

国家最高科学技术奖获奖人丛书

◎ 国家科学技术奖励工作办公室

黄昆

——
声子物理第一人

◎ 朱邦芬 著

11

导体所

出版社

国家最高科学技术奖获奖人丛书

黄昆

——声子物理第一人



www.sstp.com.cn

ISBN 7-5323-6918-8



9 787532 369188 >

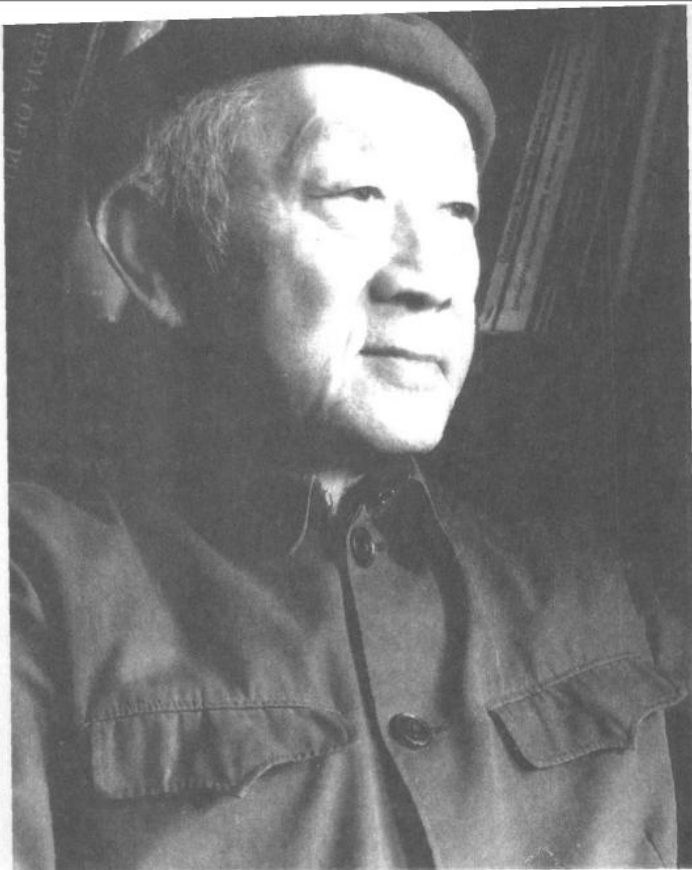
定价: 25.00 元



中国科学

K826.11

Z831



黄昆

——声子物理第一人



◎ 朱邦芬 著

◎ 上海科学技术出版社

◎ 国家科学技术奖励工作办公室

31648

图书在版编目 (C I P) 数据

黄昆：声子物理第一人 / 朱邦芬著. — 上海：上海科学技术出版社，2002.12

(国家最高科学技术奖获奖人丛书)

ISBN 7-5323-6918-8

I. 黄... II. 朱... III. 黄昆—生平事迹
IV. K826.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 000988 号

上海科学技术出版社出版、发行

(上海瑞金二路 450 号 邮政编码 200020)

上海新华印刷厂印刷

新华书店上海发行所经销

2002 年 12 月第 1 版 2002 年 12 月第 1 次印刷

开本 787×1092 1/16 印张 11 插页 4 字数 138 千

定价：25.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题，
请向本社出版科联系调换



■ 2002年2月1日，在北京人民大会堂隆重举行的国家科学技术奖励大会上，国家主席江泽民与2001年度国家最高科学技术奖获奖者黄昆和王选合影（黄昆提供）



■ 2002年2月1日，江泽民主席把亲自签署的国家最高科学技术奖证书颁发给黄昆（黄昆提供）



■ 2002年2月1日，在国家科学技术奖励大会上，国家领导人与获奖者合影（黄昆提供）





■ 固体物理学家——黄昆（侯艺兵 摄于1992年，黄昆提供）



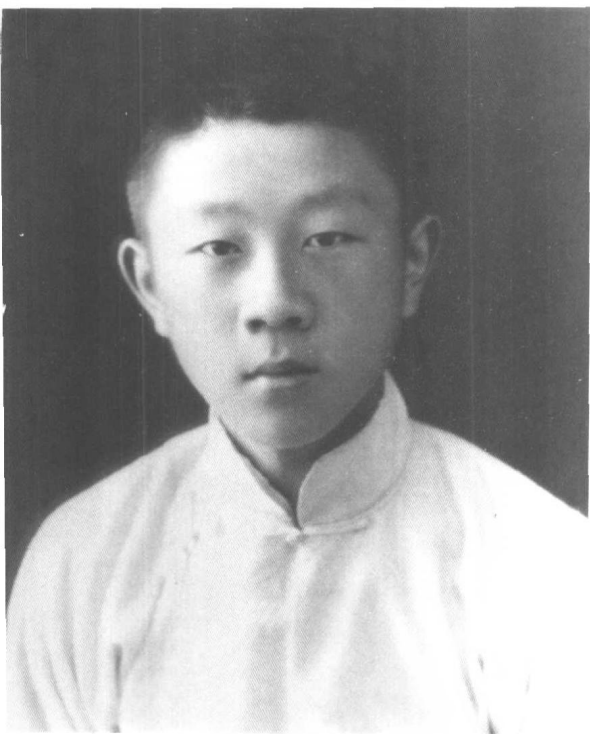
学习知识不是越多越
好越深越好而是应当
与自己驾驭知识的
能力相匹配。

黄昆



一九九〇·十一月

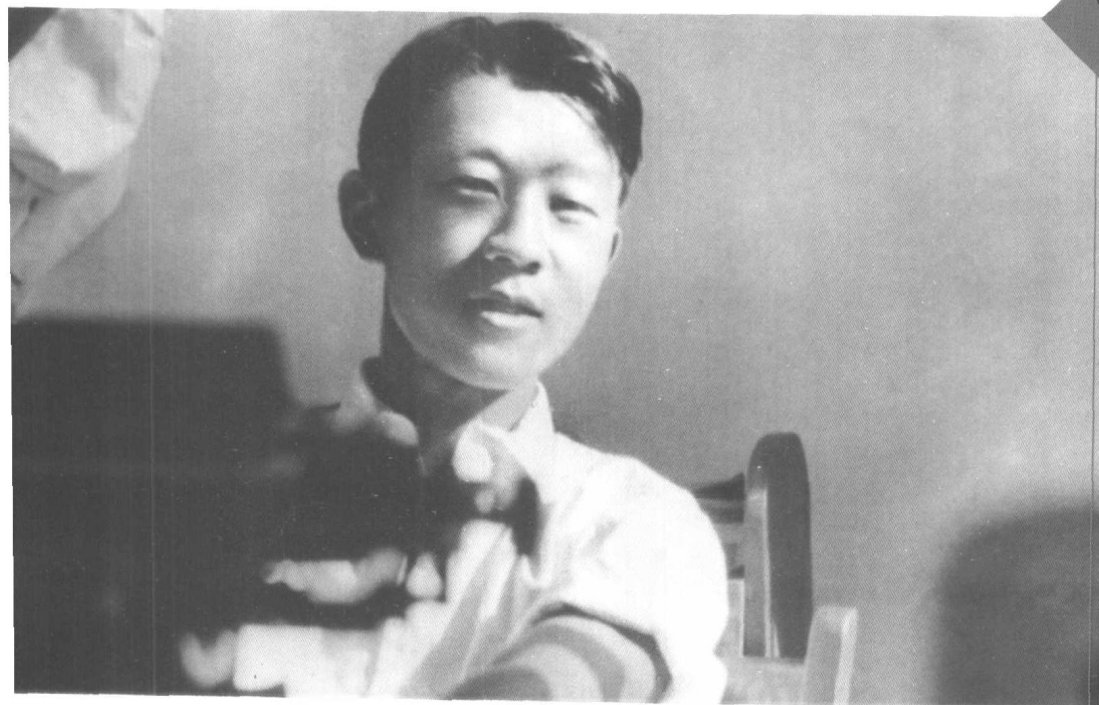
■ 黄昆手书的他的名言（黄昆提供）



■ 璐河中学毕业时的黄昆（燕京大学档案，黄昆提供）



■ 黄昆的燕京大学毕业照（燕京大学档案，黄昆提供）



■ 黄昆在燕京大学物理实验室里（黄昆提供）





■ 黄昆在利物浦大学做博士后时与弗勒利希 (H. Fröhlich) (中) 和巴蒂亚 (A. B. Bhatia) (右) 的合影 (黄昆提供)



■ 1978 年黄昆访问英国时的留影 (黄昆提供)





■ 1986年2月，黄昆在德国马普学会固体物理研究所举办的庆祝弗勒利希80寿辰国际学术会议上作学术报告（韩惠惠摄，黄昆提供）



■ 黄昆在办公室与来访的诺贝尔物理学奖获得者布洛姆伯根(N.Bloembergen)教授合影（黄昆提供）





■ 1991年，吴大猷（右）、黄昆（中）和杨振宁（左）在美国密歇根大学授予吴大猷先生荣誉科学博士学位的研讨会上（转载自《杨振宁文集》）



■ 1992年6月1日，西南联大时期的“三剑客”杨振宁（右）、张守廉（中）和黄昆（左）在北京大学勺园餐厅举行的周培源先生90大寿庆祝晚宴上重逢时留下的珍贵的合影（沈克琦摄影并提供）



■ 中国半导体物理的两位先驱——黄昆与谢希德（黄昆提供）





《国家最高科学技术奖获奖人丛书》编委会

顾问 徐冠华 程津培

主编 黄英达

副主编 刘燕美 贾 丰 胡晓军

侯淑珍 门国良

编委 (按姓氏笔画为序)

邓大为 米永光 张 松

宫玉宁 姚昆仑 高小安

原 京 袁建湘 韩文胜

滕 跃



目 录

1	第一章 同学少年
2	1. 从蒙养园到燕京大学
11	2. 群英荟萃
25	第二章 留英六年
26	1. 师从莫特
37	2. 与玻恩一起撰写学科的“圣经”
47	3. 从“黄方程”到“声子极化激元”
55	4. 一个分支学科的诞生
63	第三章 甘当人梯
64	1. 把一切献给祖国的教育事业
71	2. 中国固体物理学科的开创者
77	3. 中国半导体科学技术的奠基人
84	4. 磨难
89	第四章 凤凰涅槃
90	1. 邓小平点将
99	2. 重返科研第一线
105	3. 活跃在二维世界里
112	4. 黄-朱模型
119	第五章 大师本色
120	1. 治学之道
126	2. 大师风范
133	3. 常人和真人
139	4. 老骥伏枥
149	参考文献
154	黄昆主要论著目录
162	黄昆简历
165	后记



第一章

同学少年



1. 从蒙养园到燕京大学

1919年9月2日黄昆诞生于北京，祖籍浙江嘉兴。父亲黄澍，号子美，当时是中国银行高级职员。母亲贺延祉，籍贯湖南，毕业于北京女子师范大学，她做事十分认真，也在银行工作。在中国的地域文化中，浙江，特别是杭嘉湖平原，经济繁荣，教育发达，人才辈出，因而浙江人聪明能干，透着一股灵气；而湖南在春秋战国时属于楚国，“楚虽三户，亡秦必楚”，故湖南人又被称作“湖南骡子”，素以顽强著称。少年时代的黄昆，自诩既有浙江人的机灵，又有湖南人的坚毅，感到很自豪。家庭较高的文化素养和比较自由的气氛，特别是母亲的为人处世，对少年黄昆的成长影响很大。

黄昆的父母虽是南方人，黄家四个孩子却都生在北京。黄昆是家中最小的孩子，他的大姐名黄宣，大哥黄燕，二哥黄宛（中国著名心脏内科专家，曾任中国人民解放军总医院心脏内科主任，担任过多位国家领导人的医疗组成员），姐弟四人年龄依次相差一岁，手足情深，互相影响。他们的名字都取自北京的地名：黄昆的“昆”源于“昆明湖”，黄宛的“宛”源于“宛平城”，黄燕的“燕”源于“燕山”，黄宣的“宣”源于“宣武门”。黄昆深受京城文化的熏陶，喜爱京剧，说的是一口标准的普通话。

一般而言，许多著名科学家在少年，甚至童年就显示出其天赋，然而，黄昆自认为是属于智力发育滞后的学生。

黄昆先后在北京蒙养园、北京师范大学附属小学、上海光华小学等受到启蒙教育。他回忆自己的小学阶段，除去很早就识字，并在孩提时经常阅读小说和学会加减乘除之外，似乎说不出有什么“闪光点”，也没有学到很多知识。他还记得，小学期间最出色的一次表现，是在北京师范大学附属小



学读书时，获得全北京市小学三年级史地课考试的第五名。他回家后向母亲展示的是一份关于北京城油印讲义的奖品。为此，他始终为能熟练地说出北京城所有内外城门名而感到自豪。四年级时，黄昆随家到了上海。黄昆先在静安寺附近的延安路上一所弄堂小学上了几个月课。那是一所非常小的弄堂学校，教室在一幢上海典型的石库门房子里，根本没有供学生蹦蹦跳跳自由活动的场地。学校没有多少学生，一位教师要同时给几个年级的学生上课。后来，黄昆转学到上海光华小学，他在那儿一年的表现也说不出有多么优秀。在谈到现在中小学生的负担太重问题时，黄昆以切身经历为例，认为对小学生的学习要求不必太高。

▼ 黄昆三兄弟与大姐的合影。后排左起依次为：黄宛、黄燕、黄昆；前排中间是黄宣（黄昆提供）





▲ 中学时期的黄昆
(黄昆提供)

在光华小学五年级没读完，黄昆又随家搬迁回北京，暂住在伯父家中。黄昆的伯父黄子通是燕京大学哲学系的教授。那年黄昆插班就读于燕京大学附属中学初中二年级，但只学习了半年，就又转学到北京东郊通州的潞河中学。潞河中学是一所历史悠久的名校，由1867年美国基督教公理会创办的八境神学院发展而来，1893年发展成包括小学、中学、大学和神学院的潞河书院。1901年更名为协和书院，设有大学和中斋两部。1912年改名为华北协和大学。1918年，华北协和大学与汇文大学正式合并，组成燕京大学。1926年后迁到海淀（即现在北京大学校园的一部分），而协和大学附设中斋部仍保留在通州原址，称为私立潞河中学。潞河中学虽然是教

会学校，但在1927年以后改由中国人担任校长，并取消了“圣经”这门必修课。黄燕、黄宛、黄昆兄弟三人都曾就读于潞河中学。潞河中学的校训为“人格教育”，学校每个星期都召开全校师生大会。潞河中学学生中，富家子弟较多。虽说黄家经济较宽裕，但黄氏三兄弟总是穿着自己家里做的布鞋，这种俭朴的作风得到校长在全校大会上的表扬。

黄昆认为，中学是打基础阶段，中学打的基础会影响一个人的一辈子。对于这一点，黄昆有正、反两方面的经历。



黄昆在燕京大学附属中学初中二年级插班就读只有短短的半年，然而这半年对黄昆以后的发展有着长远的影响。一天，黄昆的伯父偶然看见黄昆放学后很悠闲，就问他作业做好了没有？黄昆答道：老师布置的数学作业都已完成。他伯父说：那怎么行，数学课本上的习题一道道全都要做。自此，黄昆就这样做了，并对数学发生了浓厚兴趣。转入潞河中学后，他延续了这一习惯，数学成绩一直名列前茅，并且带动了其他学科的学习。大哥黄燕因为休学了两年，与黄昆同班。黄燕的数学成绩只有30来分。在黄昆帮助下，黄燕的数学成绩很快就过了及格线。黄昆后来回顾，伯父无意中问及他功课这件“偶发事件”，对他产生了深远的影响。由于他下课就忙于自己做习题，很少去看书上的例题，这反而使他没有养成“照猫画虎”的习惯。黄昆治学的一个重要特点——“从第一原理出发”就是在中学开始培养的。黄昆是潞河中学的优等生，除语文外，他高中三年的学习总成绩始终名列全年级之首。

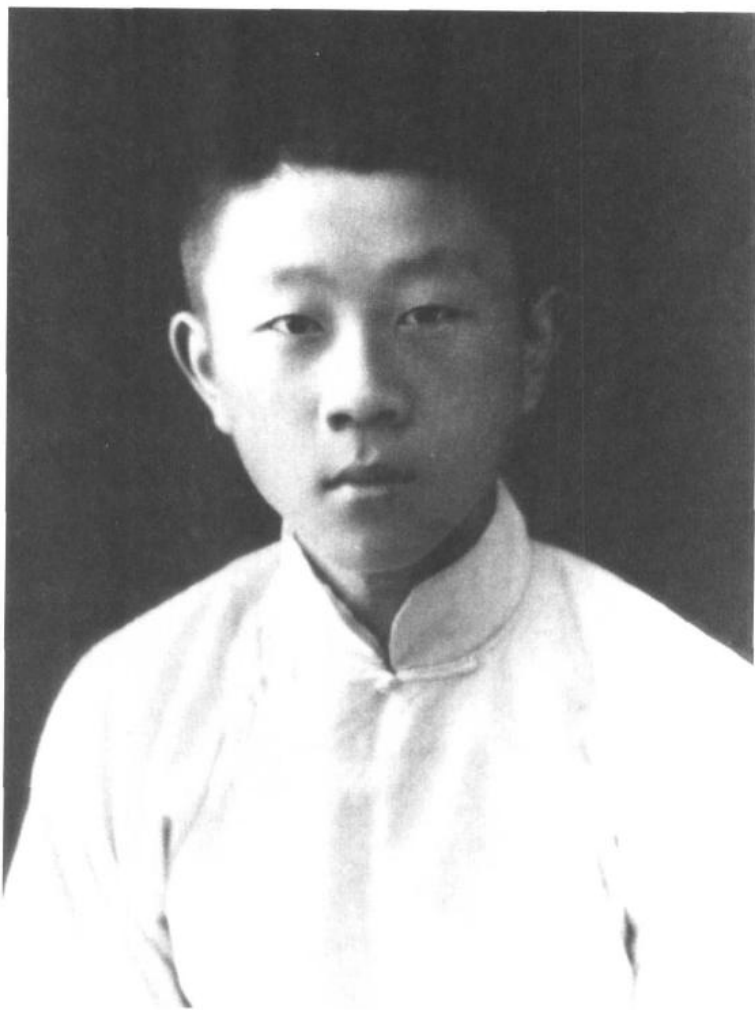
黄昆的英文极好。与黄昆合著《晶格动力学理论》一书的诺贝尔物理学奖获得者玻恩(M. Born)在他的自传《我的一生》中写道：“令人惊异的是，一个中国人能够如此流利而正确地撰写欧洲文字。”“文化大革命”后，中国高等学校、中国科学院的许多中青年学术骨干花了很大力气学英语而总不能运用自如，对此，黄昆感到不理解。黄昆回忆说：他在中学学习英语时并未花很大力气，而阅读英文小说已毫无困难。“文革”后的这些中青年骨干在中学和大学学的都是俄语，这也许可以说明，中学打的基础将影响一辈子。

黄昆自己认为，他中学时代的反面教训是语文没有学好。就像大多数中学男生一样，对于老师出的作文题，黄昆总是觉得不是一句话就解答了，便是无话可说。他特别佩服有的人，对明明没什么可写的题目，还可以洋洋洒洒地写上一大篇，而且还使别人读了以后觉得有些意思。回顾自己的



求学生涯，黄昆明显感到，由于语文学得不好而耽误了许多事情。例如，1936年黄昆从潞河中学毕业时，拟学习工科。他报考过清华大学和北洋工学院，但均由于语文成绩太差而未被录取。黄昆在生平自述中写道：

我于1944年参加了当时“庚子赔款”留美和留英两项考试。留美考试未录取，后来通过别人查分数才知道，我的语文考试只得了24分。在留英考试中，我的作文只写了三行再也写不下去，只好就此交卷。后来得知，我居然被录取。这



► 潞河中学毕业时的黄昆（燕京大学档案、黄昆提供）



曾使我大吃一惊。以后有机会看到所有考生的评分，这才知道这位中文考官显然眼界很高，而打分又很讲分寸，很多考生的中文成绩都是40分，再没有比这更低的分数，我当时是其中之一。以后虽然没有再考语文，但是语文这个关远没有过去。顺便可以提到，我的语文基础没有打好，多少年来，在各个时期，各种场合都给我带来不小的牵累（从早年的考试到以后的写作，甚至讲话发言）。近年来，不少场合要我讲话或是让我题词，我只能极力推辞，而主持人则很难谅解。这总使我想起上中学时，语文老师出了题而我觉得无话可说的窘况。

1937年，黄昆通过了潞河中学向燕京大学的保送考试，进入燕京大学。燕京大学与黄昆就读的通州潞河中学有十分密切的关系，两者均是美国基督教会办的。这些学校的教育虽然存在许多缺陷，然而相对比较宽松、开放和求实的环境熏陶了黄昆，使他养成了凡事独立思考，不盲目随从的习惯。黄昆根据自己的兴趣和特长，选定物理学为专业。燕京大学物理系成立于1925年，初创时就十分重视培养高层次的物理人才。燕京大学可能是中国最早培养物理学研究生的大学，同时也可能是20世纪30年代中国培养物理学研究生最多的大学（首届两人毕业于1929年，到1941年，共毕业物理学研究生33人，而北大物理系1935年才开始招收研究生，清华物理系抗战前只有1位硕士于1933年毕业）。黄昆入学时，燕京大学物理系有班威廉教授(William Band，英籍，系主任)、谢玉铭教授(前任系主任，谢希德先生之父)等，虽然研究实力比清华弱一些，但课程教学与训练都不错。中国著名物理学家张文裕、褚圣麟、孟昭英等都是从燕京物理系毕业的。燕京物理系本科课程设置门类较少，内容也较浅，课程压力远远没有清华等学校那么大。虽然这使黄昆“至今仍感自己的物理基础底子太薄，使我理解事物有许多空白”，但

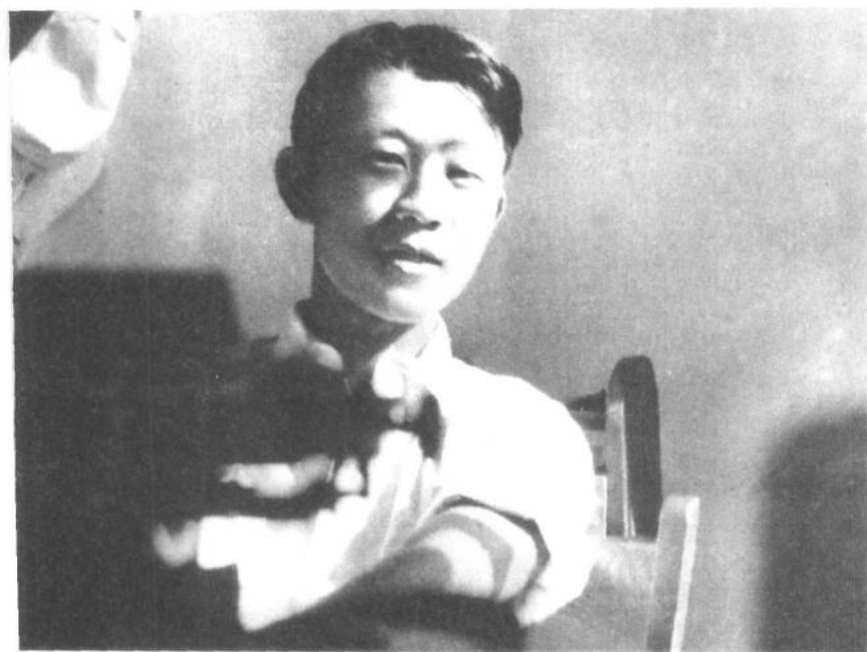


是，事物有两重性，正因为课程比较浅，分量不重，黄昆的学习得以比较主动，这对他的成长发展极为有利。黄昆年年获得最高奖学金，得到班威廉的器重。黄昆极其珍视这种主动性，他认为，无论学习还是从事研究，主动性都是最为重要的。

因为大学课程不重，各科学习成绩又都名列前茅，因此，黄昆有很多时间阅读各种书籍。他印象最深的有两本书：一本叫《数学家》(*Men of Mathematics*)，讲的是牛顿以来数百年间最伟大的数学家和物理学家的生平和贡献；另一本叫《探索微生物的人们》(*Microbe Hunters*)，主要讲发现细菌以后的一两百年中，科学家如何一个接一个地找到引发一系列重大病症的细菌及其防治办法。尤其是《探索微生物的人们》这本书对这些医学科学家的研究工作描写得非常感人。黄昆感到，科学家的事业是再辉煌不过的了。科学家们对科学事业的追求和献身精神，给青年黄昆很大震撼，影响了他人的人生道路，并培育了他对科学事业的兴趣和爱好。此外，黄昆还广泛阅读了古今中外不少名著，尤其是英文小说。也许是爱好探索大自然奥秘的生性，黄昆特别喜欢各类侦探小说和惊险小说。也正是在燕京大学图书馆的英文书架上，他发现了斯诺(E. Snow)的《西行漫记》(*Red Star over China*)，通过这本当时在中国的“禁书”，黄昆第一次了解到了中国工农红军和共产主义革命，并对此留下了深刻的印象。这本书影响了黄昆的一生。

在燕京大学学习期间，黄昆印象最深的是一位刚从剑桥大学毕业不久的英国教师赖朴吾(R. Lapwood)，他教大学一二年级的微积分。赖朴吾不仅讲课出色，而且还亲自组织少数优秀生成立了一个课外研究小组，研究包括这位老师当时自己也不懂而想弄明白的科学发展的新课题，如相对论、量子力学及矩阵数学等，是一位循循善诱的好老师。虽然大家最终都没有真正弄通相对论，但黄昆从中学到了矩阵代数的





◀ 黄昆在燕京大学物理实验室里（黄昆提供）

基本知识，这对他以后自学量子力学很有用。更重要的是，这项活动使黄昆的思想超越了上课学知识的框架，开始感受到生动的科学研究和发展，培养了他对科学的爱好与追求。这位赖朴吾先生后来成为很有成就的地球物理学家，曾多次访问新中国。

黄昆养成的主动学习的习惯以及当年燕京大学较为宽松的环境，使他能够在大学三四年级开始自学量子力学。20世纪，物理学是推动其他学科发展的带头学科，相对论与量子力学是奠定20世纪物理学发展的两块基石。20世纪初相对论的创立，揭示了空间和时间、物质和能量之间的内在联系；量子论（1900年）和量子力学（1923年以后的十年间）的创立和发展，揭开了人类认识分子、原子、核子、夸克、轻子的性质和各种物态结构的崭新的一页。在19世纪和20世纪之交，一系列新的实验发现，如黑体辐射、光电效应、放射性、电子轨道的稳定性等，与乍看起来已经十分完善的经典理论（牛顿力学、麦克斯韦电动力学和热力学统计物理）之



间产生了不可调和的矛盾。这几朵“远处天空中的乌云”使传统物理学陷入到了深刻的危机之中。1900年，德国实验物理学家普朗克（M. Planck）在分析黑体辐射实验数据时，假定光辐射能量与频率成正比，且按照量子形式辐射（能量一份一份地以分立形式而不是以连续形式辐射），得到了与实验符合的结果。爱因斯坦接受了量子的概念，1905年，用光量子的观念解释光电效应获得了成功。1912年，德拜（P. J. W. Debye）假定声波的能量也与频率成正比，比例常数也是普朗克常数，得到了与固体比热实验符合的结果。1912年，玻尔（N. Bohr）将量子论应用于原子结构，提出了玻尔原子模型，即原子内的电子处在具有能量不连续的定态上，原子在两个不同的定态之间跃迁时，吸收或辐射的频率是唯一的。这些都是早期量子论的成就。1923年，德布罗意（L. de Broglie）在其博士论文中提出了电子具有波动性的假设。1925年，海森伯（W. Heisenberg）、玻恩和约尔丹（E. P. Jordan）发表了量子力学的理论，其数学形式是用矩阵代数来表示的；一年之后，薛定谔（E. Schrödinger）发表的量子力学理论则是以波动方程形式表达的。其后，由海森伯提出的不确定关系、玻恩提出的量子力学波函数概率诠释以及狄拉克（P. A. M. Dirac）提出的关于电子相对论方程得到了一系列实验验证，于是，量子力学在1932年被基本建立起来。当黄昆在燕京上大学时，量子力学在国内还是一门非常神秘和深奥的学问，没有几个人能弄懂。黄昆对它非常向往。通过自学图书馆里仅有的几本介绍量子力学的书，黄昆初步打下了量子力学的基础，并在此基础上，完成了大学的毕业论文“海森伯和薛定谔量子力学理论的等价性”。黄昆的论文是论述这两种理论为何是等价的。这一工作本身并没有多少自己的创见，不过，通过这一实践，黄昆增强了对量子力学理论发展过程的参与感，觉得自己也进入了这一科学的前沿领域，这为以后的科学研究奠定了坚实的基础。



2. 群英荟萃



1937年7月7日发生了卢沟桥事变，中国人民抗日战争全面爆发，平津很快沦陷。中国北方的三所著名大学——清华大学、北京大学和南开大学被迫先迁到湖南长沙，组成国立长沙临时大学，又于1938年春迁到云南昆明，更名为国立西南联合大学。在中国人民抗战最艰难困苦的年代，西南联合大学培养出了杨振宁、李政道、黄昆、张守廉、李荫远、黄授书、邓稼先、朱光亚、钟开莱、王浩、廖山涛、戴传曾、李整武、黄祖洽等一大批杰出人才，开出了中国教育史上最绚丽的奇葩。

西南联大物理系由三校物理系组成。北大是中国最早培养物理学本科学生的大学，1916年就有五名学生在北大物理门毕业。到1937年，北大物理系共培养毕业生230人，为当时全国之冠。清华物理系1925年由叶企孙一手创办，1929年第一届物理系学生王淦昌等四人毕业，到“七七事变”前，清华物理系共有53名毕业生，其中许多人后来成为中国著名的物理学家。1937年，清华大学和北京大学的物理教学和科研均在全国名列前茅。南开大学物理系于1922年由饶毓泰创办，规模虽然较小，但也很有特色。西南联大物理系集中三校精华，人才济济，中国物理学界许多学术造诣很深的知名教授都在这里执教。当时来自清华的有叶企孙、吴有训、周培源、赵忠尧、王竹溪、霍秉权；来自北大的有饶毓泰、朱物华、吴大猷、郑华炽、马仕俊；来自南开的有张文裕；还有联大师范学院聘的许烺阳。与物理系有关的教授还有清华大学无线电研究所范绪筠、任之恭和孟昭英，其中任之恭和孟昭英也兼物理系教授。此外，西南联大物理系还有一批极其优秀的讲师和助教，他们大多是抗战前清华、北大的毕业



生，如林家翘、郭永怀、葛庭燧、虞福春、钱伟长、傅承义、慈云桂等等。西南联大的数学师资力量在当时国内也是最强的：清华有杨武之（清华算学系主任，杨振宁之父）、郑桐荪（陈省身的岳父）、陈省身、华罗庚、赵访熊；北大有江泽涵（北大数学系主任）、许宝騄；南开有姜立夫（南开数学系主任）。人称陈省身、华罗庚、许宝騄三位数学教授为西南联大“三杰”。西南联大物理系当时是全国最大的物理系，但每个年级本科生也只有一个班，每班人数从20至40不等。从1938年至1946年，西南联大物理系（含清华、北大、南开物理系）本科毕业生共130人。另外，1946年西南联大结束时，物理系学生入北大物理系继续学习者10人，入清华物理系继续学习者53人。除部分原清华研究院的学生复学外，西南联大物理系自1940年开始招收研究生，新招的研究生分别入清华、北大研究生院学习，分两校各自进行学籍管理，但课程是统一开设的。西南联大在1942年至1944年间共有七名物理学研究生毕业，此外还有多名肄业。西南联大物理系师资力量虽强，但物质条件方面十分匮乏。吴大猷在“抗战中的西南联合大学物理系”一文中回忆道：

物理系的参考图书及研究实验设备，实可谓“零”。教学实验仪器，则至为简陋，勉强应付，盖昆明与外交通的滇越铁路于1940年日入侵即已断绝，即有钱亦无从购置仪器。在“七七事变”前一年，华北情势危急时，清华大学曾将若干科学期刊的早期部分南运，惟这些早期刊，只在特殊情形时偶供参考，用途是有限的，常用的参考书籍及近年期刊则完全缺乏。又在“七七事变”前数月，南开大学亦鉴于局势日亟，将科学期刊装箱南运，经滇越铁路入滇途中，在越南之河内遗失若干。这些早期期刊，视作“科学财宝”则可，但到昆既无房舍列出，即列出亦无大用的。在昆明八年，笔者未曾试着去问这两批的“财宝”是否可参阅！倒是在到昆初



期去小东门的中央研究院化学研究所查阅些期刊,和偶去距离颇远的中研院天文研究所参考其图书。

.....

在书籍期刊实验设备均缺的情形下,很自然的,从事实验研究者无法工作,只有从事理论工作的还可以做些研究。在实验研究方面,赵忠尧用由北平带出来的五十毫克的镭做了些人工(中子)放射性元素实验;笔者试着用由北平带出来的光谱仪的棱镜等部分,放在木架制的临时性柱形(三棱镜)光谱仪,做 $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{NH}_3$ 晶体的拉曼光谱(为的是稍早在英国的余瑞璜从X射线研究的结果,引起我想出一个相关的问题)。西南联大物理系八年来的“实验研究”工作,成就就是这一点了;它们显然都不是重要的工作,但它们却是代表一种努力的精神——“知其不可为而为之”的精神。

.....

