

黄昆——中国固体物理和 半导体物理的奠基人

朱邦芬*

(清华大学 北京 100084)

关键词 固体物理, 半导体物理, 奠基, 黄昆

黄昆先生是世界著名的物理学家和杰出的教育家, 晶格动力学的奠基人和权威, “极化激元”概念的最早阐述者。黄昆的名字是与多声子跃迁理论、x 光漫散射理论、晶格振动长波唯象方程、半导体超晶格光学声子模型联系在一起的。他致力于凝聚态物理的科学研究和教育, 以勤奋、严谨、严于律己和诲人不倦而著称。他长期从事物理教学工作, 是我国固体物理和半导体物理学的一位开创者, 培养了一大批中国物理学家和半导体技术专家。

—

黄昆于 1919 年诞生在北京, 祖籍浙江嘉兴。1932 年秋至 1936 年夏, 黄昆就读于通州潞河中学, 并于 1937 年通过潞河中学向燕京大学的保送考试, 进入燕京大学物理系学习。潞河中学和燕京大学都是美国人在中国办的

* 中国科学院院士, 清华大学物理系教授
收稿日期: 2005 年 7 月 25 日

教会学校。虽然教育上存在许多缺陷, 然而求真务实和相对开放的环境熏陶了年轻时代的黄昆, 使他养成了凡事独立思考, 不盲目随从的习惯。量子力学, 这门在 20 世纪 30 年代还属于问世不久的学科, 是黄昆在大学时代通过自学而掌握的。他的大学毕业论文“海森堡和薛定谔量子力学理论的等价性”就是在此基础上完成的。

抗日战争爆发

黄昆院士

后, 中国的三所著名大学: 清华、北大、南开迁至云南昆明, 组成国立西南联合大学。当时西南联大物理系规模虽然不算大, 但是人才济济, 中国物理学界和数学界许多学术造诣颇深的知名教授都在这里执教。1941 年秋, 黄昆在获得燕京大学学士学位后, 来到西南联大担任助教。如同鱼儿游入浩瀚的海洋, 黄昆在这里如饥似渴地吮吸着物理知识的精华。他不但听了许多物理系高年级以及研究生课程, 还选修了多门数学系课程, 如群论、陈省身的微分几

何等等。当时学术讨论风气盛行,黄昆又从小酷爱争论,正是通过学术讨论和无数次的课外辩论,黄昆、杨振宁、张守廉等开始互相了解并结成长达半个世纪的深厚友谊。第二年,黄昆考取了理论物理研究生,导师是著名物理学家吴大猷(曾任台湾中央研究院院长)。杨振宁和张守廉分别师从王竹溪和周培源。他们有段时间同住一屋。无论在回寝室的路上,还是在茶馆里,他们都喜欢讨论问题,讨论最多的当然是物理问题。有一次他们辩论量子力学中测量的意义,论战从茶馆开始,延伸到整个傍晚,直至熄灯后躺在床上他们仍在继续辩论。最终三人又都从床上跳起来,点上蜡烛阅读海森堡的《量子理论的物理原理》。黄昆喜欢与人讨论物理问题的习惯,一直保持到晚年。他认为,讨论最能启发人们的思考,学术空气沉闷只能使思维窒息。年逾古稀的黄昆依然思维敏捷,善于在讨论中提出问题,也善于抓住要害问题使讨论深入。名师的教诲,一群天资极高的同学之间的相互交流,再加上自己的努力,使黄昆在西南联大期间打下了扎实的物理学基础。在吴大猷指导下,黄昆完成了“锂原子能态的Hylleraas函数变分计算”、“钠之负离子吸收光谱”、“日冕光谱线的激起”三篇论文,1944年以优异成绩毕业。

毕业后黄昆通过了庚款公费留英考试,1945年8月,到英国布列斯托(Bristol)大学做了莫特(N.F.Mott)的研究生。莫特是1977年诺贝尔物理奖获得者,在当时已是国际上著名的固体物理学家。他对许多物理问题,有很深的洞察力,善于透过错综复杂的表面现象而把握本质。莫特倾向于用简单的物理模型方法解决问题而不主张借助繁杂的数学推导,这对黄昆的学术风格的形成起了决定性的作用。使他“避免了在数学公式里绕圈子的这种弯路,并且懂得重视实验与理论

