, October 1972, UIUC-P.

110. John Bardeen to Gerald Almy, April 25, 1966, UIUC-A.

111. Goldwasser (1992).

112. "Marjorie Bardeen Named 'Outstanding Woman Leader,'" *Fermi-News*, April 21, 1989, BFC.

113. "Panel Shifts Approach on Natural Science," *The Christian Science Monitor*, May 28, 1958.

114. John Bardeen to G. B. Kistiakowsky, May 31, 1960; David Z. Beckler to John Bardeen, June 7, 1960, the Dwight D. Eisenhower Library, PSAC Records, Series III, Box 6, Correspondence B folder.

115. John Bardeen to James Bardeen, September 6, 1960; John Bardeen to Jane Bardeen, September 7, 1960, BFC.

116. John Bardeen to Jane Bardeen, September 10, 1960, BFC.

117. John Bardeen, "Report on Trip to Prague and the Soviet Union, August 2S – September 25," UIUC-A.

118. Abrikosov (1993); John Bardeen to Lawrence C. Mitchell, Staff Director, Section on USSR and Eastern Europe, National Academy of Sciences, Washington, D. C., September 26; 1969, UIUC-A.

119. John Bardeen, handwritten notes, n. d., UIUC-A.

120. John Bardeen to Jane Bardeen, December 1, 1963, and December 5, 1963, BFC.

121. John Bardeen and David Pines, "Report of Trip to Moscow to Attend

a Conference on Solid State Theory, December 1 – 12, 1963," UIUC-A.
122. Lev Gor' kov to David Pines, February 6, 1991, BFC.
123. John Bardeen to G. I. Marchyuk, July 6, 1988, UIUC-A.
124. John Bardeen to A. P. Alexandrov, President, and C. R. Skriabin, Secretary, USSR Academy of Sciences, Moscow, October 1, 1982, UIUC-A.
125. John Bardeen to Jane Bardeen, September 12, 1975, BFC.
126. John Bardeen to Jane Bardeen, September 25, 1975, BFC.
127. Samuel C. Chu to Vicki Daitch, December 21, 1991.
128. John Bardeen to Jane Bardeen, September 25, 1975, BFC.
129. Jane Bardeen to John Bardeen, September 25, 1975, UIUC-A.
130. John Bardeen's Summary Report of Visit to Peoples Republic of China as Exchange Lecturer, April 30-May 30, 1980, UIUC-A.
131. Ibid.
132. "Bardeen Calls for a New Style of Life," *Delhi Statesman*, January 11, 1977, BFC.
133. John Bardeen to Robert N. Noyce, April 10, 1980, UIUC-A.
134. Hoddeson, et al. (1992).
135. John Bardeen to Elizabeth Ante'bi', *Editions Hologramme*, Neuilly-sur-Seine, France, June 2, 1982, UIUC-A, C – 13, C – 81.
136. Bardeen to J. David Ross, December 29, 1972. Jane, too, was generous, donating funds to provide for a $10,000 endowment over time to the Citizens Library in Washington, Pennsylvania, in memory of her mother, Elizabeth Patterson Maxwell.
137. "Nobel Prize-Winner Establishes Duke Physics Research Fund," *Chapel Hill Newspaper*, March 29, 1973, 8, BFC.
138. Edith London to John Bardeen, 13 April 1973. UIUC-A.
139. John Bardeen to Edith London, May 21, 1973, UIUC-A.
140. See Riordan, et al. (forthcoming).
141. Goldwasser (1992).
142. John Bardeen and Robert Schrieffer, "Response to *New York Times*

article of April 28, 1987," (Editorial, "Super Hasty on the Super Collider," *New York Times*, April 28, 1987), draft, May 6, 1987, published May 14, 1987, UIUC-A.

