

# 高山仰止 景行行止

## ——记黄昆教授

朱邦芬\*

黄昆先生已经在人生的道路上前进了七十年。在前不久举行的“黄昆教授七十寿辰学术报告会”上，一百多位黄昆先生的同事、朋友及学生济济一堂，用科研成果向我国固体物理领域的开拓者，表示自己的祝贺和仰慕。杨振宁先生，黄昆先生四十多年的挚友，专程从大洋彼岸赶来祝贺。李政道先生也发来了高度评价黄昆成就的贺信。新加坡世界科学出版公司特地出版了“晶格动力学和半导体物理——黄昆教授七十寿辰纪念”一书，十五位国外知名学者与十九位国内专家在上面撰写了专论。黄昆先生的学术成就，对祖国物理学发展的贡献以及他的为人，受到了大家发自内心的尊敬和称赞。

1981年以来，我有幸跟着黄先生从事研究工作，可以说是近几年受教于黄先生最多的一个。黄先生学术上的造诣很深，特别善于抓住物理问题的本质并用简单模型加以解决，他那严谨的学风，对祖国和对科学事业执着的献身精神和虚怀若谷，奉献甚多而不求索取的高尚品德，使我深受教益。值此黄先生七十寿辰之机，我简要地介绍黄昆先生学术上的成就以及对祖国物理学的贡献，以表达我作为一个学生对一代宗师的感激之情和衷心的祝贺。

黄昆先生四十余年来在科学与教育上的辛勤耕耘，大致可分为三个时期。（一）1945—1951年在英国一系列开创性的工作，奠定了他在国际物理界的学术地位；（二）1952—1977年，为了给祖国建设事业培养急需的科技人材，他中断了自己正处在顶峰状态的研究工作，不遗余力地教书育人，创建了我国固体物理和半导体物理专业；（三）1978年至今，他又重返科研第一线，作出了许多举世瞩目的研究成果。

### 一、当年风华正茂

四十年代末及五十年代初黄昆先生的工作，以开创多声子光跃迁和无辐射跃迁理论（黄-Rhys理论）、最先阐述极化激元（polariton）、和预言固溶体中X

光漫散射（黄散射）而闻名于世。他与M. 玻恩教授合著的《晶格动力学》，三十多年来一版再版，至今仍是固体物理及其他分支领域研究人员必读的经典著作。

### “黄 散 射”

1947年，黄昆先生在英国 Bristol 大学师从 N. F. 莫特教授（1978年诺贝尔物理奖获得者），在《稀固溶体的X光漫散射》一文中，他论证了体积不同的外来原子在晶格中引起的弹性畸变会导致X光的漫散射，并估算了X光衍射光斑发生的变化。论文预言这种漫散射在低温下可以被观察到，但由于要求很高的实验技术，直到1967年才被西德物理学家在氯化锂晶体中证实。此后，“黄散射”被发展为一种直接且有效地研究晶体微观缺陷强度与对称性的实验手段。近年来已有中子散射也观察到“黄散射”的报道。

### “黄-Rhys理论”

1948年，黄昆先生受 Fröhlich 教授聘请去利物浦大学任博士后研究员。他与后来成为他夫人的李爱扶先生（Avril Rhys）发表了题为《F中心的光吸收和无辐射跃迁理论》的论文。该文提出了与缺陷引起的晶格弛豫有关的多声子光谱结构与无辐射跃迁理论（苏联 Пекар 虽曾早几个月提出光跃迁多声子结构的类似理论，但不为人所知，至今人们仍多称为黄-Rhys理论）。该文发表后，立即引起学术界广泛重视，使光谱理论有了重要发展。1959年实验上明确证实了光谱的多声子结构。此后，光谱的多声子理论被确立为固体光谱分析的一个重要方面。而标志引起这种结构的晶格弛豫强度的主要参数，一直被称作黄-Rhys S因子。

与此同时提出的多声子无辐射跃迁理论，直接联系着发光中心的效率与深能级的动力学等重要问题，

\* 朱邦芬：中科院半导体研究所。

定程度上,它在七十年代被证实是正确的;然而在与实验定量的比较上,出现了一些矛盾与曲折。在本文后面将会提到,这些矛盾被黄先生在1980年左右所解决。同时,该理论在六十年代后还被化学家用于研究化学反应动力过程中的微观基础。

### “黄方程”与极化激元

极性晶体中正负离子振动时所伴随的宏观电场反过来又影响到晶格光学振动的频率。由于库仑作用的长程性及不同形状晶体具有不同的退极化场,使得微观模型处理十分复杂与繁琐。1950年黄先生提出了一对唯象方程,确立了光学位移、宏观电场强度与极化强度三者之间的关系,这就是“黄方程”。这对方程不仅物理图像明确,而且系数全是实验可测量,可以准确地描述极性晶体的长波动力学过程。