在理论研究方面,则情形好得多了。除周培源的湍流研究本身成就外,还引导了研究生林家翘;林(1939年)考取中英庚款出国后,解答了湍流理论上一个基本性的重要问题。王竹溪领导了杨振宁、李荫远从事一个统计力学问题的研究。马仕俊继续从事量子场论方面的工作。笔者到昆明的首年写了一册《多原子分子的振动光谱和结构》专著,做一些原子能态、自游离化理论等的研究。这些工作,都没有什么重要性,大概是因为在极端困难情形下做的,为笔者获得些意外的声誉。

1941年秋,黄昆在获得燕京大学学士学位后,经葛庭燧先生介绍,被西南联大物理系聘为助教。葛庭燧(研究固体内耗的国际著名的物理学家,1955年被聘为中国科学院学部委员)于1937年清华物理系毕业后,去燕京大学读硕士,1940年春,他担任黄昆大学三年级的近代物理实验课的助教。葛庭燧1940年夏获燕京物理系的硕士学位后,就去西南联大工



作。

抗战期间，从北京到昆明是一条漫长的路。黄昆途经青岛、上海、香港、桂林、贵州，绕了一个很大的圈子，整整花了两个多月，才到达昆明。黄昆南下还有另一个任务，那就是护送他大哥的未婚妻到昆明，与大哥黄燕完婚。黄昆第一次单独远行，还在上海丢失了支票，幸亏母亲在银行工作，及时挂了失，才不致造成很大的损失。

黄昆到了昆明，见到了西南联大物理系的系主任饶毓泰先生。饶先生第一次接见黄昆时就对他说，这里人很多，根本不需要助教，你在这儿可以钻研学问做研究。事实也确是如此。黄昆的教学任务只是每周带一次普通物理实验。据吴大猷说：“我接受了他(指黄昆)，让他半做研究生，半做助教，这样他可以得到一些收入。”

黄昆在这里如饥似渴地吮吸着物理学知识的精华。他不但听许多物理系高年级以及研究生课程，还选学多门数学系课程，如群论、微分几何等。黄昆在第一年里旁听了六门物理和数学的课，收益甚丰，开阔了眼界，打下了基础。西南联大物理系师资力量雄厚，在多个分支学科都有学术造诣很深的学者，一门课可以由多位教授讲，而一位教授也可开讲多门课程，因而，研究生课程内容十分丰富，这使研究生和青年教师可以接触到当时许多物理学发展的前沿问题。例如，“量子力学”分别由吴大猷、王竹溪、马仕俊讲授；“电动力学”由周培源、王竹溪讲授；“统计力学”和“动力学”由王竹溪讲授；“高等力学”、“量子力学与原子光谱”、“量子化学”和“物理学基础”由吴大猷讲授；“广义相对论”和“流体力学”由周培源讲授；“X射线”由吴有训讲授；“理论物理”和“原子核、场论”由马仕俊讲授；“放射性与原子核物理”由霍秉权、张文裕讲授；“光之电磁论”由饶毓泰讲授，等等。按当时的规定，要取得硕士学位，必须修满24学分的课程（70分为取得学分的最低成绩），并通过毕业初试和论

文考试。西南联大的教学质量是一流的，其中给黄昆印象最深的是吴大猷先生的课。2000年3月4日，得知吴大猷先生去世的消息，60年前的听课的情形又浮现在黄昆眼前：

我到达西南联大后听的第一门课就是吴大猷先生讲的“古典动力学”。听课下来后，我感到十分激动，觉得对物理学理论之精湛之处有了新的理解，对进一步学习物理进入了一个新的思想境界。我当时的感受并不是一时偶发的冲动，有一件事可以作为证明。1994年，吴大猷先生通过杨振宁先生赠给我一本书，它恰好就是由台湾新竹“清华大学”所复制的、我在1941年听课时吴先生的《古典动力学》讲稿。这本十分详细的宝贵资料充分显示吴先生讲课的深厚功底和一丝不苟的认真精神。在他赠给我的这本《古典动力学》讲义的扉页上，吴先生亲笔写了下面的一段话：“此袋内乃1941年秋季在昆明西南联大所授古典动力学课的讲学笔记……该课中约有20人，有研究生黄昆，四年级学生杨振宁、张守廉、李荫远、黄授书等人，对着这样一群学生讲古典物理中最完美的一部，是最愉快的一大事也。”这是吴先生在1993年写的话，事隔整整半个世纪，他诲人不倦、乐于教书育人的欣喜心情仍溢于言表。

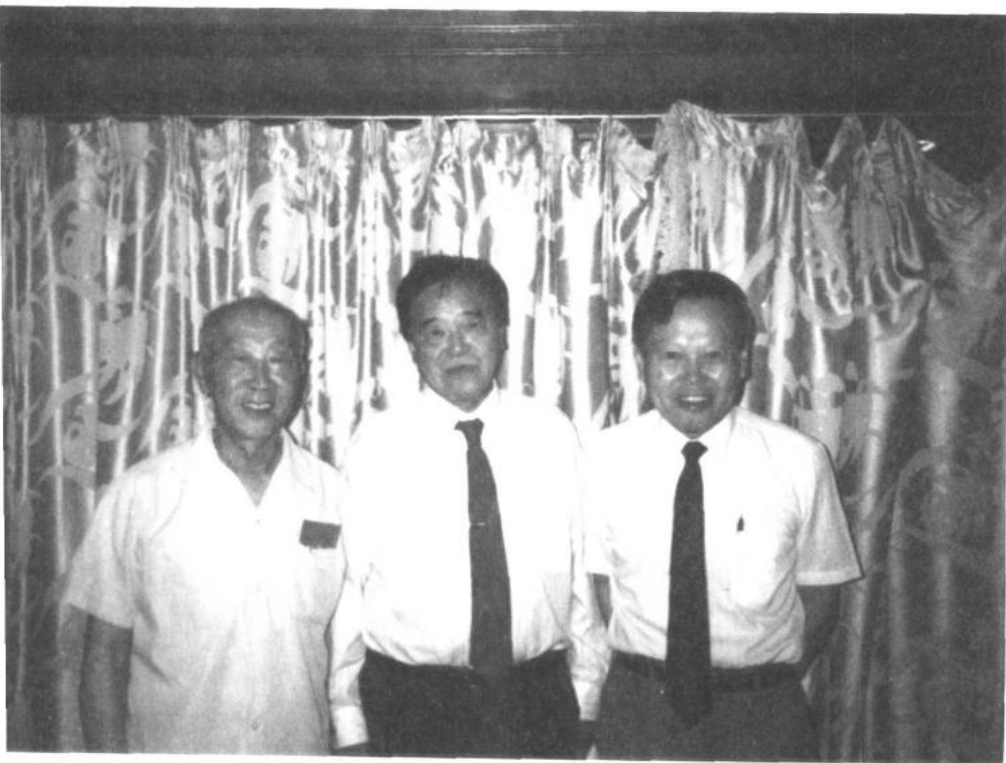
由于张守廉的缘故(张守廉在燕京大学比黄昆低一届，早一年转学到西南联大)，黄昆很快就结识了和张守廉同班的杨振宁。杨振宁1938年高中尚未毕业(仅念完高中二年级)就考取了西南联大化学系。他之所以报考化学系，是因为他没有学过高中物理。在准备入学考试时，杨振宁发现自己对物理学更有兴趣，于是入学时就转入西南联大物理系学习。黄昆、杨振宁和张守廉，三人学习思考风格迥异，但都是绝顶聪明的人。他们一起上吴大猷和其他许多先生的课，通过课堂和课后的交往，他们加深了对彼此人品与学问的了解，成



为形影不离的好友。人们称黄昆、杨振宁、张守廉三个人为西南联大的“三剑客”。1942年夏天，他们都报考了研究生。当时，西南联大招收的本科生是不分三所学校的，但研究生根据导师所属学校则分属不同的研究院（即现在的研究生院）。杨振宁和张守廉分别报考了清华大学王竹溪先生和周培源先生的研究生，黄昆则报考了北京大学吴大猷先生的研究生。他们三人虽然导师不同，但所学课程大多是共同的。黄昆是西南联大时期北大研究院物理系毕业的唯一的一名理学硕士。

西南联大的物质生活条件十分艰苦，教室是铁皮屋顶泥巴地，窗户也没有玻璃。下雨时，叮咚之声不停；刮风时，师生必须用重物把纸压住，否则就会被吹掉。研究生一般都住在学校的泥墙草顶的茅屋里。但是，正如杨振宁在1989年的一篇文章中所写到的：

▼ 1992年6月1日，西南联大时期的“三剑客”杨振宁（右）、张守廉（中）和黄昆（左）在北京大学勺园餐厅举行的周培源先生90大寿庆祝晚宴上重逢时留下的珍贵合影（沈克琦摄影并提供）



黄昆——声子物理第一人

我们的生活是十分简单的。喝茶时加一盘花生米已经是一种奢侈的享受。可是我们并不觉得苦楚；我们没有更多物质上的追求与欲望。我们也不觉得颓丧；我们有着获得知识的满足与快慰。这种十分简单的生活却影响了我们对物理的认识，形成了我们对物理工作的爱憎，从而给我们以后的研究历程奠下了基础。

当时研究生的补助金无法维持基本生活，必须寻找教学职位来增加收入。杨武之的朋友徐继祖先生是昆华中学校长，他安排黄昆、杨振宁、张守廉三个人分享昆华中学的一个教员职位，并提供一间住房给他们三人合住。昆华中学距离西南联大差不多三公里。他们白天通常在大学校园里上课、吃饭、上图书馆，晚上才回到房间睡觉。因为大学校园内不供应开水，他们就养成了一个习惯，每天晚饭后回宿舍前，花一到两个小时在茶馆里喝茶。后来，他们泡茶馆的主要目的已不是为了喝茶，而是为了交流。当时西南联大的学术讨论风气盛行，黄昆又从小酷爱争论，他们谈天说地，喝茶时争论不休。可以说，他们的课余时间主要就是在茶馆里度过的。正是通过学术讨论和课外无数次的辩论，黄昆、杨振宁和张守廉才真正认识了彼此，并从此结下长达60年的深厚情谊。杨振宁在一篇为祝贺黄昆70寿辰而撰写的题为“现代物理和热情的友谊”的文章中回忆道：

——杨振宁

从那些辩论当中，我记得黄昆是一位公平的辩论者。他没有坑陷他的对手的习惯。我还记得他有一个趋向，那就是往往把他的见解推向极端。很多年后，回想起那时的情景，我发现他的这种趋向在他的物理研究中似乎完全不存在。

我们无休止地辩论着物理里面的种种题目。记得有一次，我们所争论的题目是关于量子力学中“测量”的准确意



义，这是哥本哈根学派的一个重大而微妙的贡献。那天，从开始喝茶辩论到晚上回到昆华中学。关了电灯，上了床以后，辩论仍然没有停止。我现在已经记不得那天晚上争论的确切细节了，也不记得谁持什么观点，但我清楚地记得我们三人最后都从床上爬起来点亮了蜡烛，翻着海森伯的《量子理论的物理原理》来调解我们的辩论。

杨振宁又在另一篇回忆文章中写道：

想起在中国的大学生活，对西南联大的良好学习风气的回忆总使我感动不已。联大的生活为我提供了学习和成长的机会。我在物理学里的爱憎主要是在该大学度过的六年时间里（1938—1944年）培养起来的。诚然，后来我在芝加哥接触了前沿的研究课题，并特别受到费米（E. Fermi）教授风格的影响。但我对物理学中某些方面的偏爱则是在昆明的岁月里形成的。

而黄昆在最近一次接受媒体采访，谈到西南联大时期与杨振宁的交往时说：

跟他讨论问题，我觉得在当时对我有很大的好处。对他来讲，我觉得好处是少一点，因为毕竟他的天赋更高一些。所以我觉得我们两个人在那儿吵，在某种意义上不是完全平等的。

他们还讨论和争辩天下的一切事情：从古代的历史到当代的政治，从大型宏观的文化模式到新看的电影。黄昆是一位英文小说迷，他向杨振宁介绍了许多英美作家和他们的小说，如康拉德（J. Conrad）、吉卜林（R. Kipling）、高尔斯华绥（J. Galsworthy）等等。除了从学校图书馆借书，他们还



从当时在昆明随处可见的卖美军剩余物资的地摊上购买英文袖珍本的旧书。

1943年的春天,他们三个人觉得每天在大学和昆华中学两地间奔波很不方便,便放弃了昆华中学的工作,各自搬进大学的研究生宿舍。但是一直到抗日战争结束,他们仍保持经常见面。

黄昆在西南联合大学硕士研究生期间的导师吴大猷先生祖籍广东高要县,1907年生于广州。吴大猷五岁丧父,由母亲抚养成人,1921年随伯父到天津,考入南开中学。吴大猷读完高中二年级即参加大学入学考试,就读南开大学的矿科,后因矿科停办而转入理科,1929年毕业于南开大学。1931年,吴大猷获中华教育文化基金董事会(简称中基会)乙种研究奖助金资助留美,1933年获得美国密歇根大学博士学位,导师是古兹密特(S. A. Goudsmit,电子自旋的发现人之一),研究方向是原子物理。那时,在原子物理和分子物理方面,密歇根大学在美国居于领先地位。吴大猷在这个领域做出了许多重要贡献。1934年,在做了一年博士后以后,吴大猷回国,追随饶毓泰先生(吴大猷在南开时的老师),应聘到北京大学物理系任教授,主要从事原子和分子的量子理论及光谱实验研究工作。吴先生是将新的量子力学介绍到中国的最重要的物理学家。西南联大时期,吴大猷的主要研究方向仍然是在原子分子结构方面,但兴趣已逐渐转到“夜天空光谱”、高空气原子和大气物理问题方面。1946年出国后,他开始研究散射理论。20世纪60年代又开始等离子体物理的研究。吴大猷于1967年至1973年主持台湾的科学发展计划,1983年至1994年1月任台湾“中央研究院”院长。吴大猷的物理学知识博大精深,在物理学多个领域都有重要的建树。吴先生在他多年研究和教学的基础上,先后写出了全面概括物理学基础的七部理论物理系列教科书。最为人称道的是,



他培养了以杨振宁、李政道、黄昆等为代表的一批杰出的中国物理学家。1957年冬，杨振宁和李政道因提出弱相互作用中宇称不守恒的理论而荣获了诺贝尔物理学奖，他们得知这一消息后，不约而同地写信向吴大猷报喜并致谢。杨振宁在信中说：正是吴先生在“古典力学”课结束时给他出的论文题目和参考文章把他引入到了“群论”方向，这对他后来有关对称性的研究有极其重大的影响。而李政道在1944年夏读完浙江大学物理系一年级后，因车祸受伤，于1945年春来到昆明。因为在学年中间，不经考试不能转学，吴大猷等几位教授破格让李政道随班听讲考试，并答应他，若考试合格，可以在暑期后正式转至西南联大二年级，并免修二年级上半年的课程。1946年秋，李政道实际上已基本学完物理系的数理课程，于是，大学没毕业就被破格公派去美国念研究生，并被芝加哥大学录取。在此过程中，吴先生慧眼识人才，起到了关键的作用，成为中国学术界的一段佳话。

当时，黄昆在量子力学方面已有相当好的基础，正好能适应随吴大猷进行学习和研究的要求。应该说，在西南联大，黄昆是受教于吴大猷先生最多的学生。他不仅是吴先生的研究生，而且在做研究生的大部分时间里，他和吴先生住在一起，生活在一起。当时为了躲避日本对昆明的狂轰滥炸，西南联大的大部分教师分散住在昆明市郊区的农村里。吴大猷夫妇住在一个名叫岗头村的小村子里。岗头村距离学校约五公里，吴先生或步行或乘简易马车往返于联大与岗头村。1943年春的一天下午，吴大猷搭马车去联大上课。路上，由于马受惊，吴大猷从马车上跌了下来，以致后脑受震，卧病在床长达四个星期。吴大猷夫人阮冠世女士本来就因长期患肺病，身体十分虚弱，极需吴先生照料，吴大猷病倒后，她又急又累，待吴先生的病稍好些，阮冠世却倒下了。无奈之下，等筹措到一笔钱后，吴先生便陪夫人住医院，并请黄昆代为看家。当时因为抗战，联大教授的生活十分艰苦，吴先



生因为夫人的病开销尤其大。为了稍稍改善一下生活，吴先生曾买了两头小猪喂养，打算养到年底卖掉变换些钱用。后来小猪死了一头，黄昆住到岗头村时，剩下的一头已长得相当大了。猪长时间放养在野外，凶猛无比。而每天晚上，黄昆都得将它赶进猪舍。那真还不是一件容易的事，简直就像一场战斗。黄昆来信报告猪的情况，吴大猷也想不出好办法，只得回信叫黄昆去岗头村找人把猪卖掉，“也无心去计算为喂猪买了多少糠，花了多少本钱，到底是赚，还是蚀？”

吴大猷夫妇在岗头村住一排五间的泥地泥墙小屋。在这样的陋室中，吴大猷想方设法搭起了一套土制的光谱设备，试图开展一些实验研究。正如吴大猷在《回忆》一书中所写的：

——吴大猷《回忆》

北大物理系，离开北平时，曾将分光仪的光学部分（三棱镜）带出来了，于是我便请由美国回昆明的马大猷带了一具低压汞弧灯……找一位助教帮我把三棱柱等放在木制的架子上，拼凑成一个最原始的分光仪，试着做一些拉曼效应工作。

我想，在20世纪，在任何实验室里，不会找到一个仅靠一个三棱镜，并且是用一个简陋木架做成的分光仪。我们为此动了不少脑筋。通过实验，虽得到了一些结果，但都不是比较重要或极有意义的研究项目。但我总觉得这样做，总比坐着不干要好得多。

——吴大猷《回忆》

黄昆住在第一间小屋里，紧挨着放置那台土制光谱仪的实验室，由他住的小屋后门可以直接进入实验室。吴先生夫妇住在这排小屋另一端的一间泥屋里。吴大猷对学生十分民主，黄昆等学生随时都能与吴先生无拘无束地讨论，这使学生们获得了一个向导师学习的最好机会。令人难以想象的是，在这样的艰难时期，吴大猷在国际上首次写出了《多原子的振动光谱和结构》一书，成为以后多年该领域中国



际上采用的标准专著；在这样的情况下，还培养了黄昆这样一名研究生和杨振宁、李政道这样一群优秀的本科生。

1991年5月4日，美国密歇根大学授予吴大猷先生荣誉科学博士学位。密歇根大学物理系和杨振宁、李政道等人在授学位仪式的前一天，安排了一个“吴大猷研讨会”（The Ta-You Wu Symposium）。黄昆受邀赶到了安阿伯（Ann Arbor）。在研讨会上，黄昆作了题为“半导体量子阱物理中的轻重空穴混合”的报告，用自己最近在量子阱物理中的研究成果向半个世纪前的恩师汇报和祝贺。黄昆请人在一张透明片上画了当年吴先生在岗头村的那一排五间的小屋和拉曼谱仪，小屋里还画了一个学生在读康登（E. U. Condon）和肖特利（G. H. Shortley）合著的经典著作《原子光谱理论》（*The Theory of Atomic Spectra*），那个学生就是黄昆。这本书是吴大猷当时要他精读的书，对黄昆一生的研究事业有很重要的影响。当时，李政道作为听众坐在台下，他大声问道：“那头猪在哪里？”黄昆当然不会忘记那只凶猛无比的猪，指着画在角落



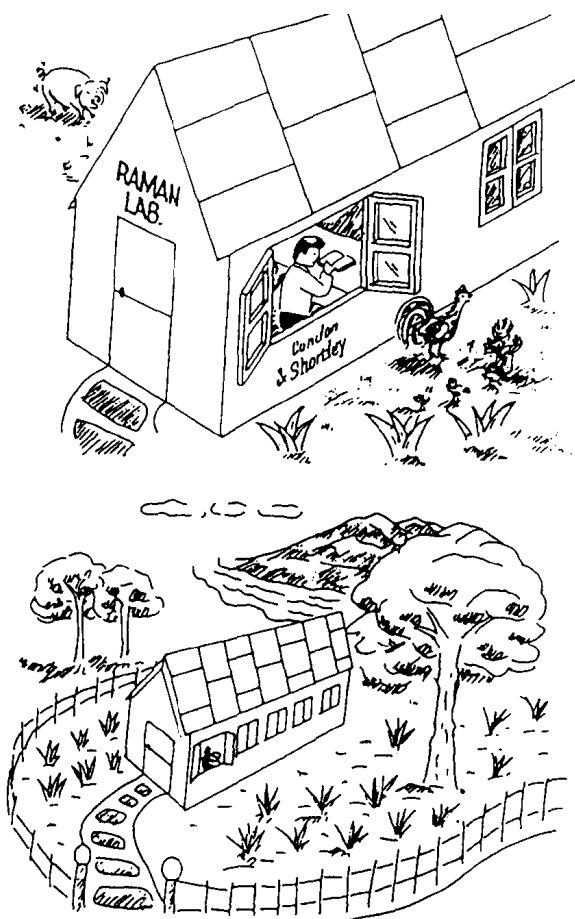
► 1991年，吴大猷（右）、黄昆（中）和杨振宁（左）在美国密歇根大学授予吴大猷先生荣誉科学博士学位的研讨会上（转载自《杨振宁文集》）



黄昆——声子物理第一人

里的猪说：“瞧，就在这里！”挤满了近400人的大讲堂里顿时充满了笑声。

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，使黄昆在这段十分艰难的日子里打下了扎实的物理学基础。黄昆在吴大猷指导下，写下了“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年他以优异成绩获得硕士学位。黄昆以第一项工作为基础撰写的题为“锂原子基态波函数”的论文，1945年初投美国《物理评论》(*Physical Review*)杂志，次年发表。这是黄昆在国际著名物理期刊上发表的第一篇学术论文。



◀ 1991年5月3日，在吴大猷研讨会上，黄昆在一张透明片上显示的当年吴先生在岗头村的那一排五间的小屋和拉曼谱仪实验室。在上半部分放大的示意图中，小屋里黄昆在读康登和肖特利的《原子光谱理论》，黄昆帮吴大猷饲养的那头凶猛无比的猪在左上角（黄昆提供）





第二章

留英六年



1. 师从莫特

留学生在中国近代史上起了十分重要的作用。容闳是中国近代史上第一个留学生(1847年)。1872年,他促成清政府同意每年选派30名幼童出洋赴美,这些幼童成为中国近代史上第一批公费留学生。1900年(庚子年)八国联军入侵中国,第二年,清政府被迫签订“辛丑和约”,赔款45 000万两白银,分39年还清,本息合计共98 000万两,其中美国得到3 294万两(不含利息),合2 444万美元,连利息合计超过5 300万美元。可事实上,美国政府用于军费及补偿美在华商人与传教士的损失只用去1 165多万美元,尚余1 270多万美元。1904年12月上旬,美国国务卿海约翰(John Hays)在与中国驻美公使梁诚的谈话中透露出:“庚子赔案实属过多。”这一信息立刻被梁诚捕捉到。经过长时间的谈判,自1909年起中国能够利用这笔美国退还的“庚子赔款”(1909至1940年,减赔款连利息共计2 892万美元),派遣留美学生和建立专门培养赴美留学生的“清华学堂”。1912年,清华学堂更名为清华学校,学制分中等科和高等科,共八年。高等科毕业生相当于大学二年级,毕业后全部送到美国,从大学三年级开始读起。1925年清华改制,添设大学部和研究院(国学门),开始招收四年制大学生和国学研究生。1928年,清华学校改名为国立清华大学。1929年,从第一届大学本科毕业生开始,清华废止了送全班学生出国留学的制度,清华基金改为委托中华教育文化基金会保管,并开始面向全国公开招考留美公费生。资助吴大猷留美的中基会研究奖励金用的也是“庚款”,但遴选方式为推荐而非考试。第一次世界大战以后,英、法等国为了表示与中国“友好”,以便用和平的办法维护和扩张其在华利益,也分别仿效美国,退还部



分“庚子赔款”。于是,第一届“庚子赔款”留英公费生于1933年开始公开招考。

1944年夏,黄昆、杨振宁和张守廉于西南联大研究生毕业。为了强国救国,当时西南联大理工科学习最好的学生毕业后大多以到美国、英国等发达国家留学为第一选择。清华第六届留美公费生物理学专业只有一个名额,杨振宁考取了,成为22名录取者中惟一的一名学习物理专业的学生,去芝加哥大学研究基本粒子物理。张守廉去美国普度(Purdue)大学研究电子工程,而黄昆则被录取为“庚子赔款”留英公费生。第八届“庚子赔款”留英公费生中,物理学共有两个名额,洪朝生(中国低温物理学家,中国科学院院士)考取了另一名额。洪朝生同时也考取了清华第六届留美公费生无线电专业。他决定去美国留学,“庚款”留英的另一名额由梅镇岳递补。按照“庚款”留英规定,去英国什么学校,选哪位科学家做导师,都可先由本人提出志愿,再取得接收方的同意。当时,有一位英国教授给西南联大捐赠了一大批在英国出版的科学著作,黄昆对这批书很感兴趣,大部分书他都翻阅了一下。引起他特别注意的是一位名叫莫特(N. F. Mott)的英国物理学家。这批书中有莫特写的三本书:《原子的碰撞理论》、《金属与合金的电子理论》和《离子晶体中的电子过程》。这三本专著覆盖了三个很不相同的领域,每一本专著的出版,都标志着一个学科方向的诞生。黄昆感到这位科学家的学识非常渊博,此外,黄昆还被后两本书的新颖内容所吸引,觉得对莫特研究领域的内容非常有兴趣。基于这两方面原因,黄昆决定到英国布里斯托尔大学(University of Bristol)做莫特教授的博士生,并被莫特接收。

当时,按照考试委员会“凡录取各生应在原机关服务留待候信”的规定,从录取名单公布到最后成行,通常要有一年的“留待时间”。恰好在这一年,政府出台了一项新的规定,明令不准许国立大学再招聘新的教学人员。这样,黄昆



在西南联大毕业以后尚未去英国之前，面临失业的威胁。吴大猷对黄昆十分关心，主动与当时昆明天文台张珏哲台长商量，聘请黄昆为天文台的助理研究员，以解决黄昆的困难。杨振宁则在“留待时间”到联大附中教了一年的“范氏大代数”，教课之余则研究“场论”。后来成为杨夫人的杜致礼当时就是杨振宁班上的学生。1945年夏，黄昆乘飞机到达印度，在孟买等候船只去英国。当时第二次世界大战即将结束，美、英都有专门的运兵船运送在亚洲的大兵复员回国。这些船若有空位置，可以搭载其他的平民旅客。黄昆等了一个来月，等到了英国运兵船上的空位，住在船最底下的F舱，经过苏伊士运河到达英国。杨振宁则稍后飞到印度的加尔各答，在那里等了两个多月，也搭乘美国运兵船赴美。

1945年10月，黄昆终于来到布里斯托尔，在布里斯托尔大学做了莫特的研究生。布里斯托尔是英国西南部最大的城市。布里斯托尔大学是一所历史悠久、在英国享有盛誉的大学。它的哥特式建筑标志着传统，而它在英国最早招收女大学生的记录，又表明它的开放与进步。布里斯托尔大学许多院、系（特别是一些理工科）在英国名列前茅，总的排名在全英前五位。著名的量子力学物理大师狄拉克就毕业于布里斯托尔大学。

黄昆是第二次世界大战结束后莫特招收的第一位博士生。莫特于1905年出生在英国利兹（Leeds），先后在克利夫顿（Clifton）学院、布里斯托尔大学和剑桥大学圣约翰学院攻读数学和理论物理并获得学位。他在剑桥时用量子力学研究原子间碰撞问题的开创性研究作为他在学术界赢得了声誉。1933年，莫特才28岁，就担任了布里斯托尔大学梅尔维尔·威尔斯（Melville Wills）理论物理教授。到布里斯托尔短短几年，莫特又因金属和合金方面的研究成果而享誉国际学术界。1948年，他成为布里斯托尔大学亨利·奥弗顿·



威尔斯 (Henry Overton Wills) 物理教授和亨利·赫伯特·威尔斯 (Henry Herbert Wills) 物理实验室主任。在布里斯托尔的21年里,莫特领导的研究组还对半导体、绝缘体、感光材料、无线电波的传播、爆炸等一系列课题中的理论物理问题做了深入的研究,成为英国最负盛名的理论物理研究组。1954年至1971年,莫特被任命为著名的剑桥大学卡文迪什物理教授,1962年被封为爵士。尽管卡文迪什实验室和剑桥大学的管理工作占去了他大量的时间,但他仍在第一线做研究工作。1977年莫特荣获诺贝尔物理学奖的研究工作——无序系统的电子结构就开始于20世纪60年代。以莫特名字命名的“莫特转变”描述了固体中的一种金属-绝缘体相变,在固体电子论中起了奠基作用。莫特于1996年去世,去世前几年,80多岁高龄的莫特还活跃在高温超导研究领域。莫特是20世纪最伟大的理论物理学家之一,他在半导体物理和固体物理领域的成就有极重要的应用价值,如改进包括计算机存储器在内的电子线路元件的功效,提高太阳能电池效率等等。

黄昆到达布里斯托尔大学时,莫特虽刚年满40,但已是当了近十年英国皇家学会院士(1936年)的布里斯托尔大学资深教授,国际著名的固体物理学家。可以说,黄昆选莫特教授做自己博士研究生的导师,实际上也就把自己将来的研究方向定为固体物理学。

固体物理学主要研究金属、绝缘体、半导体等固体材料的电学、光学、力学、声学、磁学、热学的性质。如果说,建立在经典物理基础上的固体物理主要是以唯象理论为基础,从事晶体的对称性、金属导电的自由电子气理论、固体比热、铁磁体等研究,那么,建立在量子力学和统计力学基础上的现代固体物理则是研究固体内部的原子(离子)和电子在各种周期性和非周期性结构中运动的特点以及由此决定的固体各种性质。现代固体物理作为一门学科大致形成于1940年。



近年来,固体物理的研究对象已扩展到了液体等软物质,并合称之为凝聚态物理。莫特的《金属与合金的电子理论》和《离子晶体中的电子过程》这两本著作对固体物理学科的形成起了重要作用。现代固体物理学的形成和发展是20世纪物理学学科发展最具重大意义的事件之一,它不仅是物理学各个分支学科中研究对象最丰富多彩和千变万化的一个研究层次,而且它奠定了以半导体集成电路、激光器等为代表的20世纪高新技术的理论基础。黄昆能够在学科发展的早期即进入到这一大有作为的学科前沿领域,并且选择莫特作导师,一进入学科就站在了高起点上,应该说,这是一种难得的机遇。然而,机遇或大或小,一个人一生中都有机会碰到。没有准备,机遇将擦肩而过;有了充分准备,机遇就会被抓住。正是在燕京大学自学量子力学时打下的扎实基础,在西南联大时期名师指点、优秀同学激励和良好的学风,加上自己的刻苦钻研,使得黄昆能在固体物理发展的黄金年代,牢牢抓住机遇,并作出重大贡献。

硕士毕业去英国读博士学位不需要另外一门门地读书考试,也不需要通过美国博士研究生必须通过的“资格考试”,马上就可以进入研究领域。莫特教授一开始给了黄昆两个博士论文研究题目,让他选择。第一个题目是理论研究稀固溶体的X光衍射。所谓稀固溶体,实际上就是两种金属组成的合金,只不过以一种成分为主(被叫做母体,或溶剂原子),另一种成分(溶质原子)的比例则远远低于母体。莫特向黄昆指出,在稀固溶体中,溶质原子和母体原子大小的差异会使固溶体原子的位置发生偏离,这应当会像热振动那样影响X光的衍射谱。莫特给黄昆的第二个题目是计算小角度晶粒间界的能量。黄昆觉得自己的物理背景和以前的训练都倾向于系统的理论研究,而对如何处理晶粒间界问题毫无头绪,便决定研究稀固溶体的X光衍射问题。



1895年, 伦琴(W. C. Röntgen)在研究气体放电时发现了X射线, 揭示了原子内部的结构, 从而揭开了20世纪物理学大发展的序幕, 伦琴也因此成为第一个诺贝尔物理学奖获得者。X射线是一种波长非常短的电磁波, 起源于原子内壳层的电子电离(产生空穴)后, 较高壳层轨道电子或处于连续态的电子掉到此空穴内而放出的光子。X射线具有很强的物质透射能力, 入射到材料中, 会被物质原子的电子所散射。由于X射线的波长约为几埃($1\text{ 埃}=10^{-8}\text{ 厘米}$), 与固体晶格常量接近, 因此, 它在物质材料微观结构分析方面有着非常广泛的应用。对于具有严格周期对称性的完整晶体, 当相邻原子平面反射的X射线程差为X射线波长的整数倍时(即 $n\lambda = 2d\sin\theta$, n 为整数, λ 为X射线波长, 程差 $2d\sin\theta$ 中的 d 为相邻原子平面间隔), 会发生相长干涉, 此时, 在一定的反射角 θ , 会出现非常尖锐的衍射峰。或者说, 在波矢(反比于波长, 是平行于波传播方向的矢量)空间, 如果入射与散射的X射线波矢差等于晶体倒格矢, 则会出现布拉格峰。布拉格峰的峰高与样品的体积平方成正比, 而峰宽则反比于晶体尺寸。对于大块样品来说, 布拉格峰非常尖锐。这是固体物理中众所周知的布拉格定律。

然而, 实际材料中的原子往往偏离严格的周期排列。一种可能的原因是由于晶体中原子的运动。晶体中的原子总是围绕晶格平衡位置不停地振动, 即使在绝对零度下也有量子涨落。温度升高会使晶体原子的热运动加剧, 使晶格偏离其平衡位置的幅度加大, 从而在布拉格峰附近观测到附加的散射峰, 这种X射线漫散射被称为热致漫散射。另一种可能的漫散射机制是, 材料中外来杂质与缺陷会引起晶体原子偏离严格的周期排列, 这就是莫特建议黄昆所要研究的问题。

黄昆在研究稀固溶体的X光漫散射时, 抓住物理本质, 提出了一个简化模型, 其主要假设为:

- (1) 杂质原子与母体晶格原子的体积不同, 但为简单起



见，假定每个原子对 X 射线的散射是相同的；

(2) 无序分布在稀固溶体中的杂质原子可看作是一个个孤立的畸变中心，即每个中心的贡献被认为是互相独立的，所有的贡献线性叠加后形成晶格位移场；

(3) 畸变中心造成的弹性位移是各向同性的，与距离的平方成反比。

在此模型下，理论推导是比较直截了当的，经过理论计算和取平均以后，黄昆得到长程弹性畸变导致的 X 射线漫散射的主要特点：

(1) 杂质原子的存在使布拉格衍射峰强度减小了一个因子，该因子正比于倒格矢的平方，且与杂质浓度有关；

(2) 在布拉格峰附近，漫散射有一定的强度分布。在垂直于倒格矢方向上，漫散射为零；在平行于倒格矢方向上，漫散射强度随偏离布拉格角的增大而迅速下降；

(3) X 射线漫散射与热漫散射在形式上比较相似，但微观机制及定量规律很不一样。在常温下，点缺陷畸变场导致的漫散射往往被热效应掩盖。

莫特对黄昆很快完成这项工作非常满意。1946 年 9 月，他在黄昆撰写的论文“稀固溶体的 X 光漫散射”中加上无数个英文定冠词“the”以后，就直接寄给《英国皇家学会录 A》(*Proceedings of the Royal Society A*) 发表，并建议黄昆主动向法国著名的实验晶体学家吉尼耶(A. Guinier)介绍这项研究成果，以引起他的兴趣，从而进行有关的实验研究。在一次吉尼耶出席的在布里斯托尔的招待会上，初出茅庐的黄昆因为怯场而未能这样做，事后莫特很不以为然。

黄昆相信自己的理论预言是正确的，相信自己所预言的现象完全可以在低温下被观测到。然而，由于受实验技术的限制，上述预言一直过了 20 年才由德国的派斯尔 (H. Peisl) 等科学家观测到。派斯尔等人研究所用的样品是用 γ 射线辐照过的氟化锂晶体。用高能量的 γ 射线辐照晶体的目的是在



晶体中产生多种点缺陷，如空位（晶格上的原子被激发到其他位置，在原先位置产生空缺）和间隙原子（原子被激发到几个晶格原子中间的空隙）。这种 γ 射线辐照过的样品在做X射线散射实验时，被观测到了由点缺陷长程位移场所引起的漫散射，证实了上述黄昆预言的漫散射强度分布规律。此后，国外科学工作者在快中子辐照过的铜晶体和电子辐照过的铝晶体等材料中也都观测到了这种漫散射，因此，这种新的物理机制被国际学术界普遍承认。为了区别于热致漫散射，这种漫散射在文献中有时被称作“黄漫散射”(Huang's Diffuse Scattering, 缩写为HDS)，或简称为“黄散射”。但是，由于当时中国正处在“文化大革命”的动乱中，黄昆过了好几年才知道德国科学家在这个领域的实验进展。

1972年，德国物理学家特林考斯(H. Trinkaus)推导了典型点缺陷（如间隙原子、空位等）的黄散射表达式。在各

▼ 黄昆与“黄散射”实验的发现人——德国的派斯尔(H. Peisl)博士(右)在讨论，中间坐着的是中国科学院半导体研究所蒋四南研究员(黄昆提供)



向同性假设条件下,黄散射在倒易空间中的分布是切于倒格点的两个球面簇,通常称作黄(昆)球。特林考斯等人还对各种类型的各向异性位移场引起的漫散射作了平均处理。他们的分析表明,利用黄散射零强度面(线)与等强度面(线)的位置、形状等特征,可以倒推出点缺陷的结构(如点缺陷种类、对称性、缺陷大小等)。这样,通过测量倒易空间X射线散射强度的分布,就可以从实验上测定晶体缺陷的浓度和结构。从20世纪60年代末至70年代初,经过一系列实验和理论研究,黄散射发展成为一种能直接有效地研究晶体中微观缺陷(如离子注入硅单晶的缺陷)的手段。

近年来,对黄散射的研究仍在深入。人们在小角度掠射条件下观测到表面层(0.1微米)的黄散射,也观测到在中子散射实验中的黄散射。随着实验手段的日益完善,特别是更加理想的同步辐射光源的利用,黄散射还将在探索晶体微结构缺陷上发挥更大的作用。

在黄昆开创的这个X射线研究的新的分支领域,黄昆只写了“稀固溶体的X光漫散射”这一篇文章,以后他再也没有回到这个研究领域,他也不认为这是自己最重要的工作。但是,这篇论文确实标志黄昆的研究工作上了一个新的台阶。虽然在西南联大攻读硕士学位期间,黄昆在吴大猷指导下撰写过三篇论文,但“稀固溶体的X光漫散射”是黄昆第一篇受到物理学界长时间重视的论文。半个世纪以后,这篇论文仍被在此领域工作的科学家每年平均引用六到七次。

由于很快就做完了莫特指定的博士论文题目,黄昆利用剩余的大量时间阅读文献,思考问题,并尝试独立地做进一步的研究工作。黄昆的第二项研究工作也与稀固溶体有关,是理论计算银中溶入金原子的稀固溶体的结合能和残余电阻率。这看上去似乎是计算一种具体材料的特定的物理性质,但黄昆的着眼点是要在理论上探索一种新的物理现象。更值



得指出的是，这个研究题目是黄昆自己给自己出的。当时，黄昆读了莫特的一篇关于异价原子的固溶体的文章。这种固溶体的特点是，由于溶质原子和溶剂原子的原子实荷电情况不同，因此，金属中电子气将重新分布以响应不同的电荷中心。莫特用托马斯-费米（Thomas-Fermi）方法处理了这种情况下出现的电荷屏蔽问题。托马斯-费米方法是一种确立空间电子气浓度、电势与费米能级（绝对零度之下的电子最高填充能量）之间关系的近似方法，它最早用在多电子的原子体系，后被推广到固体材料。黄昆从莫特的这篇论文中第一次知道了托马斯-费米方法，并对它的简单和有效性印象很深。他由此想到，同价元素的稀固溶体，例如金银稀固溶体，虽然它们的原子实的荷电情况一样，但由于它们的功函数（材料费米能级与真空能级之间的能量差）不同，在金原子处可能形成势阱，电子可以堆积在阱里，由此产生的电荷在空间的不均匀分布及屏蔽势同样可用托马斯-费米方法估算。就这样，黄昆提出了研究同价原子金和银的固溶体的结合能和残余电阻率问题。除去研究同价原子构成的固溶体中的电荷屏蔽分布这样一种新的物理机制外，黄昆在这项研究中，还创造性地采用了量子力学散射理论的相位移方法，从理论上来计算电子波函数。

黄昆的方法实际上可以直截了当地得到金属中电荷屏蔽势与电荷密度的夫里德耳振荡。固体物理中十分著名的“夫里德耳振荡”是夫里德耳（J. Friedel）提出的，他于1948年到布里斯托尔大学跟莫特做研究，后来成为莫特的女婿。夫里德耳到布里斯托尔大学时，黄昆刚离开布里斯托尔。非常可惜，黄昆在这篇论文中只给出了电势与电荷密度分布的短程变化趋势，而未能进一步把电势与电荷密度分布的长程振荡部分的函数关系显示出来。尽管如此，黄昆的这项研究仍然颇有影响。黄昆曾数次遇到国外科学家，他们特别提到他的这项研究。有的科学家甚至认为，“夫里德耳振荡”应该叫



“黄振荡”。直至50多年后,论文“金银稀固溶体的溶解热和电阻率”还常被国外科学家在论文中引证。

在布里斯托尔大学研究生学习期间,黄昆在莫特指导下,一共完成了“稀固溶体的X光漫散射”、“金银稀固溶体的溶解热和电阻率”和“轻核的束缚能”三篇论文。其中前两篇论文黄昆是唯一的作者,第三篇论文的第一作者是弗勒利希(H. Fröhlich),黄昆是合作者。

在博士研究生阶段,黄昆深受莫特治学风格的影响。莫特对许多物理问题有很深的洞察力,极善于透过错综复杂的表面现象去把握本质。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。莫特使黄昆认识到:真正进入科研领域,是通过对一个又一个具体的科学问题的解决而逐步发展的。与没到布里斯托尔大学以前对莫特的印象不同,黄昆惊奇地发现,莫特并不崇尚泛泛的博学多闻,而是集中精力,专注于思考并解决他所感兴趣的具体科学问题。与莫特讨论其他问题时,他往往用几句话就把你打发开,或用打岔的办法给敷衍过去。黄昆后来才领悟到,正是由于莫特的这种专注的治学特点,才使他能在十年之内在几个不同的领域取得重大成就。莫特的多部专著覆盖了很宽广的知识面,看起来十分博学,反映了他在先后不同时期所钻研的不同对象。莫特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、走弯路,并且懂得重视实验和理论的联系”。但也无庸讳言,长时期习惯于把兴趣集中在自己所研究的问题上,这也给黄昆带来一些局限性。

黄昆到英国留学,没有感到任何学业上的困难。事后回顾,黄昆觉得,虽然自己名义上是硕士毕业去念博士,但其实际水准,特别是在量子力学方面,已远远超过了他的英国同学,达到了博士后研究人员的水平,因而黄昆能够在很短的时间内完成博士论文,并完全能够独立自主地开展研究工



作。这显然与黄昆在西南联大所打下的基础密切相关。不仅黄昆如此，杨振宁、李政道等其他一大批人也都是如此。由此可见，当年的西南联合大学，尽管物质条件极差，培养的学生人数也不多，但培养出来的学生质量已接近甚至不低于国际一流大学的水准。应该说，世界一流大学的标准有多条，培养出众多世界级大师是最主要的标准。今天我们的物质条件远远好于当年的西南联大，却没有培养出几个国际大师级的人才，这里面的经验与教训，在争创世界一流大学的今天，值得我们认真总结和思考。

2. 与玻恩一起撰写学科的“圣经”



黄昆在英国留学获得公费资助的期限是三年。1947年春，黄昆用了一年半时间完成了“稀固溶体的X光漫散射”和“金银稀固溶体的溶解热和电阻率”两项研究，并完成了博士论文。但按照布里斯托尔大学的规定，最早也要等到1948年元月才能举行正式的授予黄昆博士学位的典礼，这中间还有大半年的时间。黄昆觉得，老呆在一个地方对扩充自己的知识面、增长自己的才干有局限性，于是打算换个地方进修。在黄昆的心目中，当时英国研究固体物理的主要机构，除了布里斯托尔大学的莫特小组，就是爱丁堡大学的由马克



斯·玻恩教授领导的研究小组。

玻恩是国际公认的量子力学奠基人之一和晶格动力学学科的奠基人。玻恩1882年生于德国，一生三进格丁根大学，是格丁根大学的博士、讲师和教授。玻恩的数学功底非常扎实，受到数学大师希尔伯特和闵可夫斯基的赏识，他也曾为选择数学还是物理作为他的专业而犹豫不决。玻恩是量子力学德国格丁根学派最辉煌时期（20世纪20年代）的领袖。当年，海森伯和泡利（W. Pauli）两位诺贝尔物理学奖获得者，以及约尔丹、洪德（F. Hund）、休克尔（E. Hückel）、罗森菲尔德（L. Rosenfeld）、海特勒（W. Heitler）、诺德海姆（L. Nordheim）等一批第一流理论物理学家作为他的助手和他一起在格丁根奠定了矩阵力学的基础。玻恩首先在文献中提出了“量子力学”这个学科领域，是量子力学波函数概率诠释的提出者，对量子力学的发展有过重大贡献。为此，他在1954年获得诺贝尔物理学奖。

晶体中原子会围绕其平衡位置作微小振动，这是晶体中原子的一种最基本的运动方式。晶格动力学就是处理晶体中原子之间的相互作用、晶体结构、晶格原子振动以及与之相关的力学、光学、电学和热学性质的一门学科。爱因斯坦第一个认识到这种运动方式的重要性，并进行了理论研究，提出了晶格比热的爱因斯坦模型。1912年，玻恩和冯卡门（T. von Kármán）合作，发表了“关于空间点阵的振动”的论文，和德拜分别提出了格波的概念，发展了处理晶格中微振动的理论方法和正确的物理图像。玻恩自1910年起就致力于晶格动力学的研究工作，该学科几十年的研究进展大部分是由玻恩和他的学生以及合作者完成的。随着凝聚态物理实验技术和理论计算的进展，特别是在成功地用中子散射技术测量了声子色散关系以后，晶格动力学便成为现代凝聚态物理学的一个重要的分支。在这个发展过程中，玻恩是晶格动力学学科无可争议的奠基人和权威。莫特曾经在玻恩的自传的序言



中写过：

他对晶体物理学的巨大贡献（这是他独立完成的）本身就是诺贝尔奖的成就，如果没有玻恩，这些工作恐怕还要等上十年或更多的时间。至于量子力学，玻恩工作的重要性还要大一些。

1933年，希特勒上台不久，玻恩因其犹太裔背景，被迫离开德国格丁根大学的教授位置，去英国剑桥大学任访问学者。1936—1953年，玻恩任英国爱丁堡大学自然哲学泰特教授（Tait Professor of Natural Philosophy）。玻恩在爱丁堡先后共培养过三位中国博士研究生，他们是彭桓武、杨立铭和程开甲（后来，这三位都成了中国科学院院士）。通过程开甲的介绍（程当时正在爱丁堡大学），黄昆得到玻恩的同意，去爱丁堡大学作为期半年的学术访问。

玻恩早在1915年就用德文写了一本《晶格动力学》。鉴于量子力学建立以后一直没有人以量子力学的观点重新系统地阐述晶格动力学理论，身为量子力学和晶格动力学两个领域的开创者，玻恩早就计划以量子力学为基础再写一本《晶格动力学理论》。也许由于玻恩受数学的影响太深，他的研究风格是从一般到特殊，即先建立非常一般的理论模型，由此再得到具体材料的物理特性，因此玻恩写《晶格动力学理论》这本书的计划，是从量子理论的最一般原理出发，以演绎的方式尽量推导出晶体的结构和性质。第二次世界大战前和大战中间，玻恩已断断续续写了若干章节。但是战后，由于他忙于其他研究，且年事已高，这部著作的撰写被搁置了下来。

当时英国物理系学生中很少有人懂德语，了解晶格动力学的人更少。黄昆略通德语，读过玻恩用德语写的两本小册子，对他的晶格动力学理论有基本的了解。玻恩很高兴有黄昆这样一位年轻人熟悉他的理论，就把他战前开始撰写的



《晶格动力学理论》的手稿让黄昆阅读。经过一段时间的讨论，玻恩发现，黄昆熟悉这门学科，并有深刻见解。玻恩就向黄昆建议，由黄昆与他合作，共同完成该书的写作。黄昆对这个领域颇感兴趣，又觉得这是一个发挥自己聪明才智的机会，很愿意从命。有趣的是，黄昆当时还有一个观点，认为写论文别人不一定看，因为国际上一年时间里要发表很多论文，而专著则容易受到别人注意。以后的事实证明，这个观点也有片面性。

对黄昆来说，要写书，在时间与经济资助上都存在问题。跟现在国内一些人的想法不同，当时绝大多数留学生出国的目的是学习国外的先进科学技术知识，拿到学位后就回来工作。“庚款”留英资助的出国留学时间是三年，黄昆在1947年完成博士论文后，曾早早写信给吴大猷，谈及自己回国后的工作问题。经吴大猷支持，黄昆当年就收到了北京大学的教授聘书，并准备在三年留学期满后立即回国任教。另一方面，资助黄昆的“庚款”留英奖学金到1948年10月就要结束，而对于写书来说，剩余的几个月时间是远远不够的。因此，黄昆并没有立即接受玻恩的提议。

黄昆将写书的事写信给北京大学理学院院长饶毓泰，征求他的意见，饶先生热情地支持黄昆承担这一工作。1948年初，黄昆回到布里斯托尔接受博士学位，并碰到了弗勒利希，资助问题因此有了转机。当时，在布里斯托尔大学物理系担任讲师的弗勒利希已经颇有名望，正好要去利物浦大学新成立的理论物理系担任系主任。弗勒利希曾和黄昆合作研究过，了解黄昆的学识与为人。他问黄昆，是否愿意到利物浦大学作为期三年的帝国化学工业公司(Imperial Chemical Industries, ICI)的博士后研究员？黄昆问弗勒利希：能否同意他以一半时间从事《晶格动力学理论》这本书的写作？弗勒利希表示完全同意。这样，黄昆便接受玻恩的建议，在玻恩手稿的基础上写书，并在每年暑假携稿去爱丁堡与玻恩讨论。





玻恩原先计划的抽象、演绎的表达方式和纲要并不合黄昆的口味，因此他增写了第一部分“基础理论”。按照黄昆的设计，第一部分共分三章，均为比较基本的导论，这几章应该比较容易理解，尔后再逐步引申至书的第二部分的“普遍理论”，即玻恩已断断续续地开始写了若干章节的那些内容。有一段时期，黄昆和玻恩为要不要在晶格动力学的系统推导之前加上基本导论性的三章而发生了争执。黄昆坚持，这是他作为合作者的先决条件。最后，玻恩不得不作了让步，因为如果没有黄昆的合作，这本书仍将被搁置起来。因此，这本书最终被分为“基础理论”和“普遍理论”两部分。“基础理论”的三章分别是“原子结合力”、“晶格振动”和“晶体弹性与稳定性”，其中包含所有晶体的基础知识与实验应用；“普遍理论”部分由四章构成，分别为“量子力学基础”、“长波方法”、“自由能”和“光学效应”，主要由一般理论及由此导致的一些更为复杂的实验事实所构成，包括理论预言

▲ 黄昆在利物浦大学做博士后时与弗勒利希 (H. Fröhlich) (中) 和巴蒂亚 (A. B. Bhatia) (右) 的合影 (黄昆提供)



的一系列新的光学现象，如晶体中红外吸收的精细结构（即所谓“残余线”）、晶体中的拉曼散射等等。这些理论结果在20世纪60年代激光发现以后，已一一被实验所证实。多年以后，黄昆曾说起，《晶格动力学理论》这本书之所以有很大的影响，一方面固然与出书后固体物理学的兴起和蓬勃发展分不开，但另一方面还与这前三章的“基础理论”有关，因为许多实验工作者对基本的唯象理论更感兴趣，也更容易掌握一些。其实，做研究工作的人在工作中要阅读大量的参考书。与教科书不同，很少有几本参考书被人从第一页读到最后一页，一般来说，经常阅读的章节就是那么几页或几十页。对于一本书，很容易判断经常被人翻阅的是哪部分：从书的侧面看过去，纸的颜色相对越黑，表明这部分被阅读得越多。据笔者在几个图书馆的观察，黄昆极力主张要写的第一部分，往往比第二部分更“黑”一些。

《晶格动力学理论》全面地总结了玻恩学派关于晶格动力学的基本理论。黄昆不仅以严谨的论述和非常清晰的物理图像对固体物理学中这个最基本的领域进行了系统的总结，而且还以一系列创造性的工作，发展和完善了这个学科的理论。玻恩对这本书显然十分满意。他在《晶格动力学理论》的序言中写道：

黄昆成功地完成了任务，不过，本书已变得和我原来的计划很不相同了。黄博士坚信科学之主要目的在于社会效益，而他同时也重写了原先的内容，在很多方面使之更普遍化，并增加了新的章节。因而，本书之最终形式和撰写应基本上归功于黄博士。

.....

我曾就本书的内容同他作过讨论，有时建议作一些修改。在全书尚未完成时他不得不回国了，所余的章节是从中



国寄给我的。我校阅了全书，增添了若干页，补充了脚注和附录……本书并不完全是已发表结果的汇编。对晶格热力学的研究是由我草拟而由黄昆相当详尽地实现的。他对这一节的主要贡献是把晶格弹性的理论延伸到有限应变的情形。我想本书所给出的关于描述电介质的弹性、热电和压电性质参数之温度依赖关系的方程式是前所未有的。这些方程式看起来冗长繁杂，实际上是简单的，只要读者不怕麻烦加以研究。我们并没有对这些方程做详细的讨论，而是留给了那些希望将其应用于具体问题的读者。其他完全属于黄昆的章节包括本书第一篇中关于色散的唯象处理和第二篇中进一步详细的原子论处理、关于红外谱线宽度的量子理论以及许多个别的小问题。

一般而言，两个人合著一本书，序言应由两人共同署名，但《晶格动力学理论》这本书却是由玻恩单独一人撰写序言，其原因正如他在序言中所写的：

由我单独撰写和签署这个序言的原因并非只是与合作者之间遥远的距离，我是希望说明，如果没有他专心致志且富有成效的劳动，本书是绝对不可能完成的。

自1915年起玻恩与爱因斯坦就开始互相交往。由于他们都曾经是德籍犹太人，都在物理和数学两个领域有极深的造诣，都爱好古典音乐——爱因斯坦沉醉于拉小提琴而玻恩喜好弹钢琴，他们是几十年的挚友。爱因斯坦去世后，玻恩收集了他们多年以来的通信并加以评注，编成了一本书：《玻恩-爱因斯坦通信，以及马克斯·玻恩的评注》（*The Born-Einstein Letters with Commentaries by Max Born*），在这本通信集里，有两封玻恩给爱因斯坦的信中提到黄昆。玻恩在其中第95封信中写道：



我现在正在跟一位中国的合作者黄昆博士完成一本晶格的量子力学的书。书稿内容已完全超越了我现在的理解，我能懂得年轻的黄昆以我俩的名义所写的东西，就很高兴。

玻恩在给爱因斯坦的另一封信（第96封）中写道：

在战争爆发的时候，我已经开始写关于晶体的那本书，以便在量子力学的基础上系统地建立晶体点阵的理论。但是事实证明，对这个任务我是力所不能及的，我不得不把手稿暂时放置在一边。后来我把它给了一位有才能的我的中国合作者黄昆博士看，他说他愿意帮我完成这本书，正像我信中所写的那样，确切的情况就是：正是他——黄昆承担了此项工作的主要任务，只是在最后的几个阶段里，这项工作又不可避免地要我来做。他是一位热忱的共产主义者，当他听到毛泽东战胜蒋介石的消息时，就想回国参加正在进行的一切事情……

这些话一方面显示了玻恩的谦虚和奖掖后进的美德，同时也从一个侧面反映黄昆确实对这本书作了非常重要的贡献。但是，黄昆总是强调这本书主要是总结玻恩学派几十年的成就，自己的贡献是次要的，即使有所创造也都是由于受到玻恩的启发。

黄昆在书中推导了力常数的十个不变关系式，这也许是一个说明玻恩与黄昆合作情况的范例。晶格力常数十个不变关系式是全新结果，对于完善晶格振动的普遍理论具有重要意义，然而它是建立在玻恩早期长波声学波理论基础上的。

《晶格动力学理论》的写作从1948年开始整整延续了三年多，在黄昆于1951年10月启程回国时已基本完成，只剩



下最后一章需要作一些修改。黄昆把手稿的四分之三留给了玻恩，并答应很快把其余部分寄来。但是，黄昆一去不复返，玻恩不得不为这本书的最后几章等了很长一段时间。他写给黄昆的信毫无作用。原来，黄昆回到国内时正值“三反五反”运动，除了政治学习，还有新担任的北京大学普通物理的教学任务，因此十分忙碌。黄昆还曾说过：“到最后时期，如果不是有约在前，已经很不想写下去了，因为这在当时远不是一个热门。我想，书出版后大概也没有多少人看，过两年也就停止出版了。”黄昆完稿半年后，经向上级申请获得批准以后才把修改稿寄出。1953年底，玻恩从爱丁堡大学的教席退休，回到德国定居。他在自传中回忆道：

最后，手稿来了，我必须做扫尾的编排和校对等工作。书由牛津大学出版社出版，效率极高。但那时我已年过七十，它是我曾做过的最艰苦和最累人的工作之一。我不得不逐行逐个公式地与黄昆的有时不易辨认的手书相核对，并核准全部计算。最终结果是令人满意的，因为这本书看起来很有吸引力，而且无论是我自己，还是其他任何人都未发现任何错误。

牛津大学出版社正式出版《晶格动力学理论》这部专著已经是1954年了。玻恩并不同意黄昆对《晶格动力学理论》这本书的前景的悲观看法。事实证明，还是玻恩的估计正确。这本在物理学界人所共知的书自1954年问世以来，1969年出了第二版，1985年发行了第三版，已重印了十几次，并被译成俄、中等多国文字，是所有固体物理学教科书及晶格动力学专著的标准参考文献。这本国际上广泛采用的经典专著，牛津大学出版社曾于1978年决定停止印刷，但是过了三年，美国物理学家比尔曼（J. L. Birman）等人又呼吁再次出版。在将近半个世纪以后的今天，牛津大学出版社把它列入了《牛津经典物理著作丛书》，并仍在加印，人们仍能在亚马



孙 (Amazon) 网站上直接购买到, 这不能不说是一个奇迹。在亚马孙网站上, 可以看到出版社编辑对这本书的评论: “这本经典著作在它刚出版时, 毫无疑问, 是该学科的代表作; 至今在许多方面, 它依然如此。”

《晶格动力学理论》这部专著的长盛不衰不是偶然的。这本书不仅总结了玻恩学派已发表的研究成果, 而且黄昆在写作过程中还作了进一步系统的创新。它在许多方面都是独一无二的, 如对玻恩-奥本海默 (Born-Oppenheimer) 近似 (即绝热近似, 认为晶体中的电子运动远远快于晶体原子的运动) 的阐述、晶格理论的长波方法等。特别是, 它的第一部分“基础理论”的许多论述, 如黄方程的阐述、声子极化激元的理论推导、均匀形变理论、晶格内部的平衡条件等等, 很难从其他文献中找到。

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。曾任英国爱丁堡大学理学院院长、晶格动力学权威柯克兰 (W. Cochran) 在他写的《晶体原子动力学》一书 (1973 年出版) 的引言中说: “玻恩和黄昆在 1954 年出版的《晶格动力学理论》, 至今仍是这个学科的主要方面的权威著作。”许多著名的国外学者, 如美国马拉杜丁 (A. A. Maradudin)、英国埃利奥特 (R. J. Elliot) 等来华作学术报告时, 开场白都说, 自己研究晶格动力学是在学习了玻恩和黄昆合著的《晶格动力学理论》一书以后受到教益和启发才开始的。1989 年, 北京大学物理系张树霖教授在德国参加一个学术会议时, 当时的美国麻省大学物理系主任曾对他说: “我把黄昆的书像圣经一样放在我的书桌上。”

成立于 1975 年、位于美国费城的科学信息研究所 (Institute of Science Information, ISI) 是一个专门分析研究科学论文被引用情况的机构。从统计平均的角度来看, 一篇论著在 ISI 所收录的 3 000 多种 SCI 核心学术刊物 (或 ISI 所收



录的5 000多种SCI扩展学术刊物)所发表的学术论文中被引用的次数越多,延续年头越长,表明这篇论著在科学上越重要,影响越大。据笔者检索,从1975年至2001年3月,玻恩和黄昆合著的《晶格动力学理论》一书英文版被引用5 254次,俄文版被引用376次,平均每年200多次。无论从被引证次数,还是从被引证的延续时间来说,《晶格动力学理论》一书在国际上都是罕见的,确实代表了世界一流水平。从这一侧面也可证实,以上这些国际著名物理学家对《晶格动力学理论》的评价决非溢美之词。

3. 从“黄方程”到“声子极化激元”



1948年初,黄昆应英国利物浦大学理论物理系主任弗勒利希的聘请,开始担任ICI博士后研究员,并用一半时间与玻恩合作撰写《晶格动力学理论》。这三年是黄昆学术生涯中第一个黄金时期(1946—1951年)的巅峰,也是黄昆整个学术生涯的巅峰。这三年,黄昆在学术上硕果累累,除了潜心撰写《晶格动力学理论》外,在学术上还有两项开拓性的贡献。第一项是,黄昆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,后来被称为“黄方程”。在此基础上,黄昆提出,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





▲ 在利物浦大学做博士后的黄昆（黄昆提供）

耦合模式现在已经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。另一项开创性的贡献是，在“F中心的光吸收与无辐射跃迁理论”这篇著名论文中，黄昆和里斯（A. Rhys，中文名李爱扶）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。这个理论后来被称为黄-里斯理论，是固体中杂质缺陷上的束缚电子态跃迁理论的奠基石。里斯1926年生于英国，当黄昆在布里斯托尔大学当研究生时，她是该校物理系本科生。里斯大学毕业后与黄昆同时来到利物浦大学理论物理系，担任系主任弗勒利希的行政助理，并帮

助黄昆进行理论计算。在这三年里，黄昆与里斯从相识、相恋到相知。自此以后，在黄昆成功的后面，一直有一位来自异国他乡的贤内助的默默奉献。

理想晶体具有周期性，构成晶体的最小的可重复单元称为元胞。每个元胞的结构完全一样。如果知道单个元胞内原子振动的某个本征模式，那么其他元胞原子的该振动模与之只相差一个相位因子，由此形成整个晶体以波的形式传播的晶格振动模式，称之为这种模式的格波。晶格中原子围绕其平衡位置的振动可以看成各种模式的格波的叠加。如果晶体元胞含两个原子，每个原子具有沿三个方向运动的自由度，那么其格波可以分为三支声学振动波和三支光学振动波。在



长波极限下(即格波波长远大于晶格常数),元胞中两个原子的声学振动的方向一致,声学波可近似为连续介质的弹性波;而元胞中两个原子的光学振动的方向相反,元胞的质心则保持静止。这种长波长的光学振动可以用远红外光激发,因而称为光学波。格波的量子化即为声子。所以也可以说,双原子晶体的振动谱由三支声学声子和三支光学声子构成。

对于极性晶体(又称离子晶体),元胞中所含两个原子的荷电状况不同,分别为正负离子。例如,常见的砷化镓晶体,镓离子带正电和砷离子带负电。正负离子在光学振动时会伴随一个电极化场,由此产生的宏观电场反过来又影响晶格光学振动模的频率,造成纵光学振动(振动方向与波传播方向平行)与横光学振动(振动方向垂直于波传播方向)频率的差异。在考虑极性晶体与远红外光的相互作用以及电子与晶格的相互作用时,长波光学振动具有特殊的重要性。20世纪30年代至40年代的深入研究表明,这种极化的微观机制异常复杂。离子极化不仅包括电子云的极化,而且还存在着伴随离子振动而出现的电子云畸变的贡献。当时研究光学振动模所采用的硬离子模型显然无法恰当地处理离子极化的全部效应。此外,以微观模型处理长程库仑作用对动力学过程的影响本身也是一个相当复杂的问题。早期的研究工作曾因未能正确认识长程库仑作用而得出一些错误的结论。

黄昆在布里斯托尔大学做莫特的研究生时,就注意到弗勒利希和莫特就电子与纵光学声子散射的微观机制所作的前瞻性研究。后来黄昆在利物浦大学担任ICI博士后研究员时,因弗勒利希在电介质研究方面的成就,利物浦大学理论物理系得到工业界的许多资助,其中介电极化的微观细节经常是黄昆的同事们喝下午茶时讨论的话题。这些背景为黄昆建立唯象方程作好了准备。

有一次,在英国电气研究协会(Electrical Research Association, ERA)做研究的黄昆的一位同事津津乐道地讨



论着各种形状的离子晶体颗粒的不同光学振动频率,这引起了黄昆的进一步思考。他想到,从理论物理的观点看,这类问题应该可以概括为具有普遍形式的无穷大体材料的光学振动的理论方程再加上不同形状的表面极化场的贡献。针对这种情形,黄昆认为:要解决这个问题,一方面要考虑光学振动的动力学所包含长程库仑作用的特点,其振动的恢复力既依赖于光学位移又依赖于宏观电场;另一方面则要知道决定宏观电场的电极化,这同样也是既依赖于光学位移,又依赖于宏观电场。这样,黄昆在1950年提出了对应以上两方面的一对线性唯象方程,以解决极性晶体的光学振动问题。黄昆引进宏观电场作为一个新的变量,来描述离子光学振动所受的库仑作用,而宏观电场与离子位移又共同对电极化有贡献。这一对方程确立了约化光学位移 W (正比于正负离子位移之差)、宏观电场 E 与电极化 P 三者之间的关系,即

$$\begin{aligned} -\omega^2 W &= b_{11}W + b_{12}E, \\ P &= b_{21}W + b_{22}E \end{aligned}$$

这里,在建立这一对方程中所要解决的一个关键问题是,根据能量守恒定律,证明两方程中反映力学与电学交叉的系数间存在的倒易对称关系,即 $b_{12}=b_{21}$ 。由此,唯象方程只包含三个完全可以由实验确定的参数 b_{11} 、 b_{12} 和 b_{22} 。它们与实验可测量的红外色散频率 ω_0 、静态介电常数 $\epsilon(0)$ 和高频介电常数 $\epsilon(\infty)$ 直接相联系。这一对方程的物理意义十分明确。如果视元胞内的两个原子的光学振动为一个简谐振子,则第一个公式代表运动方程:方程的左边正比于谐振子的加速度,方程右边第一项代表振子内部弹性恢复力,第二项表示振子受到其他各处电荷的长程库仑作用力。对于横波或非极性晶体,由于不存在宏观电场,即 b_{12} 为零,运动仅由短程力决定。第二个公式中,如果忽略了 $b_{21}W$,晶格的行为就像普



通电介质对于外电场的响应,而 $b_{21}W$ 相当于离子电荷的位移对介电极化的贡献。这一对方程作为宏观关系是严格的,结合电磁学方程,它简洁而有效地解决了极性晶体的光学振动问题。