143. John Bardeen to Jane Bardeen, June 7, 1958, BFC.
144. John Bardeen to Jane Bardeen, May 30, 1958, BFC.
145. John Bardeen to Jane Bardeen, October 5, 1978, BFC.
146. John Bardeen to Jane Bardeen, October 11, 1978, BFC.
147. John Bardeen to Jane Bardeen, June 15, 1958, BFC.
148. Douglas Scalapino to Jane Bardeen, February 28, 1991; Woodward (1979).
149. Bill Bardeen to John Bardeen, November 22, 1970, BFC.
150. Betsy Bardeen Greytak, private communication to Vicki Daitch.
151. John Bardeen to Jane Bardeen, September 2, 1975, BFC.
152. John Bardeen to Jane Bardeen, August 27, 1960, BFC.
153. John Bardeen to Jane Bardeen, September 2, 1975, BFC.
154. "C-U Awaits Relief from Blizzard," *Champaign-Urbana Courier*, January 27, 1978.
155. "Blizzard Traps Bardeens on I-57," *Illinois Alumni News*, March 1978, UIUC-P.
156. Alfred L. Haffner, Jr., to John Bardeen, January 28, 1974, UIUC-A.
157. "John Bardeen Among 21 to Get Medal of Freedom," *Champaign-Urbana News-Gazette*, January 2, 1977, BFC.
158. "Prize-Winning Professor Awarded Key to City from Champaign Mayor," *Daily Illini*, October 4, 1989.

第十五章　钉扎、针和波

1. The authors are grateful to Joseph Tillman for allowing this discussion of Bardeen's work on charge density waves to draw freely on his 1995 senior thesis at the University of Illinois.
2. Tennyson (1987), 11 – 12.
3. Csikszentmihalyi (1996), 211 – 212.

4. Brown and Grüner (1994), 51 - 56.
5. Peierls (1930); (1964), 108 - 112.
6. The ground states of both are described as a coherent superposition of pairs—pairs of electrons in superconductivity and electron-hole pairs in the CDW case. Fröhlich (1954), 296. Campell (1998).
7. P. Monceau, et al. (1976).
8. Bardeen (1990a).
9. Thorne (1996), 42.
10. John Bardeen (1980a); John Bardeen to Joel Moses, March 3, 1987.
11. Tucker, et al. (1982), 25.
12. Grüner (2000).
13. Most of the references to the classical model are from Grüner (1983), 183 - 197.
14. The visit appears to have occurred on November 11, 1974. John Bardeen to Ivan Getting, October 29, 1974.
15. Tucker (1995).
16. Tucker (1995).
17. Ibid.
18. J. Miller (1993).
19. Tucker (1995).
20. Tucker (1995).
21. Bardeen to P. Monceau, February 3, 1982.
22. Grüner (2000).
23. Salamon (2000).
24. Grüner (2000).
25. Seeger had been one of the early workers to study TTF-TCNQ. John Bardeen (1987); Karlheinz Seeger to Vicki Daitch and Lillian Hoddeson, September 21, 1995. The authors are grateful to Seeger for contributing much information about his work on CDWs with Bardeen.
26. McMillan (1995).
27. John Bardeen (1985).

28. John Bardeen to the editors of *Physical Review Letters*, May 21, 1985.
29. Tucker (1995). See also Bray (1993a).
30. Lyding (2000).
31. Ibid.
32. Zawadowsky (1998).
33. Leonard (1992); Tucker(1995); Zawadowsky (1998).
34. Frederick Lamb, priv. comm to Hoddeson, October 2, 2000.
35. Douglas Scalapino to Vicki Daitch, December 10, 1991.
36. Tucker (1995).
37. Lyding (2000).
38. A. B. Pippard to L. Hoddeson, summer 1987.
39. Salamon (2000).
40. Salamon (2000); Salamon and Bardeen (1987).
41. Salamon (2000).
42. Ibid.
43. John Bardeen to H. Takayama and H. Matsukawa, May 29, 1987.
44. Holonyak (1993a).
45. John Tucker to John Bardeen, dated November 8, 1987, sent May 5, 1988.
46. John Tucker to John Bardeen, October 23, 1987.
47. John Tucker to L. Hoddeson, March 17, 2001.
48. Salamon (2000).
49. Tucker (1995).
50. J. Miller (1993).
51. Holonyak (1998a).
52. Karlheinz Seeger to Vicki Daitch and Lillian Hoddeson, September 21, 1995.
53. Robert Thorne to John Bardeen, October 8, 1987.
54. Lyding (2000).
55. Lyding (2000).
56. Ibid.