的联系”。在两年的研究生学习期间,黄昆在莫特指导下,完成了“稀固溶体的X光漫散射”、“金银稀固溶体的溶解热和电阻率”、“轻核的束缚能”三篇论文。这些研究,特别是前两项工作,对后来科学的发展都产生了深远影响。其中第一篇论文提出了一种新的散射机制,即杂质或缺陷引起的漫散射,后来被称为“黄散射”。

二

1947年5月,黄昆去爱丁堡大学玻恩教授(M.Born)处短期工作。物理大师、诺贝尔奖获得者玻恩是量子力学创始人之一,也是晶体原子运动的系统理论的开创者。他早在第二次世界大战期间就计划从量子力学最一般原理出发,撰写一本关于晶格动力学的专著,并已写若干章节。但是战后他忙于他事,且年事已高,书被搁置了起来。玻恩发现黄昆熟悉这门学科,有深刻的见解,便给他看了手稿,并建议黄昆完成这部专著。黄昆从1948年开始,在四年时间内不仅以严谨的论述和非常清晰的物理图像对这个固体物理学中的一个最基本领域进行了系统的总结,而且还以一系列创造性的工作,发展和完善了这个领域。这本人所共知的书自1954年问世以来,一版再版,几代固体物理学家都通过学习这本专著而了解了晶格动力学这个领域。

黄昆与夫人李爱扶

1948年初,黄昆应英国利物浦大学理论物理系主任弗洛里希(H.Frohlich)的聘请,到该系任博士后研究员。这段时间,黄昆在学术上硕果累累,在生活上,他与里斯(A.Rhys,中文名李爱扶)开始结识、相恋。从此以后,在黄昆成功的背后,一直有一位来自异国的贤内助的默默奉献。在这三年多时间里,黄昆除潜心撰写《晶格动力学》外,在学术上还有两项开拓性的贡献。一是,黄昆和李爱扶在“F中心的光吸收与无辐射跃迁理论”这篇著名论文中提出了在晶格弛豫基础上的多声子光跃迁与无辐射跃迁理论。这个理论被称为“黄-里斯理论”,是固体中杂质缺陷上的束缚电子跃迁理论的奠基石。另一项开创性的贡献是黄昆提出了晶体中的电磁波与晶格振动的格波会互相耦合,形成声子极化激元。黄昆引入的这种新的耦合模式现已成为理解电磁波与固体、等离子体相互作用的一个基本概念。他在理论处理声子极化激元时,引入一组唯象方程来描述极性晶体中光学位移、宏观电场与电极化三者的关系。这就是著名的“黄方程”。

作为多声子跃迁理论的开创者,黄昆与李爱扶在1951年合著的文章至今仍每年被引用20多次。黄昆在1980年建立的统一绝热近似与静态耦合的理论,一发表即引起广泛重视,并被英国B.K.Ridley编入教科书。这项研究先后荣获中科院自然科学奖三等奖(1957)与科技进步奖一等奖(1984)。黄昆在该文中提出,由于晶格弛豫,电子跃迁过程中振动量子数可以任意改变而跃迁几率不为零。这个革命性的概念,不仅奠定了固体中束缚在杂质和缺陷上的局域电子态跃迁理论的基础,而且还是现代多体理论中“Mahan奇异性”和“正交灾难”的先驱。不少研究多体理论的理论物理学家对此极为感兴趣。最近,随着量子点等纳米结构研究热的兴起,量子点中的光吸收与发射和F中心的光跃迁过程有很大的相似性,科学家开始测量和计算量子点中的S因子,黄昆这篇论文又引起人们新的兴趣。