这一对方程在物理上可以比作弹性理论中的广义胡克定律。广义胡克定律在经典物理学里面是非常基本的定律,作为唯象理论,它将弹性介质的应力写成是形变的线性函数。这些方程的系数(弹性系数)可以用实验来确定,根据这些方程可以简洁而精确地推导出各种弹性波。如果设想要将这一理论中弹性原子的微观相互作用都弄清楚,那么,理论就会变得非常繁复和困难。即使把一个弹性波推导出来,也要把微观结构完全弄清楚。黄昆提出的这一对方程就相当于广义胡克定律这一唯象弹性理论,不过,研究对象不是弹性运动,而是正负粒子相互的光学振动。

这一对方程最初是以英国电气研究协会报告的形式发表的,后来,由于在半导体中纵光学波和电子相互作用的重要性,这一对方程受到了广泛的重视,被称为“玻恩-黄方程”(因为许多人是通过玻恩和黄昆的《晶格动力学理论》了解到这一对方程的)或“黄方程”。方程所代表的物理模型被称为连续介电模型。

黄方程最自然和容易的应用是求解光学振动频率。黄昆结合静电方程和黄方程,直接导出了纵光学波和横光学波的解,验证了联系纵、横光学波频率的利丹-萨克斯-特勒(Lyddane-Sachs-Teller)公式,即

$$\omega_{LO}^2/\omega_{TO}^2 = \varepsilon(0)/\varepsilon(\infty)$$

牛刀初试,这一对唯象方程即取得成功,这无疑增强了黄昆对这一对方程的信心。



在提出黄方程时，黄昆正在玻恩处工作，当时有不少学生跟着玻恩一起研究晶格动力学。一次，黄昆看到一篇由玻恩的一位学生用微观模型计算离子晶体晶格振动的文章。文章作者在计算中发现，当波长非常长时，计算结果在数学上发散，即趋于无穷大。在文章最后的讨论中，作者把这种发散归之为由于没有考虑到电磁波以有限的光速传播这一因素。黄昆知道他们这个结论是不对的。在这以前，黄昆在研究极性晶体的振动时已经知道，在长波长极限下，库仑作用的长程性是引起发散的原因。不过，这也引起了黄昆的进一步思考：晶体中电磁作用的“推迟效应”（即离子之间库仑相互作用不是瞬时发生的，而是以光速传播的）对长光学波的影响是什么？黄昆想到，自己的这对唯象方程也许可以用来研究极性晶体中电磁作用的“推迟效应”对长波长光学波的影响。

用静电方程对黄方程中极化 P 和宏观电场 E 联合求解，所得到的光学振动波相当于采用瞬时库仑作用近似，即假定电磁场传播的速度为无穷大的前提下所得出的结果。黄昆原先以为，只要以麦克斯韦方程取代静电方程，就可能得到原来纵、横光学振动格波解的某种修正。然而，当黄昆把黄方程与麦克斯韦方程联合用于双原子极性晶体时，得到了五个解。这里，除了三个光学格波解，麦克斯韦方程还引入了两个简并（即频率相同）的电磁模（光子）解。求解的结果展示了和他原先所预期的很不相同的图像。三个光学格波中，纵光学声子模不受电磁推迟作用的影响；另一方面，在长波情形下，两个简并的横光学声子模和与之频率相近的电磁模存在相互耦合，形成新的耦合振荡模式。黄昆的理论给出了耦合振荡模的色散关系，显示出电磁波与横光学波在共振点附近的反交叉行为，以及耦合振荡模式中机械能分量与电磁能分量随波长的变化情形。换句话说，考虑了电磁推迟效应，无论是晶体的长波长横光学振动，还是晶体中传播的电磁



波，本质上都可归结为这种耦合模。

黄昆在这里提出了一个非常重要的新概念。在黄昆的这项研究以前，人们把在有色散的电介质或磁介质中传播的电磁模用它的相速度、群速度和能流密度来描述，而晶体的线性光学则用介质的介电函数来表征。黄昆的这一研究改变了人们对电磁波在晶体介质中传播的概念。

在黄昆的理论框架内，光子（可以在真空中传播，并不限于介质内）与声子（仅限于介质内）的地位相同并同时得到处理。在晶体红外色散频率 ω_0 附近，外部的电磁波与极性晶体内部的横光学声子无法区分。电磁波在极性晶体内的传播模式应被理解为介质的一种特征模式，用固体物理语言来说，这种传播模式对应于一类新的元激发。固体物理所处理的对象都涉及到大量的电子和原子，由于这些粒子间的相互作用很强，通常在固体中引入准粒子和元激发的概念，把部分或所有的相互作用重新整合，化为准粒子和元激发，并由此把相互作用强的多粒子系统化为相互作用弱的或无相互作用的系统。例如，根据俄国大物理学家、诺贝尔物理学奖获得者朗道 (L. Landau) 的费米液体理论，金属中在费米面附近的电子可以近似看成一种无相互作用的准粒子；又如，半导体和绝缘体中的电子-空穴对之间存在的多体库仑作用可以用“激子”这样的准粒子来描述。晶体中常把晶格振动的声子描述成一种准粒子，也可看成是整个系统的元激发。

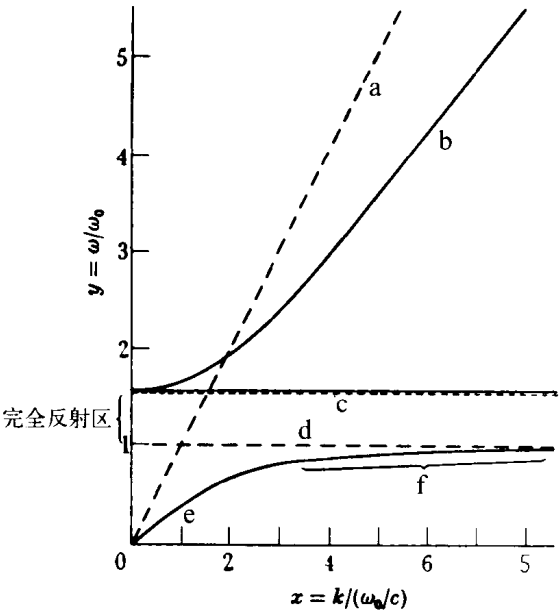
这种电磁波 - 声子耦合模式对应一种新的元激发的概念，可以推广至其他许多凝聚态物理现象中去。现在，人们通称这类电磁波 - 极性元激发耦合模为“极化激元” (polariton)，它是 1958 年由美国科学家霍普菲尔德 (J. J. Hopfield) 在研究光子与激子相耦合而形成“激子极化激元”时首先正式命名的。激子极化激元是光子与凝聚态材料集合体的本征态，如果没有诸如声子之类的散射机构，其寿命将无限长。随后，等离激元、磁子与光子的耦合模也相继被发



现，而黄昆最先研究的光子－横光学声子耦合模则被称为“声子极化激元”，它在实验上由亨利（C. H. Henry）和霍普菲尔德于1965年在磷化镓材料中用拉曼散射手段首先观察到，并引起了人们很大的兴趣。霍普菲尔德最初引入的术语——极化激元，是指电介质中的极化场粒子，如声子、激子等。后来由于误解，Polariton被认为由两个英文词复合而成：polarization（极化）的词头“polari”加上photon（光子）的词尾“ton”，现在，polariton这个物理学名词专指电磁场与极性极化的耦合模式。

然而，黄昆这篇题为“关于辐射场和离子晶体的相互作用”的著名论文的发表还有些波折。黄昆最初把论文通过玻恩投给《英国皇家学会会刊》（伦敦）。论文被一位审稿人否定，理由是物理上没有创新。玻恩建议换审稿人，论文才最终被接收。实际上，第一位审稿人所持的正是光在晶体中传播的传统观念，他认为黄昆处理的无非是红外光通过晶体时众所周知的反常色散。黄昆在另一篇发表在英国《自然》（Nature）杂志上的论文中特地解释了两种观点的异同。

► 黄昆最先研究的声子极化激元的色散关系。图中虚线a代表真空中的光子，虚线c和虚线d分别代表纵光学声子和未与光子耦合的横光学声子，c、d之间是“完全反射区”，实线b、e、f代表光子－横光学声子耦合模，即声子极化激元



1972年，在意大利的陶尔米纳（Taormina）召开了第一届关于极化激元的国际学术会议。由于黄昆处于“文化大革命”的环境中，当然没有可能参加这次会议。然而，黄昆的开创性工作得到了会议高度评价。黄昆1951年的论文“关于辐射场和离子晶体的互相作用”被重新刊印在会议文集上，并被大会主席、美国宾夕法尼亚大学伯斯坦（E. Burstein）教授在主题报告中誉为一个里程碑。今天，各种极化激元已经作为一种基本的运动形式在固体光学的各个领域得到深入研究和广泛应用。2000年8月，第17届国际拉曼散射谱学大会在北京举行，伯斯坦教授在一篇题为“黄改变了我们对电磁波在晶体介质中传播的概念”的大会特邀报告中，回顾了这一领域的历史、现状和发展趋势，再次高度赞扬了黄昆的历史性贡献。

4. 一个分支学科的诞生



黄昆建立的多声子跃迁理论具有普遍意义。然而，当时黄昆是从一个非常具体的问题——F中心光谱来着手研究这一问题的。F中心是晶体中的一种缺陷，也是当时晶体物理学研究得最多和最细的一种缺陷。F中心实际上是一种负离子的空位，即负离子离开它原来的位置而形成的空位。这样的负离子空位起一种相当于正电荷的作用，可以束缚电子在它四周运动。F中心（Farbzentren）中的“F”来自德文“Farbe”，意思是颜色，因此，F中心又被称为色心。研究F中心最重



要的一个手段是光谱。由于缺陷中心能够束缚电子，电子可以从基态吸收光子跳到一个较高的激发状态，这是光吸收谱；或者电子从一个激发态放出光子，回到它的基态，这是发射谱。碱卤化合物晶体的F中心的特征吸收在可见光区域，它使许多晶体有了颜色。例如，氯化钠（即日常吃的食盐）晶体中F中心的吸收频段在蓝紫区，所以颜色为黄色；而氯化钾晶体中F中心的吸收频段在黄红区，所以颜色为蓝色。光谱是了解F中心的一种很基本的研究手段。

1947年，在布里斯托尔大学物理系的学术报告会上，黄昆听到一位当时研究固体发光的主要科学家介绍F中心的光谱。原理上，一个束缚电子从一个量子态跳到另一个量子态对应于一个确定的跃迁能量，所能观测到的光谱是线状光谱，即光谱为一条分立的、有确定频率的谱线。可是，实验上的F中心光谱不是一条光谱线，而是一个非常宽的光谱带，且具有与温度相关的复杂的谱线形状。由于在分子光谱里有类似现象，人们当时就知道，这种宽的光谱来源于分子内部原子核的运动与电子态的耦合。晶体内部原（离）子时刻都在作热运动，通过原子核运动与电子态的耦合，热振动对光谱带有贡献。

但是，与通常的分子光谱不同，实验上，F中心的光谱带的宽度可以宽到相当于几十个声子的能量。按照这位作报告的科学家的观点，对这种光谱建立一个理论几乎是不可想象的，因为传统的固体理论认为，固体中的光跃迁依赖于电子初态与末态之间的电偶极矩阵元，声子与电子相互作用对电子态的扰动形成声子对光谱的间接贡献。如果没有电子运动与晶格的相互作用，那么，在电子的光跃迁过程前后，伴随的振动态的声子数目不可能改变（称之为声子波函数的正交性）。处理电子-声子相互作用对电子态影响的最基本的方法是微扰，即把电子与声子的相互作用看作微扰（小的扰动），一阶微扰，声子数目只能变化一个，即增加或减少一个



声子；若要有两个声子的改变，就得把微扰理论提高一阶，即用到二阶微扰。如果光谱的宽度达几十个声子，则要把微扰论展开到几十阶，这就是被认为几乎无法解决的对理论提出的挑战。黄昆对这位学者的报告留下了深刻印象：一个常见的实验现象在理论上却难以定量描述！

时间流逝并没有减弱黄昆对这个问题的兴趣。随着黄昆与玻恩合写《晶格动力学理论》的深入，黄昆对原子的振动问题思考得越来越多，理解得也越来越深。黄昆逐渐认识到，在F中心光谱的问题上，微扰论的观点是理论上的误导。解决这一难题应从分子光谱的弗兰克-康登原理入手。

1925年，诺贝尔物理学奖获得者弗兰克（J. Franck）在讨论光致分子离解时曾提出，由于电子的质量远小于原子核的质量，当电子从一个状态跃迁到另一个状态时，分子中的各个原子核可以认为是静止的。第二年，康登在读到了这篇论文的清样后，作了进一步的推广，得到了光谱带的相对强度，建立了弗兰克-康登原理。运用弗兰克-康登原理可以定性解释光谱的斯托克斯频移（Stokes shift）现象，即实验上发射光谱峰相对于吸收光谱峰向长波方向移动。这种解释的前提是，不同电子态所对应的分子构型不同。这是因为，在电子态改变以后，通过电子与原子核的相互作用，原子核受力的情况就会不同，从而导致原子核之间的平衡位置有所变化。原则上，在固体中也应存在这种依赖于电子态的晶格畸变现象，即晶格弛豫现象。

黄昆认识到，电子与声子相互作用导致了电子跃迁前后晶格振动的平衡位置不同。对声子来说，电子跃迁前后的子空间是不同的，从而破坏了声子波函数的正交性。根据量子跃迁理论，从一个初始电子态跃迁到另一个电子态（末态）的概率正比于某种“扰动”在初始态和末态之间的矩阵元的平方。既然初态与末态的振动波函数之间不存在严格的正交关系，那么，晶格弛豫必将产生的一个重要效应是：电子跃



迁前后的晶格振动量子数（声子数）可以任意改变而跃迁概率不等于零。原子在平衡位置的位移越大，改变的声子数就可能越多。这样，晶格弛豫应该是构成多声子跃迁的理论基础。近年的发展证明，晶格弛豫确实是局域电子态的一项基本特征，能够导致许多重要的物理效应。固体中局域电子态（如半导体中深杂质能级、固体发光中心等）与周围晶格原子之间存在较强的耦合，使晶格原子的平衡位置发生较多的移动，导致光吸收峰与发射峰的增宽。

但是，在1950年前，尽管不少物理学家（包括莫特）已认识到，晶体中电子跃迁的理解上也应采用类似弗兰克-康登原理的物理图像，但一直没人给出认真的理论处理，连其中的晶格弛豫有多大，也没人认真估算过。鉴于当时在国际上，现代固体电子态理论与晶格振动理论刚刚成型，没有一个建立在量子力学基础上的多声子跃迁的定量理论，也是可以理解的。

根据晶格弛豫的概念，黄昆与里斯第一次在绝热近似基础上导出了包含多个光学声子吸收和发射的F中心光跃迁的系统理论，给出了F中心电子跃迁的同时发射或吸收多个光学声子的清晰的物理图像，从而得到了复杂的谱线形状以及它对温度的依赖关系的物理本质。根据电子跃迁过程中有无光跃迁产生，多声子跃迁理论又可分为光跃迁多声子过程和无辐射跃迁多声子过程。与此同时，前苏联的佩卡尔院士（С. И. Пекap）也建立了相似的理论，但佩卡尔的理论只涉及光跃迁多声子理论，且文章发表在俄文杂志上，鲜为人知。黄昆与里斯的著名文章“F中心光吸收与无辐射跃迁理论”（论文中的计算和图都是里斯作的）同时建立了光跃迁过程中的多声子理论与无辐射跃迁过程中的多声子理论，广为人知，因而国际物理学界公认黄昆的这项理论工作的开拓性意义，并把这一理论称之为黄-里斯（Huang-Rhys）理论，这篇论文使用的标志晶格弛豫强度的参量被称作黄-里斯因子，广



泛应用于有关的文献中。

黄-里斯的光跃迁多声子理论的要点可以简述如下：

(1) 在绝热近似下，系统的总波函数 $\Phi_{in}(x, Q)$ (x, Q 分别是电子和晶格坐标) 可以用电子态波函数 $\phi_i(x, Q)$ 与晶格振动态波函数 $\chi_{in}(Q)$ 的乘积来近似地表达；

(2) 运用康登近似，假定电子态 i 与电子态 j 之间的电偶极跃迁矩阵元 M_{ij} 与晶格坐标 Q 无关，这样，跃迁矩阵元为两个晶格振动波函数的重叠积分乘以 M_{ij} ；

(3) 假定所有纵光学声子具有单一频率，并可运用连续介电模型描述纵光学振动(即声子单频多模近似，可以证明，它也能转换成为单一声子局域模式问题)；假定F中心电子通过其电荷分布引起的库仑场与晶格相互作用；

(4) 在线性电子-声子互作用与简谐近似下，通过把晶格振动波函数以平衡位置时的正则坐标来展开，他们得到，低温下振动态之间的重叠积分中所含 p 声子发射概率来自 p 个声子模的声子数由 0 至 1 的跃迁。对于 N 个单一频率为 ω 的声子模， p 声子跃迁的总贡献正比于

$$|M_{ij}|^2 e^{-S} S^p / p!$$

其中 S (即文献中常引证的黄-里斯因子，或 S 因子) 表征晶格弛豫的强弱，与晶格弛豫 Δ_{ij} 有关，这里 Δ_{ij} 为电子态从 i 跃迁到 j 态时晶格坐标 Q 的移动值。公式表明，由于晶格弛豫，原先一条谱线变成一系列的多声子峰。在低温下，多声子谱线强度呈泊松分布。当 S 远大于 1 时，峰值在 S 附近。1959 年黄昆的这一理论终于为霍普菲尔德首先在硫化镉 (CdS) 晶体的带边发射中所证实。

(5) 在有限温度下，发射 p 声子的概率包括 $p+q$ 个声子模的声子数增加 1 和 q 个声子模的声子数减 1 的跃迁。对于 N 个单一频率为 ω 的声子模， p 声子跃迁的总贡献可以用一



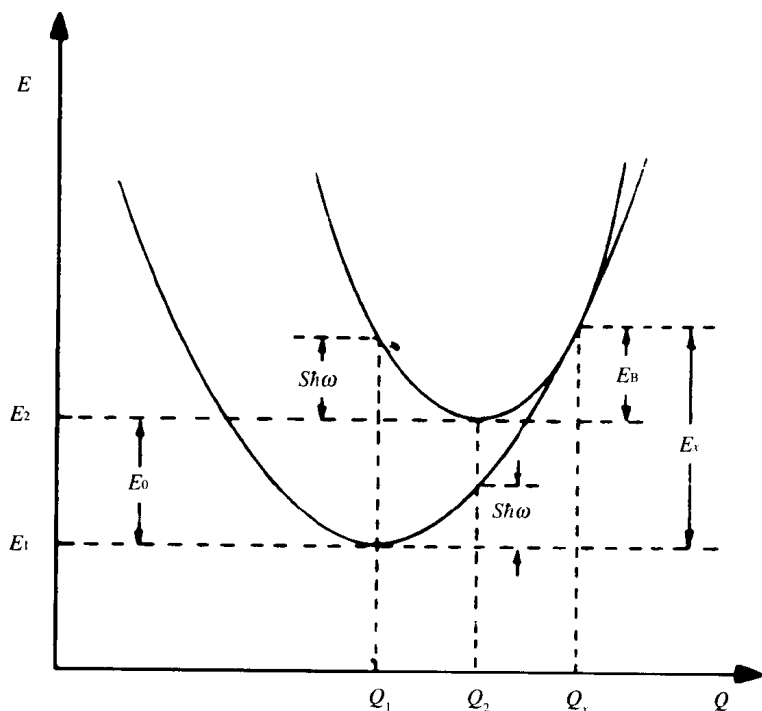
个虚数宗量的贝塞尔函数 I_p 表示

$$\exp[-S(2n+1)] [(n+1)/n]^{p/2} I_p \{2S\sqrt{n(n+1)}\}$$

其中 n 是该温度下频率为 ω 的声子的平均占据数。黄昆的这个结果与当时溴化钾 (KBr) 晶体中 F 中心在多个不同温度下的吸收实验符合得很好。

由于 F 中心的光谱带对认识晶体的光学性质、光电性质、晶体中激发出来的载流子的运动和寿命等基本问题都具有重要意义，黄昆的光跃迁多声子理论发表后，立即引起学术界的重视，国际上相继发表了一系列重要的论文。其中特别值得指出的是著名的日本理论物理学家久保 (R. Kubo)、丰泽 (Y. Toyozawa) 以及美国理论物理学家拉克斯 (M. Lax) 的工作。黄昆原来的工作中只考虑光学声子模，并假设所有光学声子模具有相同频率。久保、丰泽和拉克斯进一步发展了基

► 晶格弛豫和黄-里斯因子示意图。 E_0 代表电子的基态和激发态之间的能量差， Q_1 、 Q_2 代表基态和激发态的晶格平衡位置，晶格弛豫导致的吸收峰的峰值为 $E_0 + Sh\omega$ (S 为黄-里斯因子)，发射峰的峰值为 $E_0 - Sh\omega$



于任意频率分布的声子模的更普遍形式的理论。在霍普菲尔德实验以后,20世纪60年代,固体光谱的研究有了极大的发展,包含多声子的光跃迁已是广泛观察到的现象。现在,光跃迁的理论虽然在一些更深入的问题上仍在不断探讨,但基本原理已是确定无疑的了。

在这篇著名文章中,黄昆还讨论了荧光的淬灭问题。他提出,既然电子跃迁过程中可以有任意数目声子的变化,电子还应可能发生无辐射跃迁,即电子跃迁中的能量变化原则上可以完全由多个声子的吸收或发射来补偿,而无光跃迁伴随。这就是直接联系着固体中的发光中心效率与半导体深能级动力学等重要问题的多声子无辐射跃迁理论。按照这个观点,对平行于光跃迁的多声子理论,黄昆也在绝热近似的框架下导出了这种多声子参与的无辐射跃迁的概率。

黄昆与里斯在1950年提出的无辐射多声子跃迁理论,在20世纪70年代从定性上被证实是正确的。然而,由于与实验的定量比较直接依赖于对跃迁概率的具体数值估计,而这种估算在不同的工作中采取了不同的近似,因此产生了一些矛盾和曲折。这种混乱一直到30年以后,又由黄昆重新予以澄清。

作为多声子跃迁理论的开创者,黄昆在该领域中的成就受到了国际学术界的高度评价。他和里斯合著的“F中心的光吸收与无辐射跃迁理论”一文,是在这个领域工作的科学家们必引的经典文献,也是他所有研究论文中被引用次数最多的一篇。据笔者检索,从1975年以来,这篇论文被他人在SCI刊物引用684次,其中1994年以后被引用190次,平均每年20多次。按照国际公认的标准:一篇论文被引证超过10次但少于50次,属于“人们知悉的论文”(known paper);一篇论文被引证次数在50至99次之间,属于“众所周知的论文”(well-known paper);一篇论文被引证次数在100至500次之



间,属于“著名论文”(famous paper);而超过500次,则被称作“影响重大的论文”(renowned paper),按照惯例,就要庆祝。黄昆与里斯的这篇论文不但被引证次数超过了500次,的确属于影响重大的经典论文,而且更了不起的是,这684次被引证次数是在这篇文章发表25年以后,即从1975年起才开始的统计数据。人们常用文章被他人引用次数来衡量一篇文章在科学上的影响,其实,还有一个指标——文章被引用的寿命,相比之下,后者更重要。国际上绝大多数论文被引证的峰值是在文章发表以后两年之内。论文发表五年至十年以后,绝大多数论文,除了作者自己引证,再也没人问津了。有的热门文章刚发表时,被引用很多,但是十年以后或不到十年,就几乎再也没有其他学者引用。这些文章虽然也在科学发展过程中起到一定的作用,但像沙滩上的脚印,经不起时间的洗刷。一篇论文发表50年以后仍有大量引用,每年仍被引证20多次,标志着它在科学史上的的确确留下了脚印,这样的文章,凤毛麟角。黄昆50年前发表的论文,多数至今仍在被他人引证,而“F中心的光吸收与无辐射跃迁理论”这篇文章是其中最突出的。

引用黄昆“F中心的光吸收与无辐射跃迁理论”这篇文章的,不仅有研究固体发光的物理学家,还有不少研究多体理论的理论物理学家。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概率不为零。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“马汉(Mahan)奇异性”和“正交灾难”的先驱。由于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,因此,随着量子点等纳米结构研究热的兴起,最近,科学家开始测量和计算量子点中的S因子,黄昆的这篇论文又引起了人们新的兴趣。





第三章

甘当人梯



1. 把一切献给祖国的教育事业

1951年底，黄昆抱着投身于新中国建设事业的满腔热忱，暂别自己亲爱的女友，舍弃了在英国优越的工作条件和自己正在进行的卓有成效的研究工作，乘船取道香港回到了祖国。黄昆是准备回来过艰苦生活的。虽说黄昆在英国留学三年，又担任博士后研究工作三年，他回来没有带什么东西，连台收音机和电唱机都没有带。他带回国的“大件”只是一辆自行车（一直用到现在）和一台打字机，而这台打字机是完成《晶格动力学理论》书稿所必需的。路经香港时，黄昆已经“弹尽粮绝”，不得已向黄燕借了钱才回到北京。第二年4月，里斯克服重重阻力，只身一人，远渡重洋来到中国。黄



► 1952年，黄昆与刚到中国的李爱扶的合影，这也是他们的结婚照（黄昆提供）



黄昆——声子物理第一人

昆特地赶到天津去迎接她。黄昆的哥哥给里斯取了个中文名字——李爱扶，既是英文姓名的谐音，又寓意“乐于助人”。李爱扶与黄昆结婚后，他们的家庭生活与中国一般的知识分子并没有太多区别，惟一与众不同的是请人定做了一张钢丝床，因为当时在北京无处可买。李爱扶1956年被批准取得中国国籍，1959年起在北京大学物理系参加工作，任电子学工程师。李爱扶勤勤恳恳地工作，认认真真地做事，为北大物理系实验室的建设作出了自己的贡献。

黄昆回国后，立即赴北京大学物理系任教授，开始了他26年多的北京大学的教学生涯。黄昆到北大任教，最先开设的课程是物理系本科生的统计物理和近代物理。当时，新中国成立不久，国家把培养人才的工作放在了极为重要的地位，北京大学把教学工作提到了前所未有的高度。黄昆全身心地投入了教学工作，从32岁到58岁，他都致力于教学工作。

1952年秋，为适应国家大规模经济建设的需要，中国高等学校经历了一场前所未有的“院系调整”运动。在“学习苏联先进经验”的口号下，于是，中国高等院校几乎全部被拆散重组，进行了理科与工科分家，文科与工科分家，又成立了一系列新的单科性质的学院，于是，中国不再存在西方意义上的所谓“综合性大学”。原来的北京大学、清华大学、燕京大学等校的文科和理科合起来组成新的北京大学。“院系调整”对于绝大多数大学来说都是有失有得，失多于得，但对于北京大学物理系来说，绝对是得远大于失。原北京大学、清华大学、燕京大学三校物理系的大部分和清华大学地质地理气象系的气象部分合并成新的北京大学物理系，设立了物理专业与气象专业，聚集了一大批中国物理界的领军人物。北大物理系成为中国高校中首屈一指的物理重镇。新的北大物理系的教授包括来自原来北大物理系的饶毓泰、赵广增、



胡宁、黄昆、虞福春，来自原清华物理系的周培源、叶企孙、王竹溪、杨立铭、洪朝生，来自原燕京物理系的褚圣麟等。

院系调整后，北大物理系学生数量大增，三校物理系的本科生、研究生聚集北大，成为继西南联大以后的又一次大会师。北大物理系的发展进入了一个新的阶段，从培养少数学生发展到整批地培养物理人才，每年的学生人数从原先的最多二三十个一下子增加到近两百人，1956—1958年更维持在三四百人的规模。1959年，地球物理和无线电电子学专业从物理系分出，成立地球物理系和无线电系。分成三个系后，物理系每年招生的人数仍有一百五六十人。此外，以北大物理系为“种子”，中国核科学技术事业人才摇篮之一的北大技术物理系也从此生长出来。

学习苏联的教学体制是这个时期北大物理系的特点之一。物理系的教学体制从美国的四年制转变为苏联、欧洲大陆的五年或五年半体制，其中前四年为基础课教育，后一年或一年半为专门化训练或撰写毕业论文阶段。1952年全面学习苏联后，1953、1954、1955三个年级改为五年制、1956级以后又改为六年制。为了完成这一转变，物理系教师在开设新课程、专门化教学、大规模指导学生毕业论文等多方面付出了艰辛的劳动。

重返燕园后，黄昆开讲的第一门课是普通物理。普通物理是理工科大学生的入门基础课程，更是物理系学生的“当家”课程。虽然许多人一说起大学物理课就是“四大力学”（理论力学，电动力学，统计力学，量子力学），但是，绝大多数物理学家认为，普通物理课是最根本的。

普通物理也是院系调整后被北大物理系列为重点的一门课程。1952年以前，物理系学生先学一年普通物理，以后分别学理论力学、热学、分子运动论、电磁学、光学、近代物理、无线电等课程。1952年以后，物理系改为上两年半普通



物理,其中包括力学、热学和分子物理、电磁学、光学和原子物理,把原先两个循环的教学内容大体上合并为一个循环。学校相应地成立了第一个教研组——普通物理教研组,由虞福春教授任主任、黄昆教授任副主任。参加教研组的还有褚圣麟、叶企孙教授和沈克琦、汪永铨、赵凯华、丛树桐、李椿等讲师和助教。虞福春和黄昆两人分别各教一班1952年级的新生(每班将近100人),黄昆还自己担任辅导工作。当时采用苏联福里斯(С. З. Фриш)和季莫列娃(А. В. Тиморева)的《普通物理学》作为教材。每隔一两周,普通物理教研组都召开教学讨论会,讨论物理系和其他系的普通物理课的教学内容和教学方法。负责一年级课的虞福春、黄昆和丛树桐还经常进行小组讨论。黄昆和虞福春是邻居,经常互相讨论教学,他还经常去年轻助教的宿舍和他们讨论教学。黄昆和他的同事们一起,精选授课内容,讲究教学方法,革新了普通物理的教学。1953—1954学年,虞福春教二年级普通物理,黄昆仍教大学一年级新生的普通物理。1954年秋,黄昆在教了一学期电磁学后,由于建设固体物理教研室的任务繁重,不再担任普通物理教学。但他对普通物理教学仍很关心,年轻的普通物理教师找他讨论问题,他总是十分热情,并给他们以深刻的启发。

黄昆全力以赴教普通物理这门课。虽然每周只讲三次,一共六个学时,可他每周用于备课的时间足足要用到50至60个小时。黄昆不论讲什么课,不论这堂课的内容已讲过多少次,也不论听众是谁,他每讲一节课都必定要重新写讲稿,而且每次写讲稿都要认真推敲。据韩汝琦教授的回忆,黄昆常以京剧艺术大师梅兰芳先生为榜样勉励自己和教育青年教师:梅兰芳先生上台演出之前,不论多熟的戏路,都要对一遍台词,做一次演练,体现了一位艺术家的职业道德。黄昆强调:备课要准备好在黑板上写的全部板书。板书要体现出课程的脉络、重点和难点。对于特别要强调的结论性的句子,



还一定要注意准确、精炼。黄昆还指出：板书的详略要适当，它实际决定了讲课的速度。有时还需要对板书的安排作出设计：哪些内容写在什么位置，哪些内容不能轻易擦去，需要与后续的内容相呼应，等等。黄昆虽然备有讲稿，但是在课堂上却很少看讲稿，而是非常注意与学生感情的交流，从学生的面部表情中觉察授课的效果，及时作出调整。他十分重视学生提出的问题，善于透过学生的问题，抓住学生之所以会产生糊涂观念的原因和本质，给以透彻的释疑。对那些超出课程内容范围的问题，也要给出“安民告示”，告诉同学这些问题的性质和应该在哪里找到解答。学生特别爱听黄昆先生的总结答疑课，觉得听后总有一种豁然开朗的感觉（引自韩汝琦未出版的《学生心中的楷模——黄昆先生》）。1951年底回国直到“文化大革命”前，黄昆几乎集中自己全部精力钻研物理教学内容，悉心探索最好的教学方法。他经常在讲课或报告前作试讲，从中发现问题和把握讲解节奏。他记得，刚回国第一次试讲时，45分钟的讲课就被助教提了十条批评意见。但是经过下这一番功夫和锻炼，黄昆对课堂教学效果的把握，逐渐达到炉火纯青的程度。

黄昆对于如何讲好课、搞好教学有自己的想法。一方面，他听别人作学术报告和讲课，总感觉听不懂。黄昆参加学术会议喜欢坐第一排，他发现一个对他生效的听课和听报告的规律：听讲效果随离开报告人的距离以指数形式衰减。即使坐第一排，他觉得自己听懂别人讲问题的能力也有限。因而，设身处地为听众着想，他自己讲课、做报告、写书，一定要从头起把问题彻底交代清楚，“假定听讲人对所讲问题一无所知且又反应较慢”。他决不用“很明显……”等话把问题一带而过。有意思的是，他又认为，自己这个优点也带来负面影响：使自己听别人讲问题的能力变得更差。另一方面，黄昆认为，过去学校的传统教学是从学知识到学知识，没有使学生获得运用知识的能力，更谈不上创造知识。



黄昆认为,自己教普通物理课时,在这方面作出了一定的努力。他认为,物理学的讲授应该克服形式主义的缺点,不能把讲授限于一些定义的说明和公式的推演。他强调要引导学生对物理问题有深入的理解,应该“对于所讨论的问题给予一般性的说明,提出问题中的关键性的因素,并且在具体推导过程中尽可能地暴露这些因素”。多少年来在中外教科书中都用分子压强来说明表面张力,黄昆发现这样的分析不恰当,十分模糊。黄昆讲授“表面张力”这个概念时,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,使学生对此有深刻而清晰的理解,当年的学生至今印象仍十分深刻。张宗桦院士1952年考入北大物理系,最近她在接受北大青年学生采访时,曾这样谈起她的大学老师:“胡宁、黄昆、周培源、杨立铭等都是一流的教授,尤其是黄昆教授的普通物理课让我记忆犹新。他把每一个问题都分析得很深,把背后的东西都挖掘出来。”黄昆的这种认真精神,加上他很深的理论造诣,使他的讲课在北大以致全国物理界都有口皆碑。