57. John Bardeen to John Tucker, October 24, 1987.
58. Lyding (2000).
59. Ibid.; and Lyding's personal notes from the period.
60. John Bardeen to John Tucker, November 6, 1987, UIUC-A.
61. John Tucker to John Bardeen, dated November 8, 1987, sent May 5, 1988.
62. John Bardeen to John Tucker, November 13, 1987.
63. John Tucker to John Bardeen, November 13, 1987.
64. John Bardeen to John Tucker, November 23, 1987.
65. John Tucker to John Bardeen, November 25, 1987.
66. John Bardeen to NSF, January 4, 1988.
67. Lyding (2000).
68. John Bardeen to John Tucker, January 5, 1988.
69. John Bardeen (1989a).
70. Bhatt (1992).
71. John Bardeen (1989a).
72. John Bardeen to Gene L. Wells, April 18, 1989.
73. Nick Holonyak to L. Hoddeson, February 3, 2001.
74. John Bardeen (1990).
75. Betsy Greytak (2000a); John Bardeen (1990b).
76. See e. g., J. Miller (1993).
77. Lazarus (1992).
78. Csikszentmihalyi argues that such people are not workaholics. "For most of them work is not a way to avoid a full life, but rather is what makes a life full." Csikszentmihalyi (1996), 224.
79. Tucker (1995).

第十六章　最后的旅程

1. Nick Holonyak private communication to L. Hoddeson, February 4, 2001.
2. John Bardeen (1990a).

3. Holonyak, quoted in John Bardeen (1990a).
4. John Bardeen (1990a). Bardeen is referring to his patent 2, 524, 033 (October 2, 1950) filed on February 26, 1948, prior to the Bardeen and Brattain transistor patent, 2, 524, 035, which was filed on June 17, 1948.
5. John Bardeen (1990a).
6. Peterson (1981). For a detailed account of Shockley's arguments, including documents prepared by Shockley, see Pearson (1992).
7. John Bardeen to Eric Weiss, September 6, 1989, UIUC-A.
8. William Shockley, "Sperm Banks and Dark-Ages Dogmatism," Position paper presented at the Rotary Club of Chico, California, April 16, 1980, 227; "Interview with William Shockley," *Playboy*, August 1980, both from Pearson (1992).
9. Holonyak (1998a).
10. John Bardeen (1994), 81.
11. *Illini Week*, undated and untitled clipping, UIUC-P.
12. Holonyak (1998b).
13. John Bardeen (1988).
14. John Bardeen to Whitman College, Walla Walla, Washington, Walter H. Brattain Lectureship, November 11, 1987, UIUC-A.
15. Greytak (2000a).
16. Pines (1993).
17. Holonyak (1998b); Greytak (2000b).
18. George Hatoyama to John Bardeen, October 1, 1990, BFC.
19. Werstler (1992).
20. Greytak (2000b).
21. Holonyak (1998b).
22. "Professor Among 'Most Influential' Americans," *The Daily Illini*, September 6, 1990.
23. John Bardeen (1990b).
24. J. McMillan (1995).

25. Holonyak (1998b).
26. Greytak (2000b).
27. Andrew Greytak, January 12, 1990, BFC.
28. Holonyak (1998a).
29. Sugarbaker (2001).
30. Ibid.
31. Sugarbaker (2001).
32. Ibid.
33. Ibid.
34. Ibid.
35. *Inside Illinois* 10, (February 7, 1991), 10.
36. Statements by William Bardeen in "John Bardeen Memorial," *Illini Union*, February 8, 1991.
37. Statements by William Bardeen in "John Bardeen Memorial," *Illini Union*, February 8, 1991.
38. Statements by James Bardeen in "John Bardeen Memorial," *Illini Union*, February 8, 1991.
39. Statements by Elizabeth Bardeen Greytak in "John Bardeen Memorial," *Illini Union*, February 8, 1991.
40. Statements by David Pines in "John Bardeen Memorial," *Illini Union*, 8 February 1991.
41. Ibid.
42. Statements by Nick Holonyak in "John Bardeen Memorial," *Illini Union*, 8 February 1991.
43. Statements by Charles Slichter in "John Bardeen Memorial," *Illini Union*, 8 February 1991.
44. Statements by Robert Schrieffer in "John Bardeen Memorial," *Illini Union*, 8 February 1991.
45. Burtis (1995); Werstler (1992).
46. Fred Seitz to Jane Bardeen, March 6, 1991, BFC.
47. Seitz (2001).

48. Walter Osterhoudt to Jane Bardeen, February 4, 1991, BFC.
49. John Tucker to Jane Bardeen, February 1991, BFC.
50. Gretchen Osterhoudt to Jane Bardeen, May 11, 1994, BFC.
51. Norma Marder, "Mama's Stroke, a memoir," forthcoming.
52. Jane Bardeen to Betty Maxwell, March 27, 1974, BFC.
53. William Bardeen, private communication to Lillian Hoddeson, December 2000.