1951年黄昆在北京大学物理系办公室

三

1951年底,黄昆抱着投身于新中国建设事业的满腔热忱,回到了祖国。为了给祖国建设事业培养急需的科技人才,黄昆不惜中断自己已进行多年并卓有成就的研究工作,来到北大,全身心地投入到普通物理学的教学工作。黄昆认为,在中国培养一支科技队伍的重要性远远超过个人在学术上的成就,因而,尽管普通物理是大学物理系学生的入门基础课,黄昆还是一遍又一遍地认真备课,和虞福春、褚圣麟等一起,精选授课内容,讲究教学方法,革新了普通物理的教学。黄昆认为,不能把讲授限于一些定义的说明和公式的逐步推演,而应引导学生对物理问题有深入的理解。例如,黄昆讲授“表面张力”时,从分子间吸引力与排斥力有不同作用距离的物理图像出发,使学生得到了深刻而清晰的理解。当年的学生至今对此仍留有深刻印象。不管讲课还是做报告,黄昆都遵循两个原则。一是“假定听讲人对所讲问题一无所知且又反应较慢”,二是尽管讲过多次,每次都须重新备课。这种认真精神加上深厚的理论造诣使黄昆的授课在北大乃至全国物理界都有口皆碑。

1954年黄昆担任了北大物理系固体物理专门化教研室主任。从1953—1955年的三年中,黄昆给他的研究生和中科院应用物理研究所的科研人员系统地讲授了现代固体物理的基本理论和各分支的基础知识,以后发展到为

北大本科生也正式开设了这门课程,开创了我国高等学校的固体物理专业教育。黄昆讲授时,不仅指出现存理论能解释哪些实验事实,而且还指出其不足之处以及进一步发展方向,使学生从一开始就进入到固体物理的前沿领域。黄昆的《固体物理》于1965年正式由人民教育出版社出版。

20世纪40年代晶体管的发明促使半导体学科迅速发展,其势头至今未衰。然而,直到50年代初,作为学科基础的半导体物理学,国际上还没有专门的教科书。1955年,黄昆邀请王守武、洪朝生、汤定元三人和他自己一起,在北大第一次开设了这门课程。1956年,黄昆参与制定我国12年科学发展规划,为重点发展我国半导体事业提出了具体规划及实施的紧急措施。教育部采纳了规划中建议,1956年暑假,由北大、复旦、南大、厦大和吉大五校联合在北大物理系开办了我国第一个半导体专门化,黄昆任主任,谢希德任副主任。两年内,五校教师创立了一系列从理论到实验的课程。他们培养的200余名学生,成为我国半导体事业的骨干力量。1958年出版的《半导体物理》(黄昆、谢希德合著)是我国半导体领域最早和最重要的著作,当时在国际上也属前沿。

黄昆在北京大学执教20余年,桃李遍天下。黄昆对年轻人既严格要求,又鼓励扶植他们著书立说,为人才的脱颖而出创造了良好的环境。黄昆亲自指导培养的一批研究生和助手,如莫党、秦国刚、甘子钊、夏建白、韩汝琦等,都活跃在固体物理学的科研与教学上,成为了骨干人才。

四

1977年11月,由邓小平同志直接提名,黄昆调任中科院半导体研究所所长。半导体所是一个综合性的研究所,致力于半导体物理、材料、微电子器件和光电子器件等领域的研究。黄昆作为一所之长,在组织全所科学研究的同时,十分重视科研人员的学术水平的提

高。他要求科研工作者不仅要知其然,更要知其所以然。只有如此,才能从根本上摆脱跟在别人后面走的被动局面。从1978年初开始,黄昆每星期都抽出半天时间给全所科研人员讲授半导体物理的理论基础,前后共讲了10个月。在黄昆的带动下,半导体所的学术水平有了长足的进步,并且培养了一个理论与实验结合、学术空气活跃的半导体物理研究集体。

黄昆认为既然身在研究所,自己就必须在科研第一线工作。黄昆在繁忙的所长岗位上抓紧点滴时间,针对国际上在多声子无辐射跃迁理论中出现的疑难问题,重新开展了研究。他证明了在消除康登近似带来的不自洽性后,绝热近似与静态耦合是等价的。1983年黄昆又提出的无辐射跃迁理论的多频声子模型,更进一步发展了无辐射跃迁理论。