黄昆对普通物理教学内容有许多独到的见解。他在1953年和1955年发表在《物理通报》上的论文“表面张力”和“分子物理学中的几个问题”就是典型例子。在后一篇论文中,他还透彻地论述了什么是分子物理学、麦克斯韦速度分布律、气体的迁移现象、范德瓦耳斯方程式中引力项的推导等问题。黄昆曾在1952—1959年间担任《物理通报》副主编。他结合读者对高中物理课本提出的问题,还在《物理通报》上发表了“液体的性质”和“弯月面和毛细现象”两篇论文,从分子力的角度对液体的一些性质作了深入浅出的分析,澄清了一系列基本概念,如液体中的压强是“两旁液体分子通过单位面积相互间排斥的力”,即“压强=相互斥力-相互吸力”,并指出这样的斥力和吸力都比压力要大几个数量级。黄昆在基础物理教学中强调和贯彻的科学性是和他在固体物理



研究中的科学方法相一致的。

黄昆的这些教学研究论文在物理教师中引起了广泛的重视和深刻的影响。1953—1955年在北京大学物理系任普通物理教学的苏联专家柯诺瓦洛夫(В. А. Коновалов)教授对年轻的黄昆也很佩服。正是由于黄昆、虞福春、褚圣麟、柯诺瓦洛夫教授和其他教师的努力,在短短的几年间就形成了北京大学普通物理课堂教学的优良传统——立论严谨、概念清楚,提高了物理教学质量。这是一股强大的无形力量和重要的精神财富,它为一代代物理人才和其他专业人才的成长打下了扎实和牢固的基础,其影响十分深远,其贡献难以估计。

通常,在研究领域取得成就的人对研究工作都有浓厚的兴趣,渴望把它继续进行下去,而把教学看成是只有付出没有收获的额外负担,黄昆却不这么认为。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。他认为,科学研究都是站在前人的肩膀上前进的。中国之所以在科学研究上还是一个“发展中国家”,主要是缺乏科学传统和积累,在大多数分支学科,高素质人才匮乏,尚未达到链式反应的“临界人数”。基于这种认识,在北大的那些年,黄昆把主要精力放在培养人才上。他在一次谈话中说:

据说,我的课讲得不错。最近还有人说,在北大理科的基础课教学中,普通物理这门课的影响最大。这说明我全力以赴搞教学是起到了较好的作用的。对我个人来讲,其收获是真正学会了讲课,增长了才干。近些年来,新闻界的人士多次问我:“你没把研究工作长期搞下来,是不是一个很大的损失?”我一直不同意这种看法。因为回国后全力以赴搞教学工作,是客观形势发展的需要,是一个服从国家大局的问题。这也并非我事业上的牺牲,因为搞教学工作并没影响我发挥聪明才智,而是从另一方面增长了才干,实现了自身



价值。

1961年大学教学进入调整、巩固、充实和提高阶段，教育部大力抓教材建设，北京大学物理系丛树桐、李椿、钱尚武编写的《普通物理学》力学部分及热学和分子物理部分的书稿都由黄昆从头到尾仔细审阅。他对书稿把关很严，有些改动常常经过热烈的讨论以致争论才定下来。他提出的许多重要意见为保证教材的高质量发挥了重要的作用。这些教材体现了黄昆和其他教授开创的北京大学普通物理教学的优良传统。

2. 中国固体物理学科的 开创者



固体物理是20世纪40年代以来发展最迅速的物理学的一个分支学科，它的内容十分丰富，为高新技术的发展提供了急需的理论先导和支撑。经过在英国六年的固体物理前沿领域的研究，当时黄昆属于国际上领头的固体物理学家，他的水平无疑在国内固体物理界首屈一指。1951年，黄昆刚回到北大，物理系系主任就要他同几名研究生商量一下，开一门什么样的课。当时大学里的革命气氛很浓，学生享有很大的发言权。怀着一片报国热忱，也为了祖国建设急需大批人才的需要，黄昆根据自己在国外学习和研究的经历，率先提



出在北京大学开设“固体物理”课程。然而，出乎黄昆意料的是，几名研究生都异口同声地说：“没有意思。”这里既有时代与大环境的因素，也有学生认识上的偏差。由于20世纪50年代前后，无论国内还是国外，原子物理学都是最热门的，固体物理学给人以“陈旧”和“落伍”的感觉。另一方面，中国的大学物理系的学生实验做得少，受“四大力学”教科书的影响太深，偏好提出模型和数学形式解，总觉得固体物理研究对象太具体和繁琐。人们对固体物理的认识有一个过程。以后经过多年的反复实践、认识，也经过一番努力，才在中国大学物理专业中逐渐形成一门系统的固体物理课程。在这发展过程中，黄昆既是播种人，又是耕耘者。

当时，无论国内国外，固体物理学都仅有专著，而无现成的教科书可供借鉴。1953年，黄昆首先为研究生曹昌祺、郭长志、陈志全等开设固体理论课，内容主要是晶格动力学和固体电子论。接着，黄昆应当时的中国科学院应用物理所邀请，进城给科研人员讲授固体物理。1953年秋北京大学物理系设立了固体物理、光学、无线电电子学、理论物理等专门化教研室，黄昆被任命为固体物理专门化教研室主任。当时北大固体物理教研室可以邀请一位苏联专家来华帮助教学。黄昆预见到半导体物理将是固体物理中最活跃的领域，打算邀请一位苏联半导体物理专家。但苏方提供的专家目录中只有固体物理学专家，北大固体物理教研室不得已邀请一位苏联固体物理专家来华，结果苏方派来了金属物理专家华西列夫(Л. И. Васильев)。

为了带好研究生和进修教师，黄昆邀请中国科学院钱临照、葛庭燧教授，北京钢铁学院(现北京科技大学)柯俊教授，北京大学的叶企孙教授、华西列夫专家和他自己一起，为研究生、北京大学教师、外校进修教师开设了固体概论、晶格理论基础、固体电子论、金属学、晶体的范性形变等课



程。这些研究生和一起学习的进修教师后来都成为该领域的骨干和专家。在40多年前的合作教学中，黄昆的固体电子论给人留下了深刻的印象。他在讲课中把经典电子理论和现代电子理论的各个部分的物理图像讲解得十分准确和清晰。在每一部分的开头，他总是先扼要地指出这一部分提出了什么模型，解释了什么实验规律，还遇到什么样的困难，使学生对它有一个正确的概念。他在讲课中强调，模型总是从复杂的事物中抽象出主要因素，以便有针对性地解决一些特定的问题。而新的模型通常既包含旧模型的合理因素，又必然考虑了另外一些主要因素，以解决新的问题。正是这种启发式的讲授，使他的课引人入胜，使听课的人一生都感受到教益。有人至今还保存着40多年前听黄昆的课时的笔记。秦国刚院士1952年进入北京大学学习，回忆起近半个世纪前听黄昆讲课的情形时说：“我原以为是位老教授给我们上课，没想到他那么年轻，才30多岁。听他的课，好像是一种享受，除了科学以外，能体会到一种美感。他分析特别透彻，能够让人比较快地掌握关键之处。”

黄昆讲课非常幽默风趣。大学教室里教师讲桌和黑板之间一般都有一个二十多厘米高、一米宽、两米多长的台阶，老师站在台阶上讲课。一天，黄昆正讲“能带论”，一不小心从台阶的一头失足掉了下来，黄昆正色地说了一句：“umklapp，我要是个电子，就已经到了那头了。”原来，根据固体物理学理论，晶体中的散射过程满足晶格准动量守恒，因此，散射过程可分为“正常过程”和“umklapp过程”（或简称为“U过程”）。对于正常过程，散射后电子或声子的末态的波矢仍在第一布里渊区内；而“umklapp过程”是指散射后的晶格准动量守恒所要求的末态的波矢出了第一布里渊区，必须加上一个晶格倒格矢，才能折合到第一布里渊区内。如果把讲台比作第一布里渊区，出了讲台，加上一个晶格倒格矢（长度等于讲台），就相当于回到第一布里渊区（讲台）



的另一端去了。当然，没有学过固体物理学的人，是听不懂这句很风趣的笑话的。

黄昆在讲课中还发表了不少评论。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。例如，他在肯定著名固体物理学家塞茨(F. Seitz)的同时，又指出该学派一些计算脱离了实际基础。他指出，非晶态半导体的出现，对能带论提出了挑战，会推动固体电子论的发展。他认为，金属和半导体表面是很重要的课题。他的科学造诣使他站得高看得远，他指出的方向正好是以后这些年来固体物理发展的一些主流方向。黄昆在讲授固体物理基础课时，除了保持讲解透彻和概念准确的特点外，在固体原子理论部分还介绍了晶体缺陷和扩散、离子导电、塑性形变、晶界及晶体生长，并有专门的一章讲解相图及其热力学解释，从而沟通了固体物理和材料科学。在课程中他还概括地介绍固体物理各分支的基本内容，使学生看到，固体物理是一门内涵极其丰富多彩的学科。

从1953年至1955年的三年中，黄昆给他的研究生、中国科学院应用物理研究所的科研人员 and 高校进修教师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。1955年以后，黄昆继续为北京大学半导体物理、金属物理、磁学等专门组的大学生讲授固体物理。他还建议把固体物理列为中国大学物理专业的一门基础课，作为物理专业课程设置上最显著的一项改革，以赶上当代科学技术发展的步伐。1960年秋，固体物理正式成为北京大学物理专业的基础课，在北大物理系本科生中普遍开设了这门课程。这一切凝聚了黄昆大量的心血和辛勤劳动。可以毫不夸张地说，黄昆开创了中国高等学校的固体物理专业教育。

黄昆多次为北大本科生讲授固体物理，并编写出固体物理讲义，铅印后发给学生。黄昆十分重视教材的建设，他一



向认为：“对于科学著作，特别是具有教材性质的书籍，一项起码的要求是：问题的讲解必须明确具体，基本概念和理论的阐述必须明确。”1965年，他把自己的固体物理讲义作了全面修订后，送交高等教育出版社出版。1966年6月，高等教育出版社已排好版只待开印，但受“文化大革命”耽误，这本书直到1979年才由人民教育出版社第一次印刷，成为“文化大革命”以后全国高校固体物理教学的一本主要教材。把黄昆的《固体物理学》和其他固体物理教材〔如著名的基特尔（C. Kittel）的《固体物理导论》〕比较可以看出，《固体物理学》的特点是系统地讲解了固体物理学最基本的基础知识，基本概念和理论的阐述准确，物理问题的讲解明确具体，和基础物理知识衔接紧密，是一本很有特色的教科书。但是，黄昆认为：“我那本书的出版时间和原稿写成时间相隔近20年，为此，该书出版后，我始终深有不妥之感。”20世纪80年代初期，高等学校理科物理学教材编审委员会建议黄昆修订再版他的《固体物理学》。黄昆一贯反对抄抄摘摘地所谓编写教材，他认为，要“通过多次讲课，经过多年的反复实践，才能逐渐形成一门系统的固体物理课程”，“固体物理本身在广度和深度上都仍在迅速发展，为了能恰当地反映固体物理的新进展，在教学和教材编写中就必须作持续的努力，而这绝不是轻而易举能做到的”。鉴于他当时已担任中国科学院半导体研究所所长，不再在教学第一线工作，他建议由北京大学韩汝琦教授改编这本书。韩汝琦在1960年至1965年期间曾协助黄昆教固体物理课。在黄昆的指导下，他在改编过程中力图保持原书的风貌，希望能立足于20世纪80年代固体物理学的发展，对一些传统的内容和概念给予更加深刻的阐述。他增加了相当多的新的科学内容，并与原有内容有机地融合在一起，力争在教材内容与体系的改革上有新的突破。1985年书稿完成后，黄昆一章一章地、逐字逐句地审阅了全部书稿。对每一章，他都提出了一两百条意见，密密麻麻地





▲ 20世纪70年代黄昆
在北京大学物理大楼前
的留影（黄昆提供）

写满了好几页稿纸，意见包括选材内容、系统安排、概念阐述，甚至公式和语句上的错误。1988年10月，黄昆原著、韩汝琦改编的《固体物理学》由高等教育出版社出版。这本教材于1992年在第二届全国优秀教材评选中荣获国家级特等奖，1996年荣获全国科技进步二等奖。中国成千上万的大学物理专业学生和电子工程专业学生，通过黄昆的这本《固体物理学》进入到了现代物理最丰富多彩的一个领域。

从1960年起，黄昆兼任北京大学物理系副主任，主管科研工作。20世纪60年代初，国家科学技术委员会为中国科研长远发展的需要，决定设立一系列重点科学研究实验室。

1962年在广州召开的国家科学研究规划会议上，黄昆与谢希德教授联名提出建议：应该加强中国的固体能谱基础研究。所谓固体能谱研究，是运用各种实验手段（主要是光谱）和理论方法，探索固体内部电子的运动规律。它虽然是基础的物理研究，但对发展新材料和新型器件具有重要的指导意义。黄昆与谢希德的建议获得了政府批准，由政府拨款，从1963年起，黄昆以半导体教研室为主，联合其他有关教研室的研究组，组织起队伍，从国外引进了一些先进的仪器，筹建起了北京大学固体能谱研究室和实验室。在研究工作中，



他强调理论与实验研究相结合，理论研究与发展新材料、新器件相结合。经过广大师生的努力，北京大学固体能谱研究室开始做出一批具有相当水平的工作，推动了全国固体物理基础研究的发展。可惜的是，由于受到1964年北京大学“社会主义教育运动”，特别是“文化大革命”的干扰，固体能谱研究室没有来得及在科研工作上取得显著的系统成果。尽管如此，当时建立的实验设备为以后的发展打下了基础。“文化大革命”以后，它分成了两部分，在北京大学物理系的一部分发展成为由甘子钊院士任所长的北京大学固体物理研究所和以秦国刚院士为主任的半导体物理教研室，在北京大学计算机科学系的一部分发展成为以王阳元院士为所长的北京大学微电子学研究所，这几位负责人都是黄昆当年的研究生或学生。

3. 中国半导体科学技术的奠基人



按照固体物理能带论的观点，绝对零度温度下，导电性能良好的金属（如金、银、铜、铁等）的最高占据能级与最低未占据能级之间没有能隙（能量间隔）；不易导电的绝缘体（如木材、玻璃、陶瓷、云母等）的最高占据能级与最低未占据能级之间存在较大的能隙，而导电性能介于导体和绝缘体之间的半导体材料（如锗、硅、砷化镓等）的能隙也介于两



者之间，即最高占据能级（价带顶）与最低未占据能级（导带底）之间的能隙为 $0.1 \sim 3$ 电子伏特。通过掺入杂质，例如，四价的半导体硅材料中掺入三价元素杂质变成P型硅材料；或掺入五价元素杂质成为N型硅半导体。P(N)型材料导电的多数载流子是空穴(电子)。P型半导体与N型半导体连结在一起，由于载流子的扩散及漂移，形成PN结，它是半导体二极管和晶体管的基础。

1947年12月美国贝尔实验室的肖克利(W. Shockley)、布拉顿(W. H. Brattain)和巴丁(J. Bardeen)发明了半导体晶体管，这是一件划时代的大事。半导体科学技术的迅速发展以及它对其他高科技领域的渗透和推动，其势头至今未衰。黄昆和国内其他一些专家很早就觉察到半导体物理对于推动现代科学技术发展的巨大作用。1955年，黄昆邀请中国科学院应用物理研究所王守武、洪朝生、汤定元研究员，和他自己一起在北京大学合作讲授半导体物理课程。当时半导体物理课的开设没有蓝本可以遵循，连综述性的文章也很少，因此，第一次在学校开课，他们四人各自依据自己熟悉的知识分工，每人讲九个学时。在此基础上，黄昆自1956年起，独自给北京大学学生讲这门课。期间，他们四位还为中国物理学会组织的专题报告会讲课。

1956年3月，中国集中全国600多位科学家，按照“重点发展，迎头赶上”的方针，采取“以任务为经，以学科为纬，以任务带学科”的原则，制定了12年科学技术发展规划，确定了57项重要科学技术任务，并从其中抓住更带有关键意义的12个科学研究重点。其后，为了发展无线电电子学、自动化、半导体和计算技术这四个在现代科学技术发展中具有关键作用的新学科领域，使中国的科学技术在短时期内改变现状，接近国际水平，科学规划委员会提出了“发展计算技术、半导体技术、无线电电子学、自动学和远距离操纵技术的紧急措施方案”(后来人们简称之为“四大紧急措施”)。“四



大紧急措施”实施方案报到国务院后，周恩来总理亲自过问审议，并立即批准。黄昆参与制定了这个规划，并和其他专家一起建议：为了适应迅速发展的半导体科学技术事业的需要，要尽快培养半导体专门人才。不久，教育部决定，将北京大学、复旦大学、吉林大学、南京大学和厦门大学的有关教师、四年级本科生和研究生从1956年暑假起集中到北京大学，成立中国第一个五校联合的半导体专门化（还包括南开大学及清华大学本科生和旁听生20名）。联合专门化由黄昆任主任，复旦大学谢希德任副主任，集中在一起的教师近30人。

从1956年暑假到1958年，五所大学的教师通力合作，没有经过任何筹备阶段，按时开设了一系列从理论到实验的课程，例如：固体物理学、半导体物理学、半导体实验、半导

▼ 中国半导体物理的两位先驱者——黄昆与谢希德（黄昆提供）



体材料学、半导体器件、晶体管电路等等。当时北京大学还请了一位苏联专家桑杜洛娃（А. В. Сандулова）前来工作两年（1956—1958年），她为教师开设了半导体器件工艺课，并和他们一起建立了实验室。除教学外，师生们还分别在半导体物理学、半导体理论、半导体器件物理和工艺等方面开展研究工作，做毕业论文。黄昆和谢希德一起，主讲半导体物理学这门课，并指导学生进行半导体物理学研究。

半导体物理学是半导体科学与技术的学科基础。由于这是一门新兴学科，直到20世纪50年代初，国际上还没有专门的教科书。黄昆在北大讲授的半导体物理学教材的基础上，与谢希德合作，参考国际物理期刊上最新发表的论文，给五校联合半导体专门化师生讲授。在此基础上，黄昆与谢希德对教材进行了整理，于1958年完成了《半导体物理学》专著，并由科学出版社出版。《半导体物理学》一书大部分章节由黄昆亲自执笔撰写，并最后由黄昆统一修改定稿。《半导体物理学》这本书从理论上系统地阐述了正在迅速发展的半导体物理学科的基本物理现象和理论，是中国半导体领域最早的一本专著，在国际上也属于在学术研究前沿水平上的著作。在很长一段时间内，这本著作成为中国半导体科学技术各个专业的研究人员的基本参考书，也是培养半导体学科专门人才的广为使用的一本标准教材。一本教材的形成有一个发展过程。黄昆在这一过程中，借助他在科研工作中的经验，将其作为获取科研成果来对待，潜心研究，臻于完美。他认为，做教学工作仍然能充分地发挥自己的潜力和才干，为国家作出积极有益的贡献。20世纪80年代，为了及时反映1958年以后近30年中的半导体物理学的新发展，黄昆推荐北京大学叶良修教授编写半导体物理学。叶良修是他的学生，毕业后又一直在他领导下工作。叶良修在编写中注意概念准确，物理图像清晰，同时尽量反映新的进展。书稿上册完成后黄昆又逐章逐节地审阅，提出的具体建议达十几页之多。此书



上册于1984年、下册于1987年由高等教育出版社出版,1988年在全国优秀图书评奖中荣获二等奖。

五校联合专门化教研室比较系统地培养了中国第一批半导体专业的毕业生,共有200多名。其中北京大学学生为五年制,分别在1958、1959年毕业;其他学校的学生为四年制,分别于1957、1958年毕业,其中有少数学习优秀的学生转入北京大学,延长到五年毕业。这是中国半导体物理教学事业中的一件大事。随后,全国许多高校纷纷仿效成立了半导体专业,还建立了研究所和生产半导体材料和器件的车间。1960年,在中国科学院应用物理所半导体研究室基础上,中国科学院半导体研究所成立。中国半导体学科和半导体技术很快独立自主地发展起来。五校联合专门化培养的这批人才成了中国半导体事业的骨干力量,对于推动中国半导体专业的教学与科研,对于推动中国半导体产业的发展起了重大的作用。1986年10月,为了纪念中国半导体专业创办30周年,当年的五校师生重聚北京大学,举办了学术报告会。会议检阅了中国半导体专业人才队伍的成长,回顾了30年来中国在半导体物理学、半导体微电子学和光电子学方面取得的成绩以及与国外的差距。会上,黄昆作了题为“量子阱空穴子带”的学术报告,谢希德作了题为“半导体物理新进展”的学术报告。会议纪要高度评价了当年五校师生创业时有理想、有决心、艰苦奋斗、团结协作的精神,也高度赞扬了黄昆、谢希德教授的历史性贡献。

黄昆长期担任北京大学半导体物理教研室领导工作。他亲自参加制订半导体物理实验、半导体器件、半导体材料等课程的教学大纲,审阅教材,主持试讲,保证了这些课程的教学质量。这一时期教师编写出版的《晶体管原理》、《半导体材料学》、《半导体物理实验》等教材,对全国半导体物理的课程建设起了示范和促进作用。1962年至1966年毕业的北京大学物理系六年制学生,有将近一年的时间做毕业论

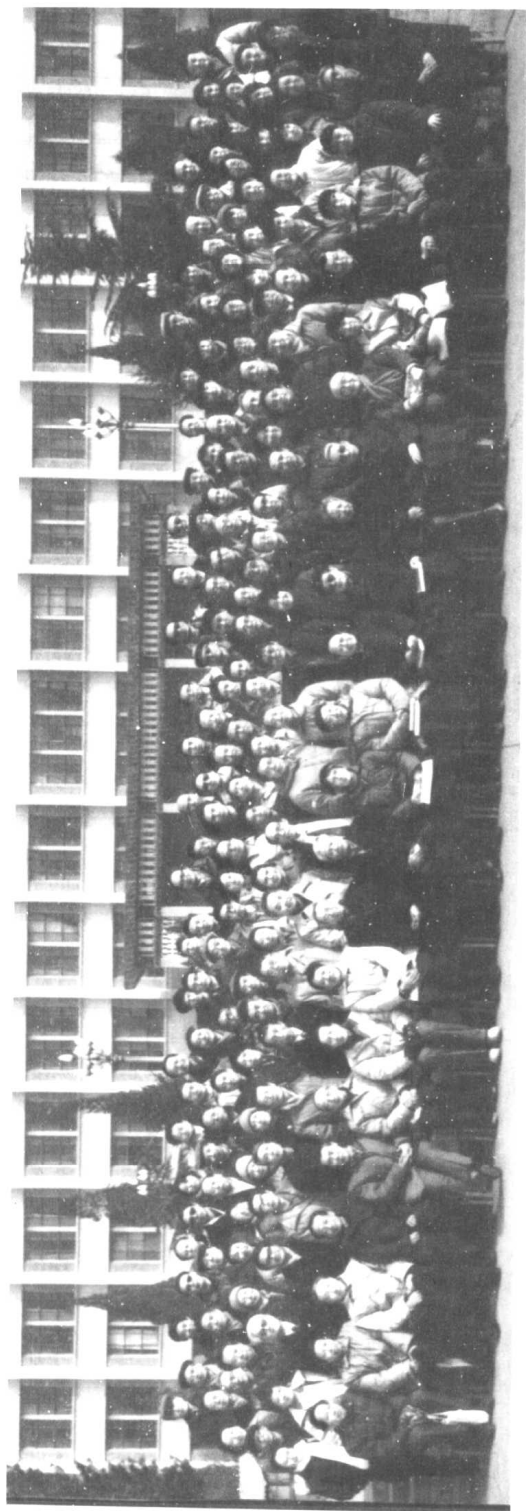


文。每年，黄昆都要落实选题和指导教师，带头参加所有学生的毕业论文答辩，并且要求全体教师参加。这些措施对培养学生和青年教师的独立工作能力，活跃他们的学术思想起到了十分良好的作用。

黄昆的年富力强的岁月是在祖国的教育战线上度过的，他在北京大学从事过多年的普通物理学、固体物理学、固体理论、半导体物理学等课程的教学工作，为一次又一次物理学人才的成长打下了坚实的基础。他领导建设了北京大学固体物理教研室和半导体物理教研室，指导了多名研究生，为培养中国的半导体科学技术的骨干力量作出了卓越的贡献，并把深刻的物理思维和严谨的作风传给了他们。1989年9月2日是黄昆的70寿辰。为了庆贺他近半个世纪教学、科研活动所取得的卓越成就，1990年1月4日，北京大学举行了“黄昆教授70寿辰学术报告会”。著名华裔物理学家杨振宁教授专程来京参加会议，并作了学术报告。与会的近200位专家教授中，有黄昆的朋友、同事，但绝大多数是他的学生。会上宣读的十篇论文，显示了20世纪80年代中国在半导体物理学、晶格动力学方面的研究成果。报告会的当天晚上，在

▼ 1989年，参加祝贺黄昆70寿辰晚宴的部分代表的合影。左起为：朱邦芬、秦国刚、郑厚植、甘子钊、李爱扶、黄昆、韩汝琦和钟战天（朱邦芬提供）





▲ 1989年，祝贺黄昆70寿辰学术报告会全体代表合影（朱邦芬提供）



北大勺园餐厅举行了祝寿宴会，除了黄昆夫妇，所有人均自掏腰包参加。新加坡世界科学出版社（World Scientific Publishing Co.）出版了名为《晶格动力学与半导体物理——庆祝黄昆 70 寿辰》的文集，32 位中外科学家就这两个领域中的最新发展撰写了专题评述论文，其中大多数进展与黄昆的科学工作直接相关。北京大学出版社也出版了玻恩与黄昆的名著《晶格动力学理论》的中文版。正如杨振宁教授所说：“有这么多人，参加了这么热烈的祝贺黄昆寿辰的盛会，这代表着他在中国有着巨大的贡献和巨大的影响。”会上，北京大学物理系师生送黄昆的一副对联引起了大家的共鸣：

渡重洋迎朝晖心系祖国傲视功名富贵如草芥
攀高峰历磨难志兴华夏欣闻徒子徒孙尽栋梁

这正是黄昆始终矢志不渝地为中国教育事业做出无私奉献的写照。



4. 磨难

1966 年至 1976 年，中国经历了一场史无前例的所谓“无产阶级文化大革命”。这是黑白颠倒、是非混淆的岁月，是“七斗八斗”的十年。“文化大革命”，大革文化命。“知识越多越反动”，“把颠倒了的历史再颠倒过来”，在这样的大环境下，北京大学许多名教授，包括在离意识形态较远的物理系

的饶毓泰和叶企孙两位学部委员，也悲惨地死于非命。黄昆作为北大物理系副主任和中国科学院学部委员，尽管回国以后一贯积极，紧跟党组织，有时甚至把当时一些比较“左”的做法和理论当作科学的马列主义和毛泽东思想来接受（自从阅读了斯诺的《西行漫记》以后，他就一直十分虔诚地信仰共产主义），但是，身在北京大学这个全国第一张“马列主义大字报”的诞生地、“六厂二校”的典型单位之一和“文化大革命”的重灾区，他还是没能逃脱受冲击的命运。

“文革”一开始，黄昆就“靠边站”，并接受“劳动改造”。1968年夏，“首都工人毛泽东思想宣传队”和“解放军毛泽东思想宣传队”进驻北大，开展“清理阶级队伍”运动后，黄昆又被毫无根据地怀疑加入过国民党，在一段时期内被隔离审查。黄昆在生活上也和大多数知名科学家一样，受到了不公正的待遇。他的工资被扣，在北大中关村二公寓的一套两室一厅的住房也被安排搬进另一户人家，这样，黄昆夫妇加上两个已是大小伙子的孩子都挤在一间卧室中。

1969年，在“斗、批、改”的口号下，北大、清华一大批教师被下放到江西鄱阳湖边的鲤鱼洲农场劳动，许多人因此患上了血吸虫病。黄昆还算幸运，被安排在位于北京郊区昌平县的“北大200号”参加“斗、批、改”。他每个星期回一次家，上百里的路，黄昆靠骑自行车来回奔波。北京的冬天经常刮强劲的西北风，有时在回“北大200号”时碰上了，黄昆骑不动车，就只能推着车一步一步地顶着风往前走。黄昆在“北大200号”焊过塑料通风管，也做过晶体管集成电路。

尽管受到了不公正的待遇，但是黄昆总是努力为党、为祖国、为社会主义事业做尽可能多的工作。“北大200号”主要搞半导体器件生产，要求教员到生产线上带学生。黄昆擅长半导体物理学，但并不熟悉晶体管与晶体管集成电路，只能边干边学。1970年以后，北京大学招收了一批工农兵学员，



他们担负起所谓的“上大学，管大学，用毛泽东思想改造大学”的使命。学校安排黄昆和韩汝琦给这些工农兵学员讲授半导体物理课。面对这批学生普遍缺乏甚至中学的数学和物理基础知识的现状，黄昆从这些学生将来大部分人将从事半导体技术工作的特点出发，打破传统的系统讲法，总结概括出从事技术工作所必要的物理概念，避开详细的数学推导和深奥的物理背景，采用类比的办法，定性地给出必要的结论，取得了很好的教学效果。1979年科学出版社出版的《半导体物理基础》一书，就是以当时的讲义为基础编著的。为编写这本书，他深入到科研与生产第一线去了解情况，针对实际需要，深入浅出地讲解半导体物理的基础知识。这本书尽管在内容的广度和深度上有较大的局限性，但深受广大从事半导体技术工作的科技人员的欢迎，体现出了一位老科学家在特殊情况下为培养工农兵学员而呕心沥血的献身精神。此书至今仍被不少专业学校用作为教材，或其中的若干章节被复印出来供学生学习。这一期间黄昆还和其他教师一起参加了《晶体管——晶体管数字集成电路》一书的编写工作，这本书1977年由科学出版社出版（以集体署名），其中有一些内容是黄昆的独创。虽然黄昆边干边学，干得不错，但是“北大200号”的主要任务毕竟是生产半导体器件，而黄昆的特长是研究与讲授半导体物理学和固体物理学，因此，“北大200号”的工作跟他的专业很不对口。

“文化大革命”中有一句人们常引用的话，叫“树欲静而风不止”，用以比喻“阶级斗争是不以人们的意志为转移的”。令人意想不到的是，黄昆在“文革”中也身不由己，被卷入了政治斗争的漩涡中。1974年，邓小平重新出来工作。邓小平一家与北大物理系有很深的渊源。邓小平夫人卓琳、儿子邓朴方、邓质方和女儿邓楠都曾在北大物理系或技术物理系上过学。1975年，中国科学院半导体研究所邀请黄昆作学



术报告，他的新颖的见解、精彩的报告给半导体所广大科研人员留下了深刻的印象。也许通过邓楠（当时正在中科院半导体所工作），邓小平了解到了黄昆的一些近况。鉴于当时北大、清华两个学校被“四人帮”的党羽迟群和谢静宜把持，党的知识分子政策迟迟不能落实，又鉴于当时中国科研队伍大大削弱，而像黄昆这样的人才又是国家急需的，1975年9月，在一次听取中国科学院负责同志汇报“关于科技工作的几个问题”（即著名的“汇报提纲”）的会议上，邓小平义正词严地指出：

有位老科学家，搞半导体的，北京大学叫他改行教别的，他不会，科学院半导体所请他作学术报告，反映很好。他说这是业余研究的。这种用非所学的人是大量的，应当发挥他们的作用，不然对国家是最大的浪费。他是学部委员、全国知名的人，就这么个遭遇。为什么不叫他搞本行？北大不用他，可以调到半导体所当所长，给他配党委书记，配后勤人员。

这里，邓小平指的老科学家就是黄昆。可是，没过几天，形势发生了变化，“四人帮”发动了“批邓，反击右倾翻案风”运动。在“批邓”时，邓小平的那番关于黄昆的话自然要批判，于是北京大学军宣队和工宣队要求黄昆写批判文章。黄昆写的材料完全不合上面的口味，于是“梁效”写作组有人以黄昆的名义重新撰写。这样，在《红旗》杂志上刊登了署名黄昆的批判文章，意思大致为：邓小平想挑拨党与知识分子的关系，这是不能得逞的。“文革”后，黄昆大彻大悟，认识到自己政治上的幼稚。尽管文章另有捉刀代笔者，但是，黄昆始终认为，既然署了自己的名，应由自己承担这篇文章的主要责任，并把它当作自己一辈子都要牢记的教训。





第四章

凤凰涅槃



1. 邓小平点将

1976年10月，祸国殃民的“四人帮”终于被扫进了历史的垃圾堆。人心所向，众望所归，1977年邓小平又一次恢复工作，开始他“三落三起”传奇历程的“第三次大起”。邓小平恢复工作以后，立即自告奋勇抓科教工作。邓小平说话是算数的，他没有忘记他在1975年整顿中国科学院时说的那番话，他也明白《红旗》杂志上那篇署名黄昆的批判文章并不代表黄昆的真实想法。1977年8月初，邓小平主持召开了全国科学和教育工作会议，在会上，他就科教工作的一系列根本问题发表了重要的意见。据参加会议的北京大学副校长沈克琦教授的会议记录，邓小平还特地向沈克琦询问了黄昆的近况。当听到黄昆还在“北大200号”时，邓小平说：“我现在还认为他（指黄昆）应该当半导体所所长。”他豁达地说：“他（黄昆）批了我，是我害了他。我那时还批我自己呢！”与1975年秋天不同，邓小平这回讲话后，一路绿灯，中国科学院、北京大学雷厉风行，立即就执行。几天以后，中国科学院调黄昆去半导体所工作的调令就下来了。于是，年近花甲的黄昆就到位于美术馆后街大取灯胡同九号的半导体所（原北平研究院物理所旧址）上班来了。这件事情对半导体所的发展，对中国半导体事业的发展起了很大的推动作用，对全国科技界的拨乱反正具有典型意义。军人出身的邓小平一贯认为：如同建设一支有战斗力的部队的关键是选一个好的领导班子一样，要办好一个研究所，关键是要选好“三驾马车”，即一个有水平、有知识的所长，一个开明的、好的党委书记和一个全心全意为科研服务、党性好、组织能力强的后勤部长。这样，作为“三驾马车”的试点，黄昆由北京大学调任中国科学院半导体研究所所长，张方海任所党委员