正是利用“黄方程”,黄昆先生考虑了电磁作用的推迟效应对光学振动的影响,从而首次指出了光子与横光学声子相互耦合而形成新的一类元激发——极化激元。1965年GaP中首先观察到极化激元,引起了人们很大的兴趣。目前,国际上公认黄昆先生是声子极化激元概念的首先提出者。在1972年一次国际有关极化激元的专门学术会议上,会议文集重新刊印了黄昆教授原来的论文,并在序言中论述该领域发展史时,着重叙述了黄昆教授的开创性贡献。

### 《晶格动力学》

晶体原子运动的系统理论主要是物理大师玻恩发展起来的。他在二次大战时就计划从量子力学最一般原理出发,撰写一本关于晶体动力学的专著,并着手写了后来成为《晶格动力学》一书第二部份骨架的若干章节。但是战后他忙于他事,书被搁置了起来。1947年暑假,黄先生去爱丁堡玻恩教授处访问,玻恩发现黄先生对他过去的工作有很深的了解,给他看了手稿,并建议他完成该书。正如玻恩在原序中所写的那样,黄先生“成功地完成了此书”。“但是,此书已完全不同于我原先的计划。黄博士相信科学的主要目的是它的社会效益,而我的抽象的演绎式的表述不合他的口味。因而他撰写了几章比较容易理解的导论,……他也重写了我先所写的那部份,在许多方面作了更进一步的推广,并增添了新的章节。”“这样,这本书的最后形式与文字实质上都是黄博士的。”这本书全面论述了晶格动力学的基本理论,其中许多内容是从未发表过的包括黄先生在内的玻恩学派的研究成果。玻恩在给爱因斯坦的一封信中说:“我现在正在跟一个中国的合作者黄昆博士完成一本晶格的量子力学的书。书稿内容现在已完全超越了我的理解,我能懂得年轻的黄昆以我们两人名义所写的东西,就很高了。”这固然是玻恩教授的谦虚和提拔后辈,但也从一个侧面反映了黄昆先生

确实对这本书作出了非常重要的贡献。然而黄先生却总是强调说该书主要是总结玻恩学派几十年的成就。他自己的贡献是次要的,即使有所创造也都是受到了玻恩的启发。当今时代,象《晶格动力学》这样的学术著作经四十年之久仍为该学科领域的权威著作,实属罕见。

### 二、黄金时代 甘当人梯

1951年底,黄昆先生回到了祖国。正如他最近在与大学生座谈时所说的那样,“在国外作出研究成果固然是贡献,但在国内所起的作用却不是发表几篇有价值的论文所能代替的。”正是基于这种朴素的想法,黄先生一到北大,就全身心地投入到教学工作。人们常比教书为点燃的蜡烛,但黄昆先生为了培养祖国急需的人材,不惜中断自己的研究工作,全力投入到《普通物理》课的教学。尽管《普通物理》是大学物理系学生的入门基础课,但他总是一遍又一遍地认真备课,精选授课内容,讲究教学方法。黄先生的讲课深入浅出、概念深刻、条理清楚,生动且富启发,是众口皆碑的。

1954年黄先生任北大物理系固体物理教研室主任。1953—1954年,他第一次在我国给研究生和中科院应用物理所的研究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。以后又给本科生正式开设了这门课程。

四十年代晶体管的发明促使半导体学科迅猛地发展,其势头至今未衰。然而到五十年代初,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年黄昆先生邀请当时应用物理所王守武、洪朝生、汤定元三位先生和他自己一起,在北大第一次开设了这门课程。1956年黄先生参与制定了我国12年科学发展规划,为重点发展我国的半导体事业提出了具体规划及实施的紧急措施。为了培养一批骨干力量,高教部根据规划的紧急措施,决定集中北大、复旦、南大、厦大和吉大五校师生于北大。自1956年秋季始,由黄昆教授任主任、谢希德教授任副主任的半导体专门化班开始了。两年内创立的从理论到实验的一系列课程,所培养的二百余名学生,奠定了我国半导体事业的基础。当时学习班讲义之一,后来出版的《半导体物理》(黄昆、谢希德合著)一书,成为我国半导体领域中最重要和最早的理论著作,当时在国际上也属前沿。

在“黄昆教授七十寿辰学术报告会”上,北大物理系老师送了一付对联,上面写道:“渡重洋迎朝晖心系祖国,傲视功名荣华如草芥,攀高峰历磨难志兴华夏,欣闻弟子徒孙尽栋梁”。这的确是黄先生在北大执教二十余年的概括。黄昆先生的桃李遍布我国教学、科研、工业等各条战线,起着非常积极的作用。

### 三、老骥伏枥 志在千里

1977年11月,黄昆先生担任中科院半导体研究

所所长。在组织全所科研工作的同时,黄先生十分重视科研人员学术水平的提高。他要求科研工作者不仅要知其然,更要知其所以然。只有这样,才能从根本上摆脱跟在外国人后面亦步亦趋的影响,走出自己的路来。从1978年初开始,他亲自给全所科研人员讲课,从能带论讲起,每周半天,前后整整讲了十个月。在他的带动下,今天半导体所的学术水平有了长足的进步。