1983年,黄昆退居二线以后,把更多的精力投入到了科研工作中去。黄昆觉察到半导体超晶格作为物理、材料与器件三者结合点,业已成为整个半导体学科最活跃的前沿,于是结合整个半导体所的实际工作,把自己的精力集中到了研究半导体超晶格的物理问题上来,有力地推动了全所乃至全国在这个新兴领域的工作。黄昆等发展的关于超晶格和量子阱中空穴子带的理论以及超晶格中光学声子模式的理论,引起了国际学术界的普遍重视。其中黄昆与朱邦芬提出的计算超晶格光学声子模式的模型以及类体模的解析表达式,被国际上称为“黄-朱模型”。

“黄-朱模型”已作为该领域必读文献列入许多国外专著和研究生教材。例如由德国斯普林格出版社出版的研究生教材《半导体基础》,斯普林格出版社出版的“固体科学丛书”中两本专著《半导体及纳米结构的超快光谱》和《超晶格与其它异质结构:对称性与光学现象》,均用多页篇幅详细地介绍了“黄-朱模型”。三篇主要论文被他人引用超过400次,黄昆等也在此基础上成功地提出国际上第一个超晶格光学声子喇曼散射微观理论,明确

黄昆(左)获 2001 年度国家最高科学技术奖

回答了为什么在体材料中电偶极跃迁禁戒的 Frohlich 散射在超晶格中是允许的原因。

五

黄昆在科学上的成就受到了国际学术界的高度评价,也得到祖国和人民的承认。1955 年,黄昆年仅 36 岁就被聘为中科院学部委员,是当时所有委员中最年轻的一位。黄昆还是瑞典皇家科学院外籍院士、第三世界科学院院士、IUPAP 半导体委员会(1985—1988)委员。1984 年他应美国斯诺基金会邀请任该年度斯诺教授去美国讲学,圣母(Notre Dame)大学授予了他“第二届理论物理弗雷曼奖”、美国中部州立大学协会授予了他“卓越外国学者”称号。除了担任中国物理学会理事长,中科院数理学部常委之外,黄昆还是第三届全国人民代表大会代表,第五、六、七届全国政协常委。黄昆因其学术上的贡献曾获中科院自然科学奖一等奖 2 项(1984、1989)和二等奖 2 项(1990、1995)。黄昆先生还曾获国家自然科学

奖二等奖 1 项(1993),三等奖 1 项(1957),何梁何利科学技术成就奖(1995 年)以及陈嘉庚物理奖(1996 年)。他的著作《固体物理学》教材 1996 年获国家科技进步奖二等奖;《黄昆论文选暨评注》1999 年作为新加坡世界科学出版社的“世界科学 20 世纪物理学丛书”之一出版;2004 年北京大学出版社又出版了《黄昆文集》。2000 年,黄昆先生受聘担任第 17 届国际拉曼光谱学大会的国际科学顾问委员会主席,同年香港科技大学授予

他名誉博士学位。2001 年,黄昆先生荣获中华人民共和国最高科学技术奖。2003 年年初,中央电视台首次举办“感动中国 2002 年度人物”评选活动,黄昆被观众和专家选为十位感动中国的年度人物之一。面对这些荣誉,黄昆总是说:“我是一个普通的科学工作者,没有什么神奇和惊人的地方”。他认为自己之所以能获得一些成绩主要在于“勤于思考、坚持工作”。

1999 年黄昆先生确诊患帕金森症,近年来又受到各种疾病的困扰,但是,尽管病魔缠身,他还始终关心牵挂着自己为之奋斗了 60 余载的物理学事业。如今,一位杰出的物理大师在世界物理年中驾鹤仙逝,我们在痛惜中国物理学界的损失同时,更应当秉承先生治学为人的风范,为我们国家的科学事业的腾飞做出我们应有的贡献,以告慰黄昆先生。