记(后由冯文耀代替),王峰任管后勤的副所长。他们组成了半导体所的“三驾马车”。

中国科学院半导体研究所成立于1960年,前身是1956年成立的中国科学院应用物理所的半导体研究室,是作为1956年国家“四大紧急措施”的一部分而建立的研究机构,由王守武领导。半导体所是一个综合性的研究所,致力于半导体材料、物理、微电子器件和光电子器件等领域的研究。半导体所有光荣的历史,中国第一只晶体管、第一块集成电路、第一只半导体激光二极管均诞生于半导体所。然而,“文化大革命”也给它带来了后遗症,一些科研人员打派仗、不务正业,也有一些人少务正业,科研水平不高。

1977年秋天,黄昆带着行李卷,骑着一辆旧自行车到中国科学院半导体研究所上班来了。黄昆经常强调他不会做领导工作。许多人当了领导,上来都会发表几个钟点的施政演讲,而黄昆在他第一任所长任期三年之内,除去照本宣读每年的全所年终总结报告外,只是在党委书记的督促之下,做过唯一的一次30分钟的全所讲话。在这次讲话中,黄昆说了三点意见。第一,各个研究室都在无休止地争论发展方向,其实是受了“文化大革命”残留思潮的影响。他指出,各个研究室并没有实质上的轻重之分,重要的是把精力集中到实际科研工作上来;第二,他强调,作为国家科学院的研究所,科研工作必须是高水平的,否则就失去了存在的意义;第三,为了提高科研工作质量,应当大力提倡学术交流。这三点意见反映了黄昆对如何办好一个研究所的基本认识,实际上也是黄昆七年所长任期的施政纲领。黄昆对这次讲话颇引以为豪。

其实,黄昆对于当半导体所所长,思想上存在很大的矛盾。他觉得,当时国家给半导体所的主要任务是半导体新材料的生长和器件的研制,而自己在这方面是门外汉。此外,



他也从来没有领导一个单位的经验，生怕自己不称职。但他又认识到，任命自己当所长是邓小平拍的板，自己也不好讨价还价。这样，在矛盾中经过了一年后，他给当时的中国科学院院长方毅写了一封请辞信，表明自己不能适应所长的领导岗位工作。几天后，方毅院长就向黄昆传达了邓小平的指示：“要他当所长就是要他进所直接到实验室去。”至此，他责无旁贷，只有放下包袱，尽自己能力做好研究所的业务工作。

面临一个百废待兴的局面，作为新来的所长，该如何开展工作呢？积多年的科学研究和教学经验，黄昆认为，一个研究所研究水平高低的关键是研究人员的素质。反思新中国成立以来半导体科学技术的历程，黄昆总结出一条规律：越是国家重视的学科，基础研究反而越容易受到冲击。20世纪50年代的金属，60年代的半导体，都是国家十分重视的学科，当时，中国科学院集中全国精兵强将，分别成立了金属研究所与半导体研究所，但是，金属物理与半导体物理的研究，相对而言是长期以来受冲击最大的学科，因为它们动辄就被戴上一顶“脱离实际”的帽子。多年来，半导体所实行的是“以任务带学科”的方针。国家任务急，军工任务重，为了出“片子”（制作集成电路所需的单晶材料）、出管子，实行“炒菜”式的操作，即通过凭经验改变原料配比和工艺条件的方法，多次、大量地试验，以达到最后烧出一些质量高的片子，做出一些性能好的管子，完成任务，向上面报喜。长此以往，半导体所的原创性研究的水平得不到提高，半导体物理更是几乎没有专门的研究队伍。1975年9月，美国固体物理学代表团访问中国，代表团成员包括巴丁、布洛姆伯根（N. Bloembergen）、施里弗（J. Schrieffer）等诺贝尔奖获得者。他们参观了中科院半导体所、物理所、清华、北大等许多研究机构和大学，回到美国后撰写了一个长篇报告。在评估中国的半导体研究时，他们对中国作为一个发展中国





家，靠自力更生在硅技术上所取得的成绩印象深刻，但又评价这些成果大多仅是重复发达国家已实现的科学结果，缺乏创新。他们认为，随着中国基础技术的建立，研究领域应该拓宽，应该开展更具探索性的工作，研究应该更加具有物理性而不是工程性。应该说，对于当时中国半导体研究现状，特别是对半导体所研究工作，所作的这个评价是相当客观的。

▲ 黄昆在办公室与来访的诺贝尔物理学奖获得者布洛姆伯根 (N. Bloembergen) 教授合影 (黄昆提供)

吸取了历史教训，黄昆在组织全所科学研究的同时，十分重视科研人员学术水平的提高。一方面，黄昆通过从外单位调进一些业务尖子，如他原来北大的研究生夏建白、顾宗权等人，以及通过招收研究生，来改变研究所人员结构，增加从事基础研究人员的比例；另一方面，他要求所里所有科研工作者都要加强基础理论的学习，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，黄昆每星期抽半天给全所科研人员讲授半导体物理基础，在大学本科的半导体物理和研究



第一线所需的半导体物理之间搭起一座桥梁。黄昆起初只是想给半导体所理论小组讲课,但出乎黄昆意料之外,第一讲,其他各个研究室自发地就有好几十人来听讲,以致讲课只能安排在半导体所办公楼的屋顶平台上进行。听讲人一连几个小时坐在自带的小马扎上听课,充分显示了所内人员主动要求学习的热情。黄昆前后整整讲了十个月,其讲稿由一些人记录整理,油印装订后,几乎半导体所所有科研人员人手一份(可惜的是,这份讲稿没有作进一步加工,以出版成书,发挥更大的作用)。“文革”后,半导体所选派了一批优秀的科研人员出国进修,其中汪兆平被选派到德国马普学会固体所做拉曼散射实验,但他以前并没有这方面的基础。黄昆特地为汪兆平等人准备了一个介绍拉曼散射的报告。报告深入浅出,使汪兆平很快就了解了拉曼散射的基础,为出国研究进修打下了基础。

在黄昆主持下,半导体所的科研方向的调整、科研队伍的重新组织、基础研究工作的恢复等都很快取得了成效。被冲散了的基础研究队伍重新组织起来,先后成立了物理研究室和理化分析实验室。在黄昆亲自领导下,物理研究室很快成为一个理论与实验相结合、学术空气活跃的研究群体。黄昆让物理室为他准备了一张桌子和一把椅子,此后他有了两个办公地点:所长办公室和物理室。在黄昆的带动下,半导体所的学术水平有了长足的进步,一些原来做器件、生长材料的研究人员也懂得如何从物理上深入思考问题,做出有创造性的研究工作。其中最突出的要数王启明、郑厚植、王占国、王圩、吴德馨、陈良惠等人,他们成长很快,现在都是中科院或工程院院士,已各自成为一个领域的带头人。黄昆建议全所每年至少要编出一本学术工作报告年刊。编写工作刚开始时,黄昆不但要审查论文,还成了年刊英文版的撰写人和校对。





▲ 2002年，黄昆与中国科学院半导体所所长郑厚植院士（左一）和夏建白院士（右一）在讨论工作（黄昆提供）

作为所长，黄昆十分注意发挥“三驾马车”中其他两位成员，以及副所长林兰英、王守武、王守觉院士的作用。应该说，黄昆作为国内半导体物理学的创始人，他的意见对于半导体所科研方向的确定和调整是具有权威性的。但黄昆从不把自己的意见强加于人，更不以所长的身份“以势压人”。在任所长期间，他充分发挥所里其他领导成员和职能部门的作用。他只抓全局性的大事以及半导体物理这一块的工作，党政方面的事由党委书记和行政副所长负责，林兰英负责全所日常性业务工作及材料块的工作，王守武负责光电子器件，王守觉负责微电子器件方面的研究。整个领导班子充分发扬民主，分工协作，十分和谐。林兰英教授曾多次与当时在所党委工作、1983年后担任所党委书记的李维学谈起，她在那段时期的工作中，心情非常愉快，因为黄昆非常尊重别



人的意见，因而林兰英发挥了较大的协调作用。黄昆当所长的七年，实行的还是党委领导下的所长负责制。由于黄昆水平很高而又很谦虚，在集体讨论问题时，他的精辟见解和公正态度赢得了其他党政领导出自内心的尊敬。与黄昆同时调到半导体所当党委书记的张方海同志曾对李维学说：“黄昆教授不仅是位大科学家，在管理工作中能力也很强，我们不仅在科研工作中要尊重他的意见，而且要做好服务工作。”

黄昆在工作中表现出很强的党性。“文革”十年拉大了中国与世界先进科学技术的差距。十年动乱结束后，全党上下迫切希望把耽误的时间夺回来，特别希望在大规模集成电路的研制和生产上缩短与世界先进水平的差距。根据科学技术工作的客观规律，黄昆对此有自己的看法，但他也充分理解中央的出发点，在工作中认真执行，表现出顾全大局的品德。黄昆虽然是一所之长，但在党内，他总是表现出一名普通党员极强的纪律性和党性。他常常主动找党委书记谈心、谈工作，凡是研究所党委会议和他所在党支部的组织生活，他总是竭力争取参加。万一不在所里，出席不了，他也一定做到事先请假。在整党学习的第一阶段结束后，每个党员都被要求写学习小结。党支部没有通知黄昆写，他得知后说：“大家都写了，我也应当写”，并按时认真地向党支部交了书面学习小结。他对党的信仰非常真诚，“文革”结束后，他曾以两万元的补发工资作为党费，一次性交给党组织，远远超过规定应交的党费。每月发工资，他首先想到的是亲手交党费。如遇外出，他就提前交纳，或请人代交。当年在半导体所党委工作的同志回忆黄昆当所长的岁月，一致认为，当时的党政关系确实是半导体所历史上最好的时期之一。

黄昆的研究工作从来不喜欢随大流，当所长，他同样也有自己的准则。曾经有一段时间，在北京的一些机关单位滥发钱物，所里常有人以“别的单位如何如何”劝说黄昆放弃一些原则做法。黄昆对于这种“法不责众”的随众心理和做





◀ 1986年，黄昆、林兰英（右一）在与视察半导体所的两位中国科学院前任院长方毅（左二）和卢嘉锡（左一）交谈（黄昆提供）

法很不以为然，在一次所务会议上，一位同志建议，应当想办法为群众“谋福利”，“太老实了要吃亏”，黄昆听了笑笑说：“还是老实点好。如果一次不老实，将来会有很多次不老实。”

1983年起，黄昆改任名誉所长。此后十几年里，他对半导体所的工作仍然十分支持。对于研究所的日常工作他从不干预，但当所里的领导遇到难题时，从他那里总能得到支持和中肯的意见。1986年和1995年，半导体所党委曾先后两次开展宣传学习黄昆的活动，意在鼓励青年科研人员以黄昆为榜样，攀登科技高峰。黄昆出自内心不喜欢此类宣传，但在党委书记的一再恳请下，他只好作为党员服从党委的决定，并再三强调一定要实事求是。

黄昆当所长，时时处处以身作则，绝不以权谋私。当时，由于多年的积欠，加上位于北京市中心，半导体所最敏感的话题是住房分配。许多研究人员拖老带幼，挤在一间只有几个平方米的平房中。尽管黄昆还住在一套北大1955年分配给他的、使用面积不到60平方米的公寓里，他觉得自己已经比别人好得太多，中科院几次三番动员他换房，都被他婉言谢



绝了。当时所里办公用房也十分紧张，黄昆与林兰英、王守武三位所长挤在一间只有十几平方米的屋子里办公。每天早上拖地、擦桌子、打扫卫生，他们都是自己动手，连用热水瓶打开水，都是亲自去。半导体所的后勤部门看他年纪大了，时间又珍贵，想帮他先打扫，被黄昆一口拒绝了。刚当所长时，半导体所亟需一位英语口语教师，有人提议把李爱扶从北大调来，说她是一位理想的英语教师。黄昆坚决反对自己的亲属在自己领导下工作，认为至少应该避嫌。黄昆公私分明，从不占国家一丝一毫便宜。他自己支付了大量国内外工作信函的邮资，并从不领取出国的制装费和补助费。他因私事不得不打电话和用车时必定交费，诸如此类的事极多。1984年，黄昆作为“斯诺教授”访美。他省吃俭用，用外方资助生活费的结余购买了一台全自动幻灯机及调压器，供半导体所对外学术交流用。1986年2月，德国马普学会固体物理研究所举办庆祝弗勒利希80寿辰学术会议，邀请黄昆参加，并提供他500马克生活费。结果，黄昆把剩余的近400马克买了一台电子打字机，供所里外事处的同志工作用。



► 1986年2月，黄昆在德国马普学会固体物理研究所举办的庆祝弗勒利希80寿辰国际学术会议上作学术报告（韩忠惠摄，黄昆提供）



黄昆——声子物理第一人

1987年他应邀去广州参加第六届全国半导体物理学术会议，按理说，他的旅费应该由公家报销。但是，由于李爱扶来中国30多年几乎没有离开过北京，黄昆便决定顺便陪她去广州看看。这样，黄昆以自己未能自始至终参加会议为由，完全由自己承担了往返机票费用。

黄昆在事业上勇于进取，在自己的生活上却是低标准。当所长时，他中午都在所职工食堂里排队买饭吃，没有任何特殊之处。1986年，半导体所搬到清华东路肖庄以后，因为身体不好而食堂菜太油腻，黄昆只得自己带饭吃。每到中午，他就用开水烫一烫冷饭、冷菜就吃上了。行政处的同志准备解决他的中午蒸饭问题，被他一口谢绝。据说，黄昆当半导体所所长第一天上任时，被传达室的老大爷拒之门外。老大爷尽管知道今天新所长要来，但怎么也想不到眼前这个拎着行李，穿着一身洗得泛白的旧中山装，骑着旧自行车的毫不起眼的老头就是大名鼎鼎的黄昆。黄昆的行为使他在半导体所的威信极高，无论是科研人员还是党政干部，无论是司机还是工人，提起黄昆的严格律己精神和以身作则的行为，无不敬佩。久而久之，他的许多事在半导体所成为新的传奇故事。

2. 重返科研第一线



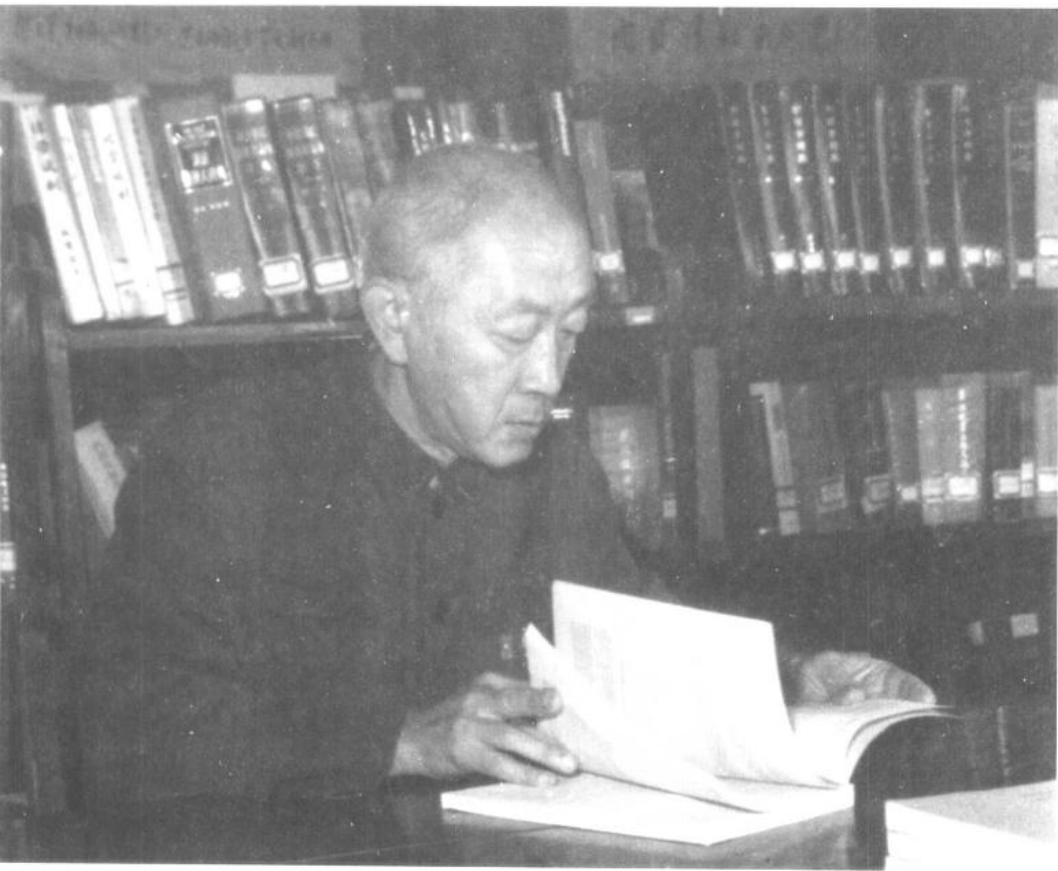
黄昆自1951年底回到北京大学，一方面由于教学任务重，另一方面由于种种干扰，他在英国延续六年、卓有成效的基础研究再也没有开展起来，研究生涯被迫中断了近30



年。在近30年内，他发表的惟一的一篇原创性的研究论文是关于氧化亚铜的长波模式，这是他在1963年为纪念玻恩80寿辰而作的，这也是他唯一的一篇用到他在西南联大学到的群论知识的论文。

1977年，黄昆被调到科学院半导体研究所任所长。黄昆认为既然身在研究所，自己就必须在科研第一线工作。身在研究所不做研究，情理难容。但是自己年龄已近60，对于一个科学研究工作者来说，已到了“夕阳无限好，只是近黄昏”的时候，更何况自己的研究中断了近30年时间，跟踪国际学术动态又因“文革”中断了十几年，这十多年来，国外科学技术发展日新月异，再做起来确实比较困难。怎样才能开展起研究工作来呢？黄昆想，科学家老了会掉队大概有两个原

▼ 黄昆在中科院半导体所图书室里阅读文献
(黄昆提供)



黄昆——声子物理第一人

因：一是知识老化，特别是基础理论和方法跟不上新的发展，二是由于已有的地位，容易脱离第一线的具体工作，以致自己原来的老本也会逐步忘记。他分析自己的情况，认为要把十多年基础理论发展的缺口认真地补上，恐怕已做不到。但是，承认这个局限性，并不等于不能做研究。他拿定主意，要坚持自己动手做第一线的具体工作，要去做自己能做的工作。

黄昆“文革”后所做的第一件研究工作是，针对国际上在多声子无辐射跃迁理论中出现的疑难问题，重新开展研究。这项工作的起因是这样的：1979年，黄昆收到设在意大利的里雅斯特（Trieste）的国际理论物理中心主任，诺贝尔物理学奖获得者萨拉姆（A. Salam）的邀请信，请他率领中国物理学家代表团访问该中心。意大利国际理论物理中心是萨拉姆一手创办并精心经营发展起来的理论物理研究中心，它得到联合国教科文组织、国际原子能委员会和意大利政府的支持。作为一名巴基斯坦裔科学家，萨拉姆切身体会到，在发展中国家做研究最大的困难是不了解国际一流科学家在做些什么，想些什么。国际理论物理中心的主要目的是为第三世界的科学家提供一个与世界顶尖科学家交流的机会，一个重新“充电”的机会。黄昆觉得，作为中国物理学家第一次访问国际理论物理中心，自己应该准备到这个中心作一个报告，既展示一下“文革”后中国物理研究的水准，也可与同行交流，得到同行们的批评指正。黄昆想，自己作为多声子跃迁领域的开创者，总结评述这个领域30年来的进展也许是个适当的报告题目。

1950年，黄昆与里斯提出固体中杂质缺陷的多声子跃迁理论，包括多声子光跃迁理论和多声子无辐射跃迁理论两个部分。正如前面所述，多声子的光跃迁理论已经确定无疑。然而，多声子无辐射跃迁理论——电子跃迁中的能量的改变不伴随光跃迁，完全由多声子的吸收或发射来补偿这虽然在20



世纪70年代已从定性上被证实是正确的,但是在与实验定量比较时发生了困难。在准备综述报告时,黄昆既全面总结了多声子光跃迁理论与实验的进展,又特别注意到围绕无辐射多声子跃迁理论在国际上所产生的混乱与争议。

黄昆与里斯在1950年的文献中具体估算无辐射跃迁概率时采用了绝热近似。所谓绝热近似,是基于原子核的质量远远大于电子质量的事实,假定电子波函数是依赖于晶格瞬时坐标的函数。在把非绝热算符(即破坏绝热状态的“微扰”)的作用具体化后,电子波函数是以电子哈密顿量的本征态作为零级近似,以线性电子-声子作用作为微扰所得的一阶微扰波函数。这样得到的非绝热算符不再依赖晶格坐标,因而也称作“康登近似”。但是康登近似的计算结果远低于实验值。此后,国际上相继出现了“静态耦合”和“非康登近似”的理论。所谓“静态耦合”,就是零级近似的电子波函数与声子波函数都建立在静止的晶格基础上,然后把电子-声子相互作用作为微扰来建立高阶波函数。所谓“非康登近似”,是在绝热近似框架内作修正,假定一阶微扰波函数的能量分母中能量值不再是电子哈密顿量的零级本征值,而是精确值。这些理论虽然在定量计算上获得了某种程度的成功,然而也出现了一个令人困惑的问题:为什么在绝热近似框架内作修正的“非康登近似”与抛弃了绝热近似的“静态耦合”会有十分接近的结果?为什么采用理论上更为严格的绝热近似所得到的结果反不如远不那么严格的“静态耦合”所得到的结果?

黄昆在国际理论物理中心所作的报告显然取得了很大的成功,当时国内刚创刊的一份综述性的物理期刊《物理学进展》听说他的报告后,特别邀请他为该刊撰写了一篇该领域的全面系统的综述文章。在准备这个综述文章的过程中,黄昆注意到,如果围绕无辐射多声子跃迁的尖锐矛盾不解决,综述就无法进行下去。在繁忙的所长岗位上,黄昆抓紧点滴



时间，经过深入的钻研，很快找出了问题的症结所在。他发现，用于无辐射跃迁理论的康登近似实际上是把量子跃迁计算中的一阶微扰和包含高阶微扰的晶格弛豫效应混合并用。并且证明，一旦消除了康登近似带来的不自洽性，绝热近似和静态耦合在把电子-声子作用作为一阶微扰范围内是相互等价的。这样，就得出一个统一的理论，从而澄清了30年来围绕无辐射跃迁理论发展而出现的混乱，也给比较简单的静态耦合计算提供了理论上的依据。

1980年，黄昆建立了统一绝热近似与静态耦合的理论，并立即引起国际上同行的重视。他被邀请在国际深能级会议上就统一绝热近似与静态耦合的理论作特邀报告，在日本京都召开的第15届国际半导体物理会议也邀请他在大会的宴会

▼ 1982年9月黄昆在法国蒙波利埃召开的第16届国际半导体物理会议晚宴上，右起第一是大会主席巴尔坎斯基(M. Balkanski)教授(黄昆提供)



▼ 2000年8月,黄昆作为国际科学顾问委员会主席与参加在北京召开的第17届国际拉曼光谱学大会的部分科学家合影。前排左二起依次为:卡多纳(M. Cardona)、德雷塞尔豪斯(M.S. Dresselhaus)、黄昆、李爱扶和基弗(W. Kiefer);后排左一是张立纲(张树霖提供)

上发言。他的发言很受欢迎,多次被热烈的掌声打断。他重新开展研究工作以后,马上被1982年在法国召开的第16届国际半导体物理会议和1984年在美国召开的第17届国际半导体物理会议的组织者邀请为大会顾问委员会委员,黄昆的统一理论也很快被英国皇家学会院士、物理学家里德利(B. K. Ridley)编入他刚出版的教科书《半导体中的量子过程》。以上两件事大大鼓舞了黄昆重新开展研究工作的信心。

1980年以后,多声子跃迁理论在应用上的一个重要突破,是黄昆与顾宗权一起发展的多频声子模型。不同于一般的多频声子理论,黄昆用了一个非常简单和具体的声子统计分布模型:假定声子模分成若干组,每组声子有相同的频率和电子-声子耦合系数。在此假设下,总的声子发射率在满



黄昆——声子物理第一人

足能量守恒的条件下化为各组声子模发射的最可几分布。在分析贾惟义等人的实验时,黄昆等提出,在光跃迁多声子过程与非辐射跃迁过程中最可几声子可以具有非常不同的频率,从而解释了多声子光谱实验的疑难问题。黄昆重返科研第一线的第一项研究成果,后来荣获中国科学院科技进步一等奖(1984)。

黄昆在国际物理学界沉寂将近30年后,又重新活跃起来,开始了他研究生涯中的第二个活跃时期:1980—1990年。正如国际著名的固体物理学家、德国马普学会固体物理研究所前所长卡多纳(M. Cardona)教授描述黄昆的那样:“他好比现代的凤凰涅槃,从灰烬中飞起,又成为世界领头的固体物理学家。”

3. 活跃在二维世界里



半导体异质结构是由具有不同能隙(禁带宽度)的半导体材料薄层构成的复合结构(如砷化镓与铝镓砷化合物、磷化铟与铟镓砷磷化合物、硅与锗硅合金等等)。这些薄层可薄至单原子层,也可厚至几个微米。通常,人们用晶格结构互相匹配的材料构成异质结构,也可通过控制晶格不匹配的材料所产生的应变而构成异质结构。异质结构技术可用于设计具有特定电学与光学性质的新材料。通过选择材料的组分、厚度和掺杂,人们可以优化电子运动,控制电子与光子(光)的相互作用,构造能控制光传播的光波导。



1957年，美国加州大学圣巴巴拉分校的克勒默(H. Kroemer)发表论文，首次详细描述了异质结构晶体管。1963年俄罗斯科学院约费技术物理研究所的阿尔费罗夫(Zh. I. Alferov)和克勒默又分别独立提出了异质结构激光器的原理。阿尔费罗夫研究组制备了第一个高质量的异质结构，并在1970年前后展示了第一只实用的激光二极管。因为发明了用于高速微电子和光电子技术的半导体异质结构，阿尔费罗夫、克勒默与半导体集成电路发明人之一的基尔比(J. S. Kilby)一起，分享了2000年度的诺贝尔物理学奖。

1969年，美国IBM公司的江崎(L. Esaki)和朱兆祥提出了超晶格的概念，即把两种半导体材料构成的异质结构周期性地重复排列，形成新的超晶格周期和微带结构。江崎等提出超晶格结构的目的是为了实现负微分电导器件。然而由于当时并未完全解决层状材料的制备技术，超晶格一开始并未得到广泛重视。

20世纪70年代至80年代初期，美国贝尔实验室的卓以



► 20世纪80年代初，黄昆在美国纽约州立大学奥尔巴尼分校参观实验室（黄昆提供）



黄昆——声子物理第一人

和 (A. Y. Cho) 发明和完善了用于制备半导体异质结构的分子束外延 (MBE) 装置。20 世纪 80 年代后期完善的金属有机化学汽相外延设备 (MOCVD) 技术更使异质结构的生长实用化。

黄昆很早就认识到这一新的发展趋势的重大基本理论意义和可能的重大实用价值。半导体超晶格微结构是技术上能很好地控制的理想的低维物理系统,是一大类以“能带工程”为设计依据和以 MBE 及 MOCVD 技术为基础的新型人工材料,具有重大的光电子和微电子器件应用前景。黄昆预言:半导体超晶格微结构作为半导体物理、材料与器件三者的结合点,将成为整个半导体学科最活跃的前沿。实际上,黄昆这一观点也是今天的纳米材料热,特别是纳米电子学热的先兆。在黄昆的指导下,半导体所制定了发展规划,把主要力量集中到半导体超晶格微结构的研究,规划的第一步就是培养人才和研制制备半导体超晶格的分子束外延设备。1979 年至 1983 年,黄昆在担任所长期间,全力支持中国科学院半导体所与物理所、沈阳科学仪器厂合作,试制分子束外延装置。1983 年,黄昆从所长位置退下来,担任半导体所名誉所长。退居二线以后,他有更多的时间投入到科研中去。黄昆结合半导体所的工作实际,指导半导体研究所开展这一领域的研究工作,并自 1985 年起把自己的精力集中到研究半导体超晶格的物理问题上,有力地推动了全所乃至全国在这个新兴领域的工作。

随着半导体材料制备工艺技术的发展 and 样品质量的提高,人们已能够用不同的半导体材料,按照预先的设计,制成各种新型的层状结构:层的厚度可以与电子的德布罗意波长相当而远小于载流子的平均自由程,界面的平整度可以达到一个单原子层的水准。这样,国际上就产生了一个崭新的交叉分支领域:半导体异质结构和半导体超晶格微结构,它由材料科学和半导体科学技术交叉而成。由于黄昆的远见卓



识,在这个新兴领域,虽然起步远远晚于欧美发达国家,但是,中国赶在国际上超晶格热还没有形成以前,就开展了有自己特点的研究工作,在国际上取得了一席之地。

黄昆及其合作者自1985年开展超晶格电子态和声子模理论研究以来,对超晶格中的光学声子模式和量子阱中的激子旋量态理论的发展作出了关键性的重要贡献,在电子态理论上发展了有自己特色的计算方法,其中,属于黄昆研究生涯第二个活跃期的最重要工作,是他与朱邦芬建立的关于超晶格光学声子的“黄-朱模型”,这方面内容将在下一节介绍。下面简要介绍黄昆做的其他的一些主要研究工作。

电子态结构是现代固体理论研究的基础,固体的电学、光学等基本性质主要由其电子能带结构决定。量子阱中电子与空穴的子带结构及其光跃迁矩阵元,是超晶格量子阱物理这个发展迅速且竞争激烈的领域中人们所关心的基础问题。当黄昆等开始超晶格电子态研究时,简单的有效质量近似下的空穴态与电子态已被广泛研究,多带有效质量近似下的超晶格复杂空穴子带结构正是当时人们所关心的问题。黄昆和汤蕙在卢亭格-科恩(Luttinger-Kohn)多带有效质量哈密顿量的理论框架内,用类似于超晶格电子的克勒尼希-彭尼(Kronig-Penney)模型,发展了用有限个平面波展开计算超晶格空穴复杂子带结构的系统方法。在与夏建白发展的经验赝势框架内有限平面波展开方法作比较后,用这个简化方法,夏建白和黄昆研究了各种维度和结构的以及外加电场和磁场下量子结构的电子态和光学跃迁矩阵元。关键的简化方法的进展为进一步的研究打下了基础。

激子是固体中由电子与空穴通过库仑作用形成的类似氢原子的元激发。黄昆早在1985年就指出量子阱中激子的二维性对于量子阱光学物理的重要性,是量子阱光学过程的基础。1987年,在考虑了量子阱中空穴的复杂结构后,朱邦芬和黄昆导出了具有正确的角动量结构的准二维激子的四分量



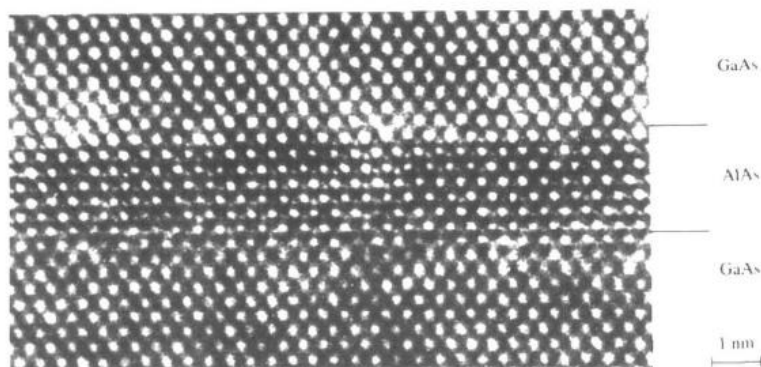
旋量波函数。在1987年召开的国际发光学大会上,黄昆就上述研究内容作了大会邀请报告。超晶格领域国际权威、诺贝尔物理学奖获得者江崎高度赞赏黄昆等人的研究,称之为“sound”。在此基础上,朱邦芬在国际上率先指出,激子的每个旋量分量具有不同的轨道角动量,给出了量子阱中的激子光跃迁选择定则,并成功地将外电场下超晶格激子谱中的 h_{12a} 峰(此峰既有重空穴激子的光偏振特性,又在外加应力下随轻空穴激子峰移动,曾使许多权威感到困惑)指派为轻空穴激子 $2p$ 态。黄昆等人的这项关于量子阱中激子旋量态的研究在国际上影响较大,至今已被他人引用140多次。

在黄昆的直接指导和亲自审阅下,夏建白和朱邦芬在自己研究的基础上,撰写了《半导体超晶格物理》,这是国内该领域第一部系统的专著,也是当时在国际上少数几本具有自己特色的著作之一。黄昆仔细地阅读了全部初稿,并提出了大量的修改意见,提高了书的质量。周光召院士在《中华读书报》(1997. 8. 20)上以“一本可带动相关学科发展的学术专著”为标题专门写了一篇书评,他指出:“《半导体超晶格物理》是一部在国际学术研究前沿水平上,论述半导体超晶格物理基本理论问题的学术专著。”