黄先生认为既然身在研究所,自己就必须在科研第一线工作。于是,年过花甲的黄先生又重新活跃在固体理论研究的前沿。特别是在他1983年退居二线之后,他摆脱了日常事务的纠缠,就象年轻了三十岁似的,得心应手、卓有成效地向一个又一个科学堡垒进攻……。

### 统一和发展了多声子无辐射跃迁理论

黄先生和李先生在1950年创立的多声子无辐射跃迁理论被实验证实是对的,然而定量上的估算并不成功。在这以后国际上相继出现了静态耦合和非绝热近似理论。它们虽然是在黄-Rhys理论框架内的修正,并在定量计算上取得了某种程度的成功,然而理论上始终是不清楚的。1980年前后,黄先生自己又研究了这个问题。他发现,在消除了Condon近似带来的不自洽性后,黄先生原先所用的绝热近似与静态耦合在一级近似下是等价的,从而澄清了三十年围绕多声子无辐射跃迁理论的发展而出现的混乱,也给比较简单的静态耦合计算提供了理论上的依据。在这以后,他与顾宗权一起发展了多声子跃迁理论的多频声子模型。这是具体运用多声子理论中的一个重要突破。认识到不同频率的声子在不同的多声子过程中可以起非常不同的作用后,黄昆等圆满地解决了多声子光谱实验中的疑难点。

### 超晶格的电子态理论

八十年代以来,半导体超晶格成为整个半导体学科最活跃的前沿之一,成为物理、材料、器件三者研究的结合点。1985年后,黄昆先生结合整个半导体所的工作实际,把自己的精力集中到研究半导体超晶格的物理问题,有力地推动了全所这方面的工作。黄先生觉察到超晶格的空穴子带具有特殊的复杂性,且与激子、光学过程等一系列问题密切相关。黄先生以空穴子带结构为突破口,与反建白、汤蕙等一起创造了一种用有限几个平面波展开方法计算超晶格空穴子带结构的方法。这种方法在有效质量近似下与在微扰计算中,分别被用于外加电磁场下超晶格能带结构、一维(零维)量子阱线(盒)的能带结构等一系列问题中,使我国在半导体超晶格电子态理论方面大体与国外平行,工作具有了自己的特点。在此基础上,黄昆、朱邦芬等建立了准二维激子态理论。由于激子在量子阱光

学过程中所起的特别重要的作用,国外许多著名学者都研究过这问题。但是,只有黄先生等抓住了激子态四分量旋量的不同分量具有不同轨道角动量的特点,给出了正确的激子光跃迁选择定则,从而解释了使许多杰出物理学家都感到困扰的,外电场下超晶格PC、PLE谱中的 $h_{1,2}$ 峰

### 超晶格光学声子模式

1965年以来,准二维系统中光学声子模都是基于连续介电模型而导出的。1985年西德科学家的实验表明这样导出的模式的对称性也许是有疑问的。国外许多在这方面工作的科学家没有领会这里的含义;个别别人认识到这是一个又有意义又令人困惑不解的问题,然而对解决它却感到束手无策。黄昆先生和朱邦芬是最早认识并解决这一疑难的人。黄先生设计了一个构思巧妙却又十分简明的“光学声子量子阱模型”(国际上有人称之为“黄朱模型”)。该模型包含了长程库仑作用对光学声子模的效应却又回避了长程作用计算的复杂性。黄昆等的研究工作表明,国际上沿用二十余年由连续介电模型导出的超晶格光学声子类体模是不对的,光学位移在界面处不是极大值,而是节点。黄先生等分析了错误产生原因,并给出了正确的解析表达式。

上述黄昆先生近年来三项主要的研究成果已在国际上引起了重视。其中两项已获中科院自然科学一等奖,第三项也已经由所向院申报1990年自然科学奖。最近,黄昆教授带领他的学生们又成功地给出了国际上第一个系统的超晶格光学声子喇曼散射的微观理论,明确回答了为什么在体材料中电偶极跃迁禁戒的Fröhlich散射在超晶格中是允许的原因。黄昆先生年逾古稀,却仍在第一线拼搏,并接二连三取得显著成果。这无论在国内外科学界都是不多见的。究其原因,除了他的基础与天赋外,更主要的得归于他勤于思考、坚持工作的进取精神。

黄先生的成就远不止本文所介绍的部份。他对自己的论著力求完美,自觉意思不大的就往往搁到一边去了。可以说,黄先生的每篇论文都包含许多有意义的创造,都是经得起时间考验的。

黄先生的贡献也不仅仅包括学术上的贡献,教学上的贡献。除了这些有形的贡献外,他严谨的学风,严于律己、民主待人的作风,献身科学、永攀高峰的精神,热爱祖国、热爱人民的赤子之心,是我们一代又一代科学工作者最宝贵的精神财富。这些年来,黄先生的榜样深深感动了我。限于篇幅,我在结束此文时借用半导体所全体职工送给黄昆名誉所长条幅上所引《诗经》的两句话:“高山仰止,景行行止”来表达我们对黄昆先生的敬仰。