第十七章 后记:真正的天才及其培养

1. Much of the material in this epilogue is based on Hoddeson (2001).
2. For a brief historical overview of the field, see R. S. Albert and Mark A. Runco (1999).
3. A large number of the references can be found in Amabile (1996); Boden (1996); Csikszentmihalyi (1996); Gardner (1993); Holton (1973, 1978); Howe (1999); Miller (1984, 1996, 2001); Simonton (1988, 1990, 1999); Sternberg (1999); Sulloway (1996); Weisberg (1993); and Zuckerman (1977). A recent section on creativity in the *American Psychologist*, Sternberg and Dess (2001), featuring pieces on Charles Darwin, Linus Pauling, Thomas Young, and Claude Monet, suggests that the field is moving in the direction of using historical cases studies.
4. See e. g., the studies of Michael Faraday (Nersessian, 1984; Tweney, 1985), Charles Darwin (Gruber, 1981; Simonton, 1999), and Sigmund Freud (Sulloway, 1983).
5. Sternberg (1999).
6. See, e. g., Csikszentmihalyi (1996), 22 - 50.
7. Kuhn (1962), 1 - 23.
8. Cox cited in Albert and Runco, p. 27.
9. See e. g., Feist (1999), or Howe (1999).
10. Howe (1999), 188 - 205.
11. Ericsson, et al. (1993); Weisberg (1999).

12. Gardner (1993), p. 20.
13. Waley (1989) Book VII(8), 124.
14. Amabile (1996).
15. Schrieffer (1974, 1992a).
16. Gardner (1993); Gopnik, et al. (1999), Einstein (1949).
17. Alice Miller (1990).
18. Pines (1993).
19. Schrieffer (1974).
20. Csikszentmihalyi (1996), 210 - 233.
21. Lazarus (1992).
22. Simon (1978); A. Newell, and H. Simon (1972); Langley, et al. (1987).
23. Chase and Simon (1973); Reimann and Chi (1989); Chi, et al. (1981).
24. Bardeen (1977, 1984).
25. Schrieffer (1974, 1992a).
26. Harmer (1936), 335.
27. Bardeen (1984b).
28. Frederick Seitz, private communication to Lillian Hoddeson, April 2001.
29. Pines (1993).
30. Guilford (1950).
31. Gardner (1985).
32. de Bono (1992).
33. Hoddeson, et al. (1993); Hoddeson (1987); Bradshaw (1992).
34. Pines (1993).
35. Abrikosov (1993).
36. Schrieffer (1992b), 47.
37. Holonyak (1993b).
38. Lederman and Teresi (1993), 7.
39. Schrieffer (1974).

40. Gentner (1989).
41. Bardeen Bell Labs Notebook 20780, December 20, 1947.
42. Arthur Miller (2001), 217 - 262; see also Lakoff and Johnson (1980).
43. Bardeen's handwritten notes, 1950, UIUC-P.
44. Brian Ross, personal communication, February 2001. See also Medin and Ross (1996), "Expertise," 469 - 491.
45. Wigner (1981).
46. See, e. g., Nersessian (1984); Tweney (1985); Gruber (1981); Simonton (1999); Sulloway (1983); Langley, et al. (1987).
47. See e. g., Csikszentmihalyi (1996); Gardner (1993); Sternberg (1988, 1999); Weisberg (1993); Zuckerman (1977).
48. Althea Harmer Bardeen to Charles William Bardeen, n. d., BFC.
49. Seitz in Del Guercio, et al. (1998).
50. C. W.'s inscription in the book he wrote about his boyhood adventures in the Civil War, presented to John on his tenth birthday.
51. Bardeen (1977a).
52. Charles William Bardeen to Charles Russell Bardeen, March 4, 1919.
53. Zuckerman (1977), 62, 96 - 143, 200 - 202.
54. Bardeen's hand-edited copy of Karen Fitzgerald's profile of him for the IEEE *Spectrum*, Bardeen papers, U. of I.
55. Harvard Society of Fellows (1987).
56. e. g., Ward (1999); Feist and Gorman (1998); Langley, et al. (1987); Dunbar (1997); Csikszentmihalyi (1996).
57. de Waal quoted in *History Newletter* (Spring 2001), 23, Center for History of Physics of the American Institute of Physics, excerpted from de Waal, "The Ape and the Sushi Master," as quoted in *Chronicle of Higher Education*, 30 March 2001, B6.
58. Weisberg (1986), 27 - 33.