在黄昆的指导和郑厚植的具体负责下,半导体超晶格微结构国家重点实验室于1988年3月开始筹建,1990年对外开放。它包括分子束外延生长、超晶格微结构的光学性质研究和输运性质研究、超晶格微结构理论研究等方面的研究组,先后得到了“八五”、“九五”国家攀登项目、国家基金委重大研究项目和中国科学院重大研究项目的支持,做出了一批高质量的研究成果。主要成果包括半导体超晶格电子态和声子模理论、半导体多量子阱拉曼散射微观理论和实验、Ⅲ-V族化合物半导体超晶格的光学性质研究、二维电子气输运性质研究等等。1991年、1995年,半导体超晶格国家重点实验室连续两次在原国家计委组织的国家重点实验室评估



► 高分辨的透射电子显微镜拍摄的砷化镓 / 砷化铝(GaAs/AlAs)超晶格照片



中获得 A 类第一名。

美国科学院院士和美国国家工程院院士、国际超晶格领域著名学者张立纲非常关心中国的半导体超晶格领域的研究,1988年,他在上海出席了一个关于半导体超晶格物理的国际研讨会,听了黄昆和半导体所其他研究人员的邀请报告,并到北京参观了半导体所。回到美国 IBM 公司后,他给黄昆写了一封信,信中说:“这次回来看,别的不谈,在量子阱物理研究领域中,国内有了显著的成就,尤其是半导体所,在这方面的物理班子颇具规模,我想不亚于任何其他一处。”

在黄昆、谢希德带领下,在“文革”结束后的很短时间内,中国在半导体物理研究的若干领域取得了令人瞩目的进展。1986年10月,在纪念中国半导体专业创办30周年的学术报告会上,在众多与会者的强烈要求下,会议纪要提出:“争取1992年‘第21届国际半导体物理会议’(包括一两个半导体卫星会议)在北京召开,建议在黄昆和谢希德两位教授主持下,建立一个精干的调研和筹备班子,提出方案,提交给1988年在波兰召开的国际纯物理和应用物理协会(International Union of Pure and Applied Physics, IUPAP)半导体委员会。”国际半导体物理会议是两年一次的系列会议,被国际上公认为代表半导体物理领域最权威的高水准国际会议。由于以半导体为先导的信息科学具有战略上的重要的应



用背景，发达国家都十分重视，投入了大量的人力和物力从事半导体物理研究。半导体物理实验本身往往需要高新技术设备，这方面，欧美国家具有明显的优势，因此，国际半导体物理会议历来由欧美国家唱主角，发展中国家几乎没有什么发言权，在亚洲，也只是在日本举办过。按照惯例，申请主办国际半导体物理会议的国家，在会议召开四年以前就必须获得IUPAP半导体委员会的初步批准，并在两年以前得到最后确认。1988年，谢希德接替黄昆，担任IUPAP半导体委员会委员。在华沙举办的第19届国际半导体物理会议期间，谢希德成功地使北京成为第21届国际半导体物理会议第一候选城市。之后，在黄昆、谢希德、王迅和其他一些同志的不懈努力下，在IUPAP半导体委员会主席沈吕九（L. J. Sham，美国科学院院士，加州大学圣迭戈分校教授）和前主席上村（H. Kamimura）的公正主持下，1990年在希腊召开的IUPAP半导体委员会正式决定，第21届国际半导体物理会议在北京召开。紧接着，郑厚植和朱邦芬也成功地争取到了第21届国际半导体物理会议的卫星会议“第6届国际超晶格微结构微器件会议”在西安的举办权。1992年8月，第21届国际半导体物理会议终于成功地在北京召开，谢希德担任大会的组织委员会主席，黄昆与张立纲担任大会的程序委员会主席。这是中国第一次主持召开如此高规格的IUPAP系列会议。会议的学术程序完全与国际接轨，每篇论文的取舍、邀请报告的确定都完全取决于国际程序委员会委员的投票决定。会议的学术质量很高，取得了完全的成功。





4. 黄 - 朱模型

晶格振动是基本的物理过程之一,对于半导体材料和器件的光学、电学和热学性质有决定性的影响。随着半导体低维微结构成为半导体科学研究的前沿和热点,准二维量子结构(包括量子阱、超晶格、片层)中的声子物理研究成为人们关注的问题之一。准二维量子结构的光学振动通常分为类体模和界面模。这种分类以及各类模式的特征本质上都是以连续介电模型为基础的。1965年以来,准二维系统的光学声子LO类体模一直是沿用由宏观介电模型导出的“片层模型”(slab model),在其推导过程中用到所谓的静电边界条件,即光学位移所伴随的静电势在界面处为节点。若阱宽为 d ,原点设在阱中心,则静电势 Φ 为

$$\Phi(z)=\cos(m\pi z/d), \quad m=1, 3, 5, \dots$$

$$\Phi(z)=\sin(m\pi z/d), \quad m=2, 4, 6, \dots$$

因为电场强度是静电势的导数,根据黄方程,电场强度正比于光学位移,而片层模被认为是正弦驻波,因而光学位移在界面极大。

1985年,德国马普学会固体所的卡多纳研究组的一项短周期超晶格拉曼散射实验揭示,实验偏振特性所表明的各级类体模的奇偶性正好与连续介电模型所预言的相反,即奇(偶)数级模的光学位移具有偶(奇)对称性。一种简单化的处理是将各级模的相位移90度,即把原先由连续介电模型所要求的静电势在界面处极小改成光学位移在界面极大,得到



$$\Phi(z)=\sin((m\pi z/d), \quad m=1, 3, 5, \cdots$$

$$\Phi(z)=\cos((m\pi z/d), \quad m=2, 4, 6, \cdots$$

这样,原先由连续介电模型所要求的静电势在界面处连续改为光学位移在界面处连续(即所谓的力学边界条件),静电势在界面处极大且不连续,而量子限制迫使光学位移在边界处为零。由此得到的光学声子模式被称为“波导模型”。

这样产生了两个令人困惑的问题:

(1) 如果连续介电模型给出的类体模对称性不对,那么为什么由同一模型预言的界面模的存在却又为同组人员的实验所证实?

(2) 连续介电模型预言的类体模对称性不正确的原因和“波导模型”“正确”的依据何在?

国外许多同行并没有真正领悟到该实验的意义,个别学者,如美国加州大学米尔斯(D. L. Mills)教授认识到,这在学术上提出了既有意义又令人困惑的问题,然而对解决它却束手无策。

黄昆和朱邦芬首先觉察到这个矛盾所包含的深刻的物理内涵,是国际上公认的最早认识并解决了这个难题的人。1985年,朱邦芬在瑞典访问时用线性链和键极化率模型研究了砷化镓与铝镓砷化合物(GaAs/AlGaAs)超晶格在背散射位形下的拉曼谱与声子态密度。1986年初他回到半导体所,向黄昆汇报工作时,黄昆问了两个问题:

(1) 如果超晶格中的声子是斜着传播时,声子模是什么样的?

(2) 超晶格往往由极性晶体组成,长程库仑作用对于晶格振动起何作用?

当时朱邦芬回答不了这些问题。1986年底,黄昆与朱邦芬开始研究量子阱中热电子被光学声子散射导致的热电子弛豫问题。一开始,他们用的是片层模型,但这与朱邦芬原来



用线性链模型研究声子的经验矛盾。朱邦芬觉察到声子模式在散射问题中的重要性,开始认识到用微观模型认真研究超晶格中光学声子模式的重要性。

用微观模型认真计算超晶格中光学声子模式并不是一项简单的工作,尤其是处理长程库仑作用。根据黄昆20世纪50年代提出的两个模型——偶极振子模型与连续介电模型,黄昆与朱邦芬设计了一个构思巧妙却十分简明的“偶极子超晶格”模型,这一模型与连续介电模型完全相容,而又是个微观模型。据此,黄昆和朱邦芬澄清了原来理论出现矛盾的原因,提出和发展了关于半导体超晶格光学振动的系统理论。

这一理论模型的要点是:

(1) 光学声子类体模的光学位移和静电势在界面均应为节点,而不仅仅是静电势为零而光学位移极大(连续介电模型)或光学位移为零而静电势极大(波导模型)。

(2) 界面模与类体模之间存在内在联系。界面模具有强烈的各向异性。当声子波矢与超晶格生长方向平行时,界面模演变为半波长等于阱宽的驻波,即波导模型中的第一个模。一般情形下,类体模应从全波长振动模起算。

(3) 声子色散引起界面模与频率相近的类体模之间的混合。

(4) 连续介电模型所固有的局限性(忽略声子色散效应)导致简并的类体模解具有任意性,其所假定的正弦驻波形式导致了错误的对称性,然而界面模对应于纵光学声子与横光学声子的混合,不存在模式不确定的问题。这就是为什么连续介电模型给出的正确的界面模反而是错误的类体模的原因。

(5) 波导模型理论上并无根据,它只是在声子波矢与超晶格生长方向平行时给出正确的光学位移表达式。

(6) 在分析错误原因的基础上,基于他们的“偶极子超晶格”模型的数值计算,黄昆和朱邦芬给出了一套描述超晶格中光学振动模式与静电势的近似解析表达式,



$$\Phi(z) = \cos(m \pi z/d) - (-1)^{m/2}, \quad m=2,4,6,\dots$$

$$\Phi(z) = \sin(\mu_m \pi z/d) + C_m(z/d), \quad m=3,5,7,\dots$$

其中 μ_m 和 C_m 由静电边界条件和力学边界条件联合确定。

1988年,美国著名的研究晶格动力学的权威马拉杜丁访问中科院半导体所,黄昆给了他“连续介电模型与超晶格中弗勒利希作用”文章的预印本。马拉杜丁回到美国以后给他的好友米尔斯一份复印件。米尔斯当时刚给卡多纳主编的《固体中的光散射》第五卷写了一篇题为“超晶格中的集体激发”的综述文章。对于超晶格的纵光学声子模,他写道:“要用一个物理图像清晰的理论模型来探索这一问题,即使对于半无穷大闪锌矿结构晶体的表面,也是十分困难的……”见到黄昆等的论文预印本后,米尔斯当即给德国 Springer 出版社去信,撤回他所写的这篇综述,删去以上这些论述,并特地加上两段论述,指出:“这一难题最近已被黄、朱用一个内容简单然而包含所有物理实质的模型所解决”,然后重新寄给出版社发表。

黄昆和朱邦芬的理论模型引起了国际上的重视,在文献中被国际学术界普遍称作“黄-朱模型”,由此引发了一系列的理论和实验研究工作,有力地推动了这一研究领域的深入发展。国外多个著名实验室精心设计了一些实验来验证三种声子模型之争。例如,美国亚利桑那大学 K. T. Tsen 和加州大学伯克利分校于鑫 (P. Y. Yu) 等人特地设计了一组时间分辨率为皮秒的拉曼散射实验来测量不同宽度的量子阱中各种非平衡光学声子的占据数,以此与三种声子模型得到的电子-声子互作用的理论值作比较,他们的结论是:“唯有黄-朱模型既能定性又能定量地解释我们的实验结果,而其他两种模型则不能。”英国牛津大学时间分辨光谱实验表明:“与各种声子理论比较,(1)偶数阶限制模的观测支持波导模型

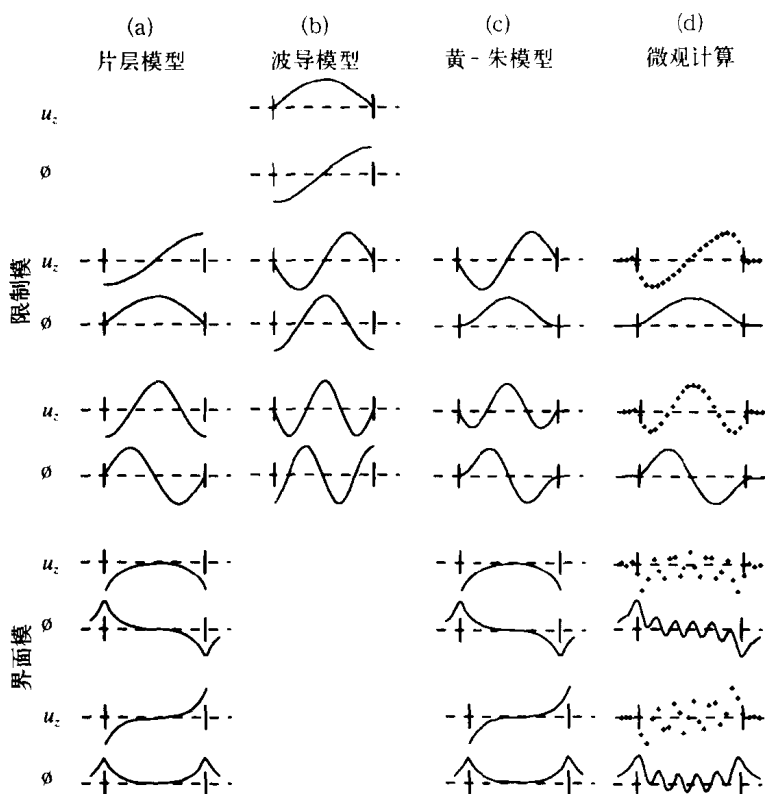


和黄-朱模型，不支持片层模型；……（4）观测到的界面模的频率符合片层模型和黄-朱模型，但不和波导模型相符合。”有趣的是，国际上许多人并不知道“黄-朱模型”的“黄”和与玻恩合著《晶格动力学理论》的“黄”是同一个人，他们以为那个与玻恩一起写书的“黄”早已是不做研究工作的爷爷辈的老人了。当得知两者是同一个人时，大家都十分敬佩。

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 Springer 出版社出版的《半导体及纳米结构的超快光谱》、《半导体基础》、《超晶格与其他异质结构：对称性与光学现象》等著作，均有多页篇幅详细介绍。三篇主要论文被他人引用超过400次，其中“连续介电模型与超晶格中弗勒利希作用”一文，已被他人引用280次，是中国近年被引用最多的文献之一，也是黄昆第二篇被引用最多的论文。黄昆和朱邦芬十多次被邀请到国际、全国学术大

▼ 黄昆与朱邦芬在办公室讨论研究工作（朱邦芬提供）





◀ 在德国Springer出版社出版的研究生教材《半导体基础》中,三种超晶格光学声子模型和微观计算结果的比较

会作特邀报告。朱邦芬在第20届国际半导体物理会议和第五届国际超晶格微结构和微器件会议上就此问题所作的邀请报告,是中国学者第一次在代表该领域最高学术水准的国际系列学术会议上作特邀报告。黄-朱模型作为重要组成部分的“半导体超晶格的电子态与声子模理论”获得了国家自然科学基金二等奖。

近年来,黄-朱模型被广泛用于低维半导体材料与声子有关的各种物理问题与器件研究,包括输运、拉曼散射、热载流子弛豫、声子等离激元、自由载流子吸收、带边光荧光飞秒动力学等一系列问题的研究。

朱邦芬、黄昆等基于黄-朱模型建立了超晶格光学声子拉曼散射的微观理论。拉曼散射是研究材料内部物理过程最有效的探针之一,然而,拉曼散射微观理论涉及能带结构、



激子态、声子模式、电子-声子互作用、光电子跃迁等多个物理问题,即使对于体材料也不易处理。对于超晶格,微观理论还必须处理准二维系统特有的一系列难点,如轻重空穴混合、各向异性的光学声子模式、二维激子态旋量等。贝尔实验室一个研究组曾认为:“一个完整的考虑到超晶格中轻重空穴混合及激子声子相互作用的计算已成为理论上的挑战。”在超晶格光学声子黄-朱模型的基础上,朱邦芬、黄昆等成功地提出了国际上第一个系统的多量子阱和超晶格中光学声子拉曼散射微观理论,令人信服地解决了在体材料中电偶极跃迁禁戒的弗勒利希散射在超晶格中允许的原因,在于轻重空穴混合和势垒隧穿效应。他们运用微观理论解决了一系列实验现象中的疑难问题,还预言了一些物理效应,并获得实验验证。

朱邦芬还把黄-朱模型推广到一维量子线和零维量子点结构,并研究低维结构中电子-声子互作用与维度的关系、热电子弛豫中的热声子效应等问题。这些问题直接关系到低维半导体器件的发光与输运特性,具有重要的科学意义和应用背景。





第五章

大师本色



1. 治学之道

黄昆先后师从吴大猷、莫特、玻恩三位大师，其中莫特对他的学术影响最大。黄昆又与杨振宁等一批物理学大师交往，在学术讨论与争论中互相影响。黄昆有选择地吸取了各位大师的治学之道，在60载的研究教学中，形成了自己独特而鲜明的治学风格。

黄昆把自己一生的科学研究经历归结为：“一是要学习知识，二是要创造知识。对做科学研究工作的人来讲，归根结底在于创造知识。”对于学习知识与创造知识，黄昆从自己的亲身经历和通过观察别人的经验教训，归纳出两句名言：

▼ 2002年6月，在祝贺杨振宁80寿辰的晚上，黄昆在与杨振宁交谈（吴期泰摄，聂华桐提供）



(1) 学习知识不是越多越好，越深越好，而是要服从于应用、要与自己驾驭知识的能力相匹配。

(2) 对于创造知识，就是要在科研工作中有所作为，真正做出点有价值的研究成果。为此，要做到三个“善于”，即要善于发现和提出问题，尤其是要提出在科学上有意义的问题；要善于提出模型或方法去解决问题，因为只提出问题而不去解决问题，所提问题就失去实际意义；还要善于作出最重要、最有意义的结论。

这两句名言确实是黄昆的经验之谈。

就学习知识而言，黄昆从中学到博士毕业，都在主动地学习。不仅上课，而且看文献听报告，黄昆都十分珍惜主动性。任何新的东西，都必须经过他的“免疫系统”。只有被他的“免疫系统”识别，并在他自己的知识体系中重新定位以后，新的知识才被黄昆接受，变为他自己能驾驭的知识，否则，他一概排除。他认为，有的人驾驭知识的能力强，可以多学一些知识。而对于他自己，与其多学一些，不如“少而精”。他说过：“大多数具有学术上的开创性与重要性的研究都不是繁复的，我的学识和驾驭知识的能力都有限，之所以能有一些成果，关键是少而精，有了学习和研究的主动性，站在前人的肩膀上而又不被前人束缚住。”作为对照的是，国内传统教育比较重视知识的记忆与积累，忽视创造力与实际能力的培养，导致许多优秀学生（包括一些学者），虽然人非常聪明，学习成绩门门优秀，知识也非常渊博，然而自己的创造力反而被这些知识所束缚，一生未能有重要的学术上的建树。人们用“尽信书，不如无书”来批判教条主义，这与黄昆的“学习知识不是越多越好，越深越好”的精神实质是相通的。

黄昆每研究一个问题，都喜欢“从第一原理出发”，即先

不看已有文献，而是独立地从最基本的概念开始思考。黄昆觉得这样思路才能不受他人的束缚，研究才有主动性。正是这种“从第一原理出发”的治学风格，使黄昆的研究工作往往具有学术上的开创性与重要性，以他姓氏命名的理论就是例证。他说：“我文献看得比较少，因为那样容易被人牵着鼻子走，变成书本的奴隶。自己创造的东西和接受别人的意见，对我来说，后者要困难得多。学别人的东西很难，而自己一旦抓住线索，知道怎么做，工作就会进展得很顺利。”一般说来，除非十分必要，他不喜欢参加学术会议。国际半导体物理大会，他只在1980—1986年参加了四届会议和主持了第21届国际半导体物理会议。1980年以来，他经常出席的系列学术会议只有两年一次的全国半导体物理会议。1993年以后，即使连全国半导体物理会议他也不参加了。就参加学术会议而言，他认为自己已完成了自己的历史使命。

在创造知识方面，黄昆本人恰恰是“三个善于”的典范。

黄昆研究的问题大多不是从文献中来。他不喜欢做大家都做的事情，不喜欢随大流，跟着别人赶热门课题。他认为，物理问题无论是热门还是冷门，无论是大还是小，关键是真正在科学上有意义。从黄方程的建立、极化激元概念的提出，到多声子跃迁理论的开创，可以清楚地看到，一个好的研究群体对其中个体成员发现和提出好的研究课题的启示作用。这种在创造性的科学研究环境中所提出和发掘的问题，往往是人们所关心的真正有意义的问题。从黄-朱模型的提出可以看到知识积累和研究传统的重要性。中国许多研究人员不善于提出和发现有重要性的问题，一方面固然与缺乏科学上的品味(Taste)和敏锐有关，另一方面也与学术环境不活跃和研究传统的缺乏分不开。

固体物理理论研究的对象是 10^{23} 以上的粒子。要善于解决问题，在某种意义上，就是要善于提出简化模型，“针对分析问题的目的，尽可能地消除次要因素，同时不影响问题的



主要因素”。黄昆特别善于用简明模型解决复杂的问题。例如，极化激元的提出源于黄方程；超晶格和量子阱中激子态的解决依赖于用少数几个平面波求解复杂空穴态的方法；而准二维系统光学声子模式的确定则是建立在黄昆的“偶极子点阵”模型基础上的。黄昆深感解决问题能力的重要性。他说自己也曾提出过许多有意义的研究问题，但局限于自己的知识和能力，而未能最终解决问题。

黄昆切身体会到，要“善于作出最重要、最有意义的结论”。从某种意义上说，这是黄昆总结的经验教训。黄昆在谈到自己科研上的两个活跃时期时说：“年轻时（指在英国六年）我的工作特色鲜明，但是没有再往下深入；后来（指“文革”后的十年）在深度上比以前要好，解决问题的复杂性质要比年轻时强。”黄昆做研究，年轻时是“一剑封喉”，一篇论文得到了最重要和最有意义的结论，然而还不善于扩大战果，与“夫里德耳振荡”失之交臂，就是一个例子；60岁后的黄昆在研究深度上比以前要好，但他总觉得自己还可以做得更好一些。

黄昆认为自己不是一个“天才”，严谨、勤奋和追求完美成为黄昆治学的又一鲜明特点。他对自己的学术成就评价比较低调，觉得自己的成就说不上有很大的特点，也说不出太大的道理，“没有什么远大目标，只不过按部就班，一步一步地做得还可以”。另一方面，黄昆又说过：“我过去曾经迷信天才，水平跟我差不多的，我觉得他勉强能做物理工作；比我差的，就认为一钱不值；比我好的，就觉得不得了。”莫特、玻恩都不是黄昆心目中所谓的天才。黄昆年轻时在英国一起学习工作的人后来有几个得了诺贝尔奖，黄昆认为他们就不一定都有特别的才能。他真正佩服，认为属于天才的，也只有杨振宁。黄昆在谈到西南联大那段经历时说：“杨振宁的思想活跃，观点深刻，和他接触是很大的享受，总的来说是一



边倒，我从他身上吸收到很多东西。”记者曾问他：“谁对您的一生影响最大？”黄昆坦率地回答道：“我自己对自己影响最大。像我这样考虑问题，没有太大的天赋也能做出很好的工作。过去教学时，大家评论我课上得还不错，我也认为是下了功夫的，但就是对一个个学生不太关心。因为我认为上课也是培养人，讲课是我的责任，我尽了我自己很大的努力。”

严谨是黄昆治学上又一特点。对于自己所研究问题的每一环节，黄昆都要反复推敲，有时经过“否定之否定”的 n 次方，才得到一个正确的结论。黄昆常说，他的十个想法中有九个靠不住，为此他总是仔细推敲。黄昆不赞成用过于烦琐的数学方法来研究物理问题，然而在需要数学推导及计算时，他又十分仔细，反复多遍地来回检验。黄昆与他的学生一起工作，通常在他的学生做数值计算的同时，黄昆也用简化模型在家中一台64K微机或计算器上进行平行计算，除了在亲自动手计算中能进一步地深入思考问题外，也还为了确保计算结果的可靠性。即使在论文文字表达上，黄昆也字斟句酌，数易其稿，力求完美。不仅自己身体力行，黄昆也严格要求中青年科研人员，对他们撰写的英文论文，往往多次修改，以致密密麻麻的修改意见有时候掩盖了原稿。正是这种严谨的态度，使黄昆的研究成果经得起时间的考验。“黄昆一生惟谨慎”，即使每次讲话，作报告，他都得事先写好稿子，并试讲几次。越是重要场合，他试讲次数越多。与他夫人李爱扶相反，黄昆在许多方面是个“悲观主义者”。通常他宁可把事情想得更复杂一些，多做几手准备，而不相信“天上掉馅饼”。

黄昆在学术上对自己的论著力求完美。他觉得意思不大的一些著作往往被他自己束之高阁。他强调，研究工作不能安于修修补补，以数量取胜，而是要真正在科学上解决问题。他主张，每篇论文都要实实在在地解决一个或几个物理问



题,这样才有价值。他非常不赞成有的人文章发表了许多篇,却没有真正解决一个问题。

黄昆工作异常勤奋。他认为,基础研究不像一些具体任务,看起来是一种不松不紧的工作,要看书,要思考,每一点都要反复推敲,不能草率行事。因此,对待研究工作若没有一种内在的紧迫感,对自己所做的工作若不总是非常有兴趣,不把它看成比任何别的工作都更有意义,便会一事无成。黄昆在办公室除了讨论问题,往往一坐半天,不停地写、算、思索。黄昆年过古稀时仍坚持在第一线工作,甚至星期天、节假日,他还经常在家中伏案工作。1988年初,黄昆与朱邦芬正在推敲超晶格中的光学声子模型。大年初二,朱邦芬上黄昆家拜年。黄昆看到他来,十分高兴,马上把他这几天在家中做的一些计算拿出来讨论。

国内流行一种说法,科学家有多种类型:有的人是帅才,有战略眼光,能组织大兵团作战;有的人是将才,能带领一批人攻克难关;有的人是兵,只能自己一个人或一个小组,在第一线冲锋陷阵。黄昆从来认为自己只是一个兵,而不是什么科学研究的将帅之才。他觉得,如果自己不深入思考一个具体的科学问题,如果不亲自动手算点东西,脑筋就开动起来,很难做出什么有创新性的成果,也无法看清学科的发展趋势。他无法想象,自己看看文献,出席一些学术会议,就能把握科研的大方向。他也反对整天在讨论发展方向,而不是实实在在地解决具体的科学技术问题。





2. 大师风范

半个多世纪以来，黄昆一直在高等院校与科研机构工作。许多白发苍苍的老院士、老教授当年听过黄昆讲授的普通物理课，一大批中国的物理学家和半导体技术专家通过学习黄昆那几本名著而进入到了固体物理和半导体科学技术领域，更多的年轻一代科学家以黄昆为榜样，立志把自己的一生献给科学。在黄昆数不清的学生中，他的研究生和工作助手无疑是有幸得到他的教诲最多的一群。

黄昆常说，他不善于带研究生，不善于给研究生出论文题目。有的论文题目属于无把握能在规定时限内做出来；而有把握在规定时间内做出来的问题，往往自己已做得差不多了。因此，他宁愿与年轻人合作做研究。这当然是黄昆谦虚

▼ 1994年9月2日，黄昆的一些学生在他家中祝贺他75岁寿辰。左起为：黄昆、顾宗权、夏建白和朱邦芬（王炳荣摄，朱邦芬提供）



的说法,但也反映出,黄昆指导研究生主要是通过自己的言教和身教,身教重于言教。

黄昆选择研究生极其严格,虽然他带的研究生数量不多,但成才率是非常高的。从1952年起,黄昆先后在北京大学指导的研究生有曹昌祺、秦国刚、甘子钊、夏建白、强元桢、任尚元、蒋翔六、顾宗权等,与他一起工作的年轻人有莫党、陈辰嘉、韩汝琦等。1977年后,他在中国科学院半导体研究所指导的研究生有王炳桢、杨桂林等,与他一起工作的年轻人有朱邦芬、汤蕙等。他们都得到黄昆多方面的深刻的教诲和帮助。

黄昆常以自己个人经历与体会,循循善导年轻人,使他们树立正确的人生观,树立为中国科学技术奋斗终身的信念。针对“文革”后研究生中的出国热,黄昆以自己的留学经历教导年轻人,强调出国留学要有目标、有方向,要奔高明的导师而去。他极不赞成盲目地为出国而出国,为金钱而出国,认为那样做,只会白白浪费自己最宝贵的青春年华。他在给半导体所的研究生作报告时,鼓励他们要充分认识到30岁左右这个年龄段的可贵,认识到这个时期在科研上可以大有作为,是为一辈子的工作奠定重要基础的时期。他勉励年轻人:“在人生旅程中,难免因客观形势的变化,对自身的要求也会发生这样那样的变化。但只要我们能正确对待,转变观念,认真努力地工作,以积极的态度去适应这一变化,同样可以增长才干,做出业绩,实现自身的价值。”这也正是黄昆人生观与价值观的写照。

黄昆对年轻人既严格要求,又鼓励扶植他们著书立说,为人才脱颖而出创造良好的环境。他常说:“一个研究所,几年不进优秀的青年人,这个研究所是办不好的。”他非常欣赏年轻人的创见。20世纪60年代初期,甘子钊首先提出了锗隧道结隧穿过程中的声子效应,并进行了仔细的分析和计算。黄昆及时给予了恰当的评价,并推荐这项工作作为重要



的科研成果上报。20世纪70年代末,秦国刚看到半导体中的深能级是一个活跃的课题,并且和他原来的研究生论文(“电子对元素半导体晶格的形变”)的工作有联系,带领他的研究组开展了系统的工作。他常把自己各个阶段的成果和黄昆讨论,得到了不少启发和鼓励。他们的这项成果后来获得国家教育委员会的科技进步一等奖。1986年,黄昆与汤蕙在有效质量理论框架内发展了用有限平面波展开法计算超晶格空穴复杂子带结构的方法,夏建白在国外访问时在经验赝势理论框架内也发展了用有限平面波展开法计算超晶格空穴复杂子带结构的方法。黄昆非常高兴,多次把自己的计算结果给夏建白,要他对两者予以比较。他不止一次地赞赏夏建白研究工作的高效率与计算上的准确性。

韩汝琦是黄昆在北大时多年的教学助手。1960年“五一”节前夕,当他还是北京大学物理系半导体专业的四年级学生时,物理系领导通知他提前毕业留校工作,做黄昆先生的助手,具体任务是担任由黄昆讲授的固体物理课的辅导教员和半导体教研室的教学秘书(黄昆是教研室主任)。当时听课的学生就是韩汝琦原来的同年级同学,在担任辅导工作之前,他并没有学习过固体物理课程的大部分内容,因而学生们向他提出的很多问题他都无法回答。当时韩汝琦十分希望黄昆能尽快给他释疑解惑,但黄昆不正面给他答案,而是说“这个问题的答案在书上有”,“这个问题你应该能自己想明白”,要求他自己去查书,去思考,去同周围的同学、年轻老师探讨。当时韩汝琦感到,做黄昆的辅导教员压力真大!那年,黄昆患了支气管扩张,咳血,但他仍要坚持去上课。陆平校长知道后,到黄昆家中探望并“下令”一定休息。黄昆为此深感不安,就提议让韩汝琦临时代课,并拿出他已经写好的讲稿,叮嘱韩汝琦一定要好好准备。韩汝琦被黄昆这种对教学负责的精神所感动,燃起了甘愿为老师分忧的激情,同时也为老师对自己的信任和鼓励所感动,勇敢地走上了讲大课



的讲台，那时他才22岁。虽然只上了两次课，韩汝琦却对此终生难忘。两年之后，北大无线电系也要开设固体物理课，黄昆安排韩汝琦去主讲，同时辅导物理系的课。黄昆是一位严师，从不“溺爱”他的学生，总是把他们放到较重的实践岗位上，对他们提出比较高，然而经过努力又是可能达到的要求。他的助手和学生戏称黄昆的这种办法为“跳一跳可以摘到果子”。就是在不断地为完成新的任务的努力中，青年人得到了锻炼（引自韩汝琦未出版的《学生心中的楷模——黄昆先生》）。

黄昆的学术思想活跃而且深刻。他喜欢对文献和别人的学术报告追根问底，从基础上提出问题。他更喜欢主动和年轻人讨论物理问题，甚至展开争论。他的办公室可以什么都没有，但必须要有一块小黑板。他认为，讨论最能启发人们

▼ 20世纪80年代初，黄昆在办公室里指导他的博士生王炳荣（黄昆提供）



思考，而学术空气沉闷会使思维窒息。黄昆是一位有声望的科学家，但在研究集体内却是一位提倡和发扬学术民主的楷模。讨论问题时他从不以权威自居，即使与初出茅庐的年轻人讨论，他也虚怀若谷、平等待人。如今，年逾八旬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而使讨论深入。有时，年轻人的意见正确，他就痛快地接受。从1986年至1999年，黄昆一直和朱邦芬在一个办公室工作。有段时间他们几乎每天都要讨论物理问题，有时辩论得很激烈，各自毫不留情地抓住对方论据中的漏洞，加以辩驳。辩论结束后，他们又自嘲自己像金庸的武侠小说《笑傲江湖》中的桃谷六仙，翻来覆去，纠缠不清。1985年，朱邦芬曾有机会去国外长期学习工作，但是他没有去。他觉得，当时在国内虽然生活清苦一些，但能得到黄昆这样的导师的指导，人生夫复何求。王炳燊是黄昆“文革”后招收的第一位研究生，也是黄昆培养的惟一的一位博士。他对物理问题的思考非常深入，黄昆常称赞他是“我们中间最有学问的”。但是，也许是习惯使然，王炳燊很少主动与黄昆讨论物理问题。黄昆于是要求王炳燊把他的办公桌搬到自己的房间来，以增加讨论机会。黄昆不喜欢一个人一间办公室，而愿意与年轻人合用一个办公室。

黄昆在发表成果署名上对自己要求非常严格。许多工作他参加了研究，只要他没有做较多的实质性研究，他都不署名。半导体所物理室的一项研究“砷化镓中氮及氮-氮对束缚激子的压力行为”，实验和理论都是在他的倡导和支持下做的，特别是理论研究，主要是他指导学生做的。这项工作做得较好，作为1985年半导体所成果上报，并获得中国科学院科技进步奖。黄昆自始至终坚持不写他的名字。“多量子阱系统中光学声子拉曼散射的微观理论”这篇论文，黄昆与朱邦芬各用一种方式进行了推导，由黄昆撰写成文。黄昆在论文署名时，把朱邦芬放在第一位，自己放在第二。虽然朱



邦芬最后利用打字的机会，把黄昆名字排在了第一，但是，黄昆的这种精神使他深深感动。至今，朱邦芬仍珍藏着黄昆的这份原稿。

黄昆经常反省自己是一个不太照顾别人的人。在最近一篇“怀念谢希德”的文章中，黄昆写道：

谢希德和我合作非常好。我们在许多方面有共同点，又有许多不同的地方。从某种角度说，谢希德和我具有互补性。

.....

用张立纲的话，谢希德非常“smooth”，充满人情味，对手下的人很照顾；相形之下，我有时有点不通情达理，比较“死板”。谢希德与群众打成一片，一点没有架子；而许多与我不熟悉的人往往觉得我不容易接近。

表面上看，似乎确实如此。也许除了“文革”时期，黄昆一直比较顺利，因此黄昆不太理解比他年轻一辈的种种苦恼。有些人有点怕黄昆，不太敢跟他说自己的心里话，觉得说了，黄昆也体会不到。其实，黄昆并不是一个以自我为中心、不顾别人的人，而是一个以诚待人的人。黄昆悉心培养年轻人，实心实意帮助年轻人脱颖而出，这方面，许多人都亲身体会。1960年以后一直在北京大学给黄昆当教学助手的韩汝琦回忆道：

我天资不高，有时努力也不够，工作质量常常不能令黄昆先生满意，因而常受到批评。有时的批评态度是严厉的，语言是尖刻的。但是事后回想起来，心中感到的是庆幸：不正是这些教诲鞭策着自己前进的吗？

朱邦芬硕士研究生毕业刚到半导体所不久，想跟黄昆读博士学位。有一次，朱邦芬找黄昆谈了自己的想法。黄昆说



了一番他不善于带研究生的话，并举例子说，他与年轻人合作做研究的成果会更大。不了解黄昆的人往往会以为他是在找托辞，但是，这确实是他心中所想的。过了几年，当国家出台在职研究生制度时，黄昆又主动与朱邦芬谈起，要朱邦芬当他的在职博士生，认为这样有利于他将来的发展。由于中国科学院1989年破格提拔朱邦芬为研究员，此事就告结束了。以后，无论是推荐朱邦芬为中科院院士候选人，还是推荐他获什么奖，黄昆总是主动地自己写意见，而且往往事先并不告诉他。黄昆的推荐意见，完全实事求是，没有什么夸大之辞。黄昆在评价一个人时，也从不以这个人与自己关系的亲疏而有所区别。在担任一些评委工作时，他毫无国内某些人的门户意识，从不为本单位争什么利益。

通过黄昆的言传身教，黄昆的研究生和助手们大多继承了黄昆“勤奋、严谨、惟实、惟真”的治学风格，并已经成长为中国许多教育和科研单位的骨干，在固体物理学的科研与教学上挑起了大梁，其中甘子钊、秦国刚和夏建白先后当选为中国科学院院士。不少人还担任了行政和社会工作，例如，甘子钊是中国物理学会副理事长，超导领域的首席专家；曹昌祺是北京市物理学会理事长；莫党曾是中山大学物理系主任；韩汝琦是北京大学微电子学研究所副所长等等。至于听过他的“普通物理”、“固体物理”和“半导体物理”课的，如今单是院士就有数十人之多，更多的人担任中国教学、科研和行政领导工作。随着时光的流逝，黄昆先生在他的学生们心目中的形象越来越高，这是因为这些学生在各自经历了人生与事业的风风雨雨之后，更加深刻体会到黄昆先生淡泊名利、献身教育与科学事业的精神之伟大。在北京大学物理系成立80周年的庆祝会上，黄昆获得了在座千余名返校学生最长时间和最热烈的掌声。



3. 常人和真人



黄昆和夫人一起一直过着简朴的生活，这也是一种20世纪50年代至80年代中国大多数城里人的生活方式。改革开放以来，许多人的生活有了根本变化，可是黄昆家的生活完全没有“与时俱进”，还像停留在20世纪六七十年代。这方面，黄昆与李爱扶特别易于满足现状。

黄昆位于中关村的家是一套小三室的公寓房子，建于1955年，楼刚刚盖好，他们就搬进来了。一进门是一条狭窄昏暗的过道，堆了不少东西，显得非常拥挤。门口一个古色古香的木箱子上放着一块小铜牌，这是中国科学院物理研究所在他70寿辰时赠送给他的。铜牌上刻着八个字：“壮志不已，耕耘不辍。”室内地面是水泥砖，没有任何铺设。最大一间房间的面积约18平方米，当作客厅、卧室兼黄昆的办公室。房间里到处摆着儿孙们的照片，墙上是一幅一米多长的仿郑板桥的松竹梅“三友图”。房间很挤，放着一张大床、两个简易沙发、一个破旧的写字台和两个小书架，地上堆着许多英文的小说、杂志和中文的小说、杂文和散文集。他爱读书的习惯一直保持到现在。除了一台25英寸的彩色电视机和一台老式的组合音响以及不少唱片和录像带外，家里没有太多现代化的东西。黄昆俩口子喜欢西洋歌剧，也喜欢20世纪四五十年代的外国抒情歌曲以及喜剧电影。卓别林的无声电影和几个法国喜剧片，他们百看不厌。黄昆也喜欢中国京剧。黄昆的嗓音醇厚，中气十足。难得有一回，半导体所超晶格实验室开联欢会，黄昆唱起了英国民歌，博得了满堂喝彩。另一间房间有12平方米大，通着一个小阳台，桌子上放着一台电脑，四周有几个书架，这是李爱扶的书房，但书架上放着许多黄昆的专业书。在一处不起眼的小书架上有一排排的武





▲ 黄昆特别喜欢颐和园，这不仅仅是因为他的名字“昆”来自颐和园中的昆明湖。这是1989年秋天，黄昆泛舟在昆明湖上（朱邦芬提供）

侠小说。黄昆喜欢读武侠小说，金庸的和梁羽生的都喜欢，比较起来，还是更喜欢梁羽生的书，觉得比较写实。但他不太爱看古龙的武侠书，原因是杀人太多，还分不清正邪。黄昆家还有一间一米多宽，三米多长的狭长屋子，是早先孩子们的住房，现在充当了临时客房兼储物间。家中的空间狭小，有段时间，为了接待几位老同学来家聚会，他们想方设法，把双人床的四个腿用木板垫上，木板下面安上轮子，等客人来时，把床推到一边，腾出待客的地方。

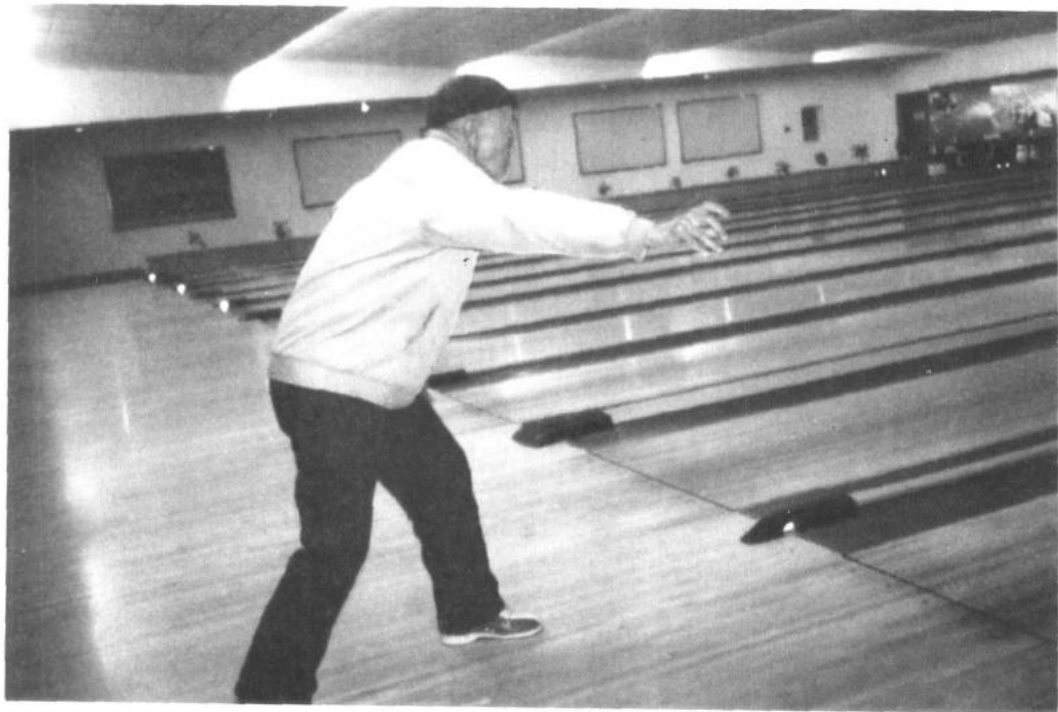
他们的饮食也很简单。尽管李爱扶学会了做许多中国菜，但比起中国的一般家庭，烹饪的水准还稍逊一筹。他们对饮食很不讲究，更谈不上“食不厌精、脍不厌细”。这几年，李爱扶比较注意黄昆的营养，每顿正餐一般是一荤一素一汤。荤菜常常是烧一锅红烧肉，吃上几天。汤经常是西式的



蔬菜浓汤，把土豆、胡萝卜等用食品加工机搅碎，加上西红柿等熬汤。他们每晚一般是7点吃晚饭。吃饭时，卧室又成了餐厅，一个小小的茶几成了他们的餐桌。他们边吃晚饭边看新闻联播。笔者好几次看到，酱豆腐是李爱扶吃饭的“保留菜”。以前黄昆在身体好的时候，也帮忙做点事。他切的肉丝、菜丝都“一丝不苟”。他们极少在家里请人吃饭。近年来，他们几位1945年同舟留英的同学决定，每年聚会一次，每次上一人的家中，大家轮流作东。轮到黄昆当东道主时，作为一件大事，李爱扶早在一个多月前就开始着手筹备。为此，他们还特地向人学了几个菜，有珍珠丸子，清蒸鱼等等。

黄昆的夫人李爱扶是英国威尔士人，她的父母并不赞成她与黄昆结合。李爱扶不顾家庭反对，来到了一个具有完全不同的文化背景的国家。中国的一切，从语言到做饭，都要从头学习。笔者曾在本书的初稿中写道：“她为了爱情，宁愿舍弃一切，操持家务，十分俭朴。许多认识李爱扶的人都说，

▼ 1999年11月，黄昆第一次打保龄球（黄昆提供）



‘她比中国的贤妻良母还要贤妻良母’。”但是李先生(这是学生们习惯的称呼,在中国一些大学中,被称作“先生”的人比被称作“老师”的更德高望重,含义与社会上一般称呼不同)很不赞成这句话,她认为:

(1) 我觉得工作对女的很重要。我退休后还被返聘,后来做修改中译英文献的工作。

(2) 家里不能搞得太复杂,如有小时工我还得陪伴她!

(3) 可能我中文不好,但一听人说我是“贤妻良母”,我觉得他(女的不那样说)有封建思想!

(4) 忘了,到75岁哪有那么多爱情! 有责任感,有好多年一起生活。

(5) 还有,我不“十分俭朴”,就是还没有学逛大商店,喜欢逛展销会!

在另一封电子邮件*中,她又写道:

我想要说的是,你可删除上面整段话。我想,你写我的笔墨越少,媒体越没有理由把我牵涉到对黄昆的报道中。

这番话,显示了李爱扶的个性。对比他小七岁的夫人,黄昆打出了90分的高分,并说:“凡是和她接触过的人对她的品格都有很高的评价,她不仅是好人,而且很有能力。”如今黄昆身患帕金森病,连“扣扣子都有点困难,家里百分之九十的事情靠她去做”。黄昆与李爱扶虽然个性不同,但俩人心心相印,家庭生活一直很美满。凤凰卫视的记者许戈辉采访黄昆有段对话,反映了他们俩人日常生活的一个侧面。

* 李爱扶的电子邮件原文为英文,如下:

What I wanted to say was you could delete the whole of the above. I think the less you say about me the less reason the media will have for wanting my participation.



许戈辉：我已经注意到你已经特别习惯用“爱人”这个称呼了，而不是像你爱人，因为你爱人是英国人，不是像他们称呼“太太”这样的。

黄 昆：“太太”是没用过。

许戈辉：没用过，你叫她“我爱人”，那她称呼你呢？

黄 昆：我跟她之间当然不会相互称来称去的。

许戈辉：对，但你跟外边人说的时候就说“我爱人”，那她说你呢，也说“我爱人”吗？

黄 昆：我不知道她说什么，她有时说我的名字。

许戈辉：你们平时生活中很多事情都互相商量着来吗？

黄 昆：我们好像基本上就一样的，想法也差不多，当然基本上也可以说商量。基本上好像自然的，就生活在一起的共同形态太多了，反正是说不上要特别商量，除非有什么特别的事情。

许戈辉：你觉得你太太的性格和你差不多吗？

黄 昆：非常不一样。

许戈辉：怎么个不一样法？

黄 昆：她是一个好人，我是一个不太照顾别人的人。

许戈辉：当年她也是从英国特意来到中国和你结婚的。

黄 昆：对。

许戈辉：你太太到了中国之后，在很大程度上其实也是放弃了她以前的研究工作吧？

黄 昆：她现在主要在电子学方面，也就是做电子学实验方面，所以跟以前也不太一样。

许戈辉：那你觉得她是不是可以算是为你做出牺牲？

黄 昆：我也没感觉到是这样，没这么想问题。

许戈辉：那我一会儿可不可以问问她本人？

黄 昆：她不愿意别人问她。

许戈辉：为什么呢，人家总说夫唱妇随的，那你们两



个……

黄 昆：我也不太愿意上电视。（两人笑）像这点我们是一致的，只不过我首当其冲，就不能坚持，她可以躲过去。

黄昆夫妇育有两子，分别取名黄志勤和黄志谦，寓意分别要“勤劳”和“谦虚”。1966年“文革”发生时，他们还是小学生。1969年，黄志勤去了黑龙江军垦农场，八年后，在“文革”后第一次全国高考中，他考上了哈尔滨工业大学。而黄志谦名义上是“知识青年”，实际上连小学都没有完全读完，但也得“接受再教育”，去了北京市海淀区的一家集体所有制单位当工人。改革开放后，黄志勤在美国密苏里大学堪萨斯城分校获得了电子工程系的硕士学位，在加拿大多伦多一家公司做技术工作。后来，他辞去了工作，与朋友一起回

▼ 1996年，黄昆全家在英国伦敦黄志谦家中的合影。前排左起为：黄昆、李爱扶、黄志谦夫人；后排左起为：黄志勤夫人、黄志谦、黄志勤；中间为黄昆的孙女和孙子（黄昆提供）



中国创业。黄志谦“文革”以后，去了英国。他先是打工，后来自己开了一家木器加工店，专门为一些有特殊要求的顾客加工木器活。有意思的是，尽管李爱扶的母语是英语，黄昆的英语又极好，但他们家的“官方语言”是中文，因为这有助于李爱扶掌握中文。这样，他们的孩子黄志勤和黄志谦的英语在出国前都极差。黄志谦到英国，在语言学校学英语，第一期没有过关，接连学了两期。虽然有所失，却也有所得，他的英语教师后来成了他的夫人。黄志勤和黄志谦在没有受到很好教育的先天不足的情况下，依靠自己的努力，终于事业有所成。

4. 老骥伏枥



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，年仅36岁的黄昆就当选为中国科学院学部委员，是当时所有学部委员中最年轻的一位。“文革”以后，黄昆又先后当选为瑞典皇家科学院外籍院士（1980年）、第三世界科学院院士（1985年）和国际纯粹物理和应用物理协会（IUPAP）半导体委员会委员（1985—1988年）。黄昆除了担任过中国物理学会理事长和中国科学院数理学部常委，还被选为中华人民共和国第三届全国人民代表大会代表（1964年），中国人民政治协商会议第五届全国委员会常务委员（1978年），并且分别连任第六届、第七届、第八届政协常委。他也曾获得中央国家机关优秀共产党员



员称号，全国“五一”劳动奖章。

黄昆因其学术上的贡献荣获了国家自然科学二等奖、三等奖各一次，中国科学院自然科学一等奖和二等奖各两次，国家科技进步二等奖一次。以下是他获奖的具体项目名称：

(1) “晶格动力学理论”，中国科学院自然科学三等奖(即第一届国家自然科学奖)，1956年；

(2) “半导体超晶格的电子态和声子模理论”，国家自然科学二等奖，1993年；

(3) “多声子无辐射跃迁的绝热近似和静态耦合理论”，中国科学院科学进步一等奖，1984年；

(4) “超晶格电子态理论”，中国科学院自然科学一等奖，1989年；

(5) “半导体超晶格和量子阱的光学声子模和弗勒利希作用势”，中国科学院自然科学二等奖，1990年；

(6) “半导体超晶格量子阱声子拉曼散射微观理论”，中国科学院自然科学二等奖，1995年；

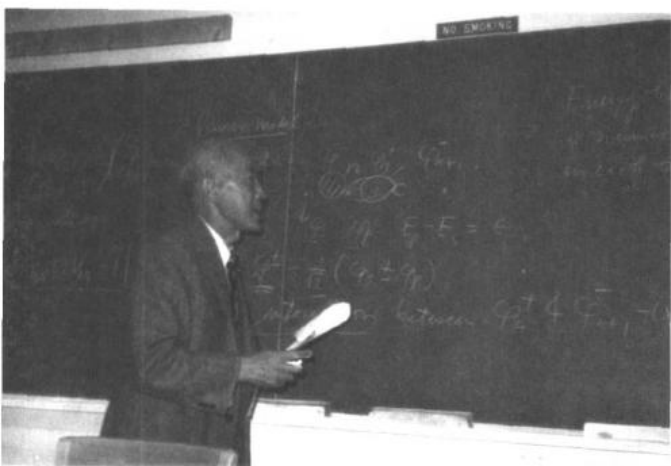
(7) “固体物理学”教材，国家科技进步二等奖，1996年。

黄昆近年还荣获何梁何利科学技术成就奖* (1995年) 和陈嘉庚物理学奖 (1996年)。1984年8月他应美国斯诺基金会邀请，任该年度斯诺教授去美国密苏里大学堪萨斯城分校

访问。他给美国研究生讲授了“固体理论专题”课。由于他的成就，访美期间，美国圣母玛利亚 (Notre Dame) 大学授予他“第二届理论物理弗雷曼奖” (The Second An-

* 何梁何利基金是由香港何善衡基金会有限公司、梁琨先生、何福先生、利国伟先生的伟伦基金有限公司共同捐资，于1994年在香港注册成立的科技奖励基金，基金设立科学与技术成就奖 (100万港元) 和科学与技术进步奖 (10万港元) 两类，每年颁奖一次。

▼ 1984年8月黄昆作为该年度斯诺教授去美国密苏里大学堪萨斯城分校访问时给美国研究生讲授“固体理论专题”课 (黄昆提供)



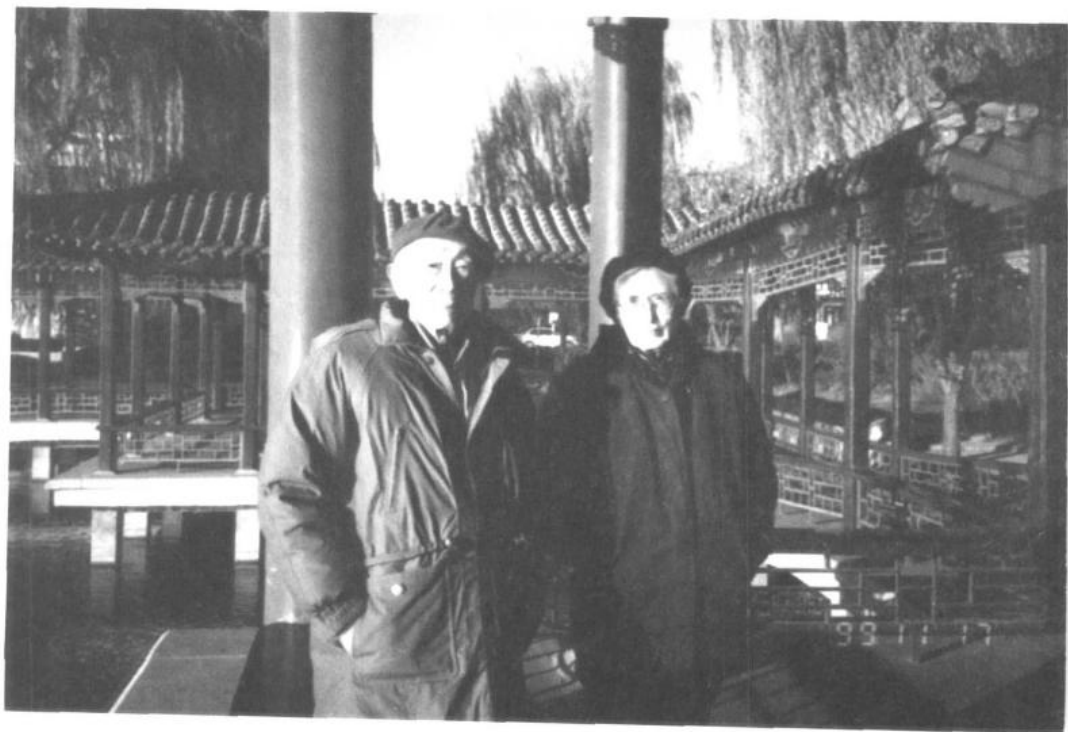
黄昆——声子物理第一人

nual Freiman Prize in Theoretical Physics), 美国中部州立大学协会授予他“卓越外国学者”称号。2000年, 香港科技大学授予他名誉博士学位。

面对这些荣誉, 黄昆总是那么低调: “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, 黄昆已年逾八旬。黄昆身体一直很好, 走路是黄昆的爱好。他与李爱扶每天都在住所附近散步。走路时, 两人也不说话, 一前一后, 低头走路。在英国的时候, 他与李爱扶每个星期天都去爬山。骑自行车到郊外旅游。回国以后, 他们依然每个星期天都去爬山, 20世纪60年代他们爬妙峰山, 后来精力差一点, 他们就上香山, 每个礼拜天都去。黄昆还跟孩子比赛, 看谁先到鬼见愁(香山的山顶)。20世纪80年代以后, 他们走到香山的半山腰就返回了。20世纪90年代后期, 黄昆只能上颐和园的佛香阁了。一段时间以来,

▼ 1999年11月17日,
黄昆与李爱扶在北京郊区合影(黄昆提供)



► 2000年7月31日,李爱扶、黄昆、李振道、杨振宁(左起)出席在香港召开的第三屆全球华人物理学大会(朱邦芬摄)



他一直感到走路像踩在棉花上似的,手指也渐渐僵硬。1999年上半年,黄昆被确诊为患了帕金森病。这个困扰黄昆多时的谜终于被揭开了,黄昆的心情反而一松。9月2日,他的80岁生日一过,他就去北京医院住了一段时间院。出院后,他仍每天上午去中国科学院半导体研究所上班。

为了祝贺黄昆80寿辰,新加坡世界科学出版社出版了《黄昆论文选暨评注》(*Selected Papers of Kun Huang with Commentary*)。这种形式的书籍,开创者是杨振宁。过去学术界庆祝某位大师寿辰的一般习惯是出一本论文集(*Festschrift*),由这位大师的朋友及学生撰写论文,编成文集献给这位大师以示祝贺。1982年杨振宁60寿辰时,他的一些同事建议出论文集。杨振宁想了想,觉得出一本论文自选集及评注也许更有意义一些。于是杨振宁的《1945至1980年论文选暨评注》(*Selected Papers 1945-1980 with Commentary*)首开先河,成为第一本这种类型的书籍,由W. H. Freeman and Company出版。其后,新加坡世界科学出版社遵循这种体例,出版《世界科学20世纪物理学丛书》(*World Scientific Series in 20th Century Physics*),专门收集诺贝尔物理学奖获得者及其他一些物理学大师的文集及评注。黄昆从自己发表的论文中,选出20篇论文,并针对国内许多科学工作者不善于提出和研究在科学上有意义的问题的现状,加写了评论性



的注释与背景介绍。这本书作为该丛书的第23卷出版,是一种很高的荣誉。

1999年,在上海举办的第12届全国半导体物理学术会议和在杭州举办的第10届全国凝聚态理论与统计物理学术会议上,都分别举行了祝贺黄昆80寿辰的特别会议。黄昆没有参加这两个会议,但为了不使众多活跃在第一线上的科研工作者扫兴,黄昆给大会发了贺信。在贺信中,黄昆祝愿青年研究人员加倍努力,在与国际同行的竞争中取得更大的成绩。他语重心长地指出:

你们虽然已经取得了不少成绩,当上了教授或杰出人才,但千万不要陷入行政事务中而放松学习和研究。切记,你们国际上的同行,除了条件比你们优越外,往往一天工作12小时以上。我希望看到有中国学者在国际半导体物理会议上作大会报告,有更多的中国学者在国际半导体物理会议上作邀请报告。

你们虽然已经取得了不少成绩,当上了教授或杰出人才,但千万不要陷入行政事务中而放松学习和研究。切记,你们国际上的同行,除了条件比你们优越外,往往一天工作12小时以上。我希望看到有中国学者在国际半导体物理会议上作大会报告,有更多的中国学者在国际半导体物理会议上作邀请报告。

2000年,他的恩师吴大猷去世,黄昆不顾自己的病体,撰写了回忆文章,并去香港出席了第三届全球华人物理学大会。会上,他用英语作了半小时的报告,深情地回忆了吴大猷对自己的培养。他还担任第17届国际拉曼光谱学大会的国际顾问委员会主席,为首次在华召开的该系列会议的成功,作出了贡献。

2000年,他的恩师吴大猷去世,黄昆不顾自己的病体,撰写了回忆文章,并去香港出席了第三届全球华人物理学大会。会上,他用英语作了半小时的报告,深情地回忆了吴大猷对自己的培养。他还担任第17届国际拉曼光谱学大会的国际顾问委员会主席,为首次在华召开的该系列会议的成功,作出了贡献。

2001年,他与郑厚植、甘子钊、李志坚、王启明和陈良惠等院士联名向领导部门建议:国家应当组织充分的人力、财力和物力,发展中国的纳米电子科学与技术。它实际上是半导体微结构的发展与延伸。他们的建议受到了有关部门的重视。

2001年,中国科学院提名黄昆为国家最高科学技术奖候选人。国家最高科学技术奖开始于2000年,每年授予人数不





▲ 2000年3月4日参加纪念吴大猷特别会议的部分代表合影。前排左一为李振道，左二为杨振宁，右一为沈君山，右二为黄昆（朱邦芬摄）

超过2名。每位获得者奖金为500万元人民币，其中50万元用于个人生活补贴，450万元用于科研经费。获奖者必须在当代科学技术前沿取得重大突破，或者在科学技术发展中有卓越建树，或者在科学技术创新、科学技术成果转化和高技术产业化中创造巨大经济效益或社会效益。刚开始，他写信反对提名自己为国家最高科学技术奖候选人。黄昆认为：“我得过一个何梁何利奖，那还说得过去。但现在这个最高奖，帽子似乎太大了。这么多学科，这么多研究人员。对我来讲，这个奖太高了。”经过组织上做工作，他改持不反对也不支持的态度，也不参加答辩，所有关于他的报奖材料都是别人整理的。经过国家最高科学技术奖评审委员会多轮严肃而认真的筛选，最后经过国务院常务会议批准，黄昆和王选荣获2001年度国家最高科学技术奖。江泽民主席亲自在他们的获奖证书上签名。

2002年2月1日，在人民大会堂隆重举行的全国科学技术



奖励大会上，国家主席江泽民亲自为2001年度该奖项获得者王选和黄昆两院士颁奖。一段时间以来，黄昆这位一贯低调的科学大师被无数的鲜花、掌声与聚光灯所包围，又飞来许多祝贺的函电。其中杨振宁的祝贺电子邮件*最得黄昆的心：

亲爱的黄昆，

朱邦芬寄给我他写的关于你的长文章。文章写得很好，我从中第一次知道你在英国和过去20年在中国物理研究上的详细情况。它确实令人印象深刻。

祝贺中国今天授予你的巨大的荣誉。我知道你的朋友和学生大概都为此而高兴，而你会不那么样的高兴。但是庆祝典礼毕竟是重要的，是有意义的。

祝你和李爱扶新年快乐。

杨振宁

黄昆回复的电子邮件**是：

亲爱的振宁，

谢谢你祝贺我获奖的邮件，恐怕我这一致谢来得太晚了。

你已经正确地估计到我对这次获奖的感觉，你的评论促

* 杨振宁的电子邮件原文为英文，如下：

Dear Huang Kun,

Zhu B.F. sent me his long article about you. It is well written. And I learned from it, for the first time, some details of what you have done in physics, in Great Britain, and in China in the last 20 years. It is a truly impressive story. Congratulations on the great honor that China is conferring on you today. I know your friends and students are more pleased by it than you yourself. Ceremonies ARE important. They have meaning.

Warm regards also for the Chinese New Year to you and to Li Ai-Fu.

CN Yang

** 黄昆的电子邮件原文为英文，如下：

Dear Chen Ning,

I am afraid this is rather belated thanks for your letter congratulating me on the award.

You have probably gauged my feelings correctly as regards the event, and your comments set me thinking these days. I think I begin to see that I should be altogether more cheerful about what we can do; for myself, as well as for people around me.

I don't know if this is what is in your mind, anyway, to consider this will do me some good.

Best Wishes,

Huang Kun.



使我这些日子一直在思考。我想，无论是对我还是对我周围的人，我应该对我们所能做的一切更高兴一些，我开始注意到这一点。

我不知这是否就是你脑中所想的，不管怎样，想到这一点将有助于我。

你诚挚的

黄昆

早在多年以前，黄昆还只是在物理学界大有名气而不为普通老百姓所知时，他就宣称自己“最怕记者”。获奖以后，最令黄昆感到烦恼的是，各种媒体的记者纷纷要求前来采访。尽管半导体所竭力为他挡驾，并把笔者写的“黄昆科研

▼ 2001年杨振宁与黄昆夫妇的合影（叶建平摄，朱邦芬提供）



教学六十载”一文的初稿(本来是笔者寄给黄昆征求意见的)印出来,作为素材提供给记者,但记者们仍“各显神通”,想与黄昆直接面对面地交谈。中央电视台的“东方之子”节目、香港凤凰卫视的“名人面对面”节目和个别的记者,成功地面对面采访了黄昆。他们成功的秘诀是,耐心向半导体所的有关同志与黄昆先生解释,他们明白,并不是黄昆先生需要曝光,而是作为新闻媒体,希望这样的报道能在社会上起到积极的作用。黄昆给他们共同的印象是,坦率、低调和平和。其中,黄昆比较满意的是凤凰卫视许戈辉的采访,他把这次访谈的光盘送给了杨振宁。

曾有这样一篇采访报道:在记者的百般争取下,黄昆答应他们去家里采访,但只给一个多小时,只能看不能问,“否则无法向夫人交代”。十几分钟的采访变成了无声的“参观”,而始终坐在沙发上的黄昆夫妇在翻阅着报纸。“如今的报纸太厚了,翻起来比看还难。”这是家庭采访中黄昆所说的惟一的几句话。

李爱扶自从有一次读到某位名人的夫人的访谈录后,学会了一招:“黄昆是黄昆,我是我。”记者刚想开口问问半个世纪前,是什么原因促使年轻的她从英国远渡重洋来中国,李爱扶一句“请尊重我的隐私权”,使得记者哑口无言。一些记者爱问黄昆:“这500万元大奖怎么安排?”对于50万给个人的奖金,黄昆觉得一点必要性都没有。“自己几年前已得过何梁何利奖,对生活有很大帮助。从个人来讲,现在已经不需要这么多的钱了。”“如果说我现在要什么花钱的,想到的就是到国外去看看我的孩子,可是这个也很有限,而且现在觉得年纪也比较大了,到国外也不是太积极了,觉得适当地看看他们就可以了,所以也并不觉得在这上面有什么多大的要花钱的地方。”对于450万元科研经费的安排,黄昆决定用于支持半导体所所长郑厚植院士的研究工作。黄昆认为郑厚植“还是很活跃的,还是很全面的,实验里头的工作都



抓得起来，而且对前沿也掌握得比较紧，所以我叫他再搞个项目，我这个经费可以支持的话，就并到他那儿了。”

令黄昆心情沉重的是，以前黄昆经常收到中学生、大学生来信，宣称推翻了“ $\times\times\times$ 理论”的“惊人的发现”，如今又多了许多下岗工人、失学少年的求助信。尽管黄昆曾多次慷慨解囊，大笔捐款赈灾救难，但他明白，自己这点钱是杯水车薪，起不了太大作用。只有尽力把中国的教育和科学研究工作搞好，才是自己对祖国、对人民的最大贡献。

黄昆，青年时代作出了卓越的科学贡献，中年时期献身于祖国的教育事业，60岁后又重新攀上世界科学高峰，如今桃李满天下，闻名海内外。可以说，作为一位中国的物理学家，除了诺贝尔奖，黄昆几乎得到了所能得到的一切荣誉。但是，老骥伏枥，志在千里，烈士暮年，壮心未已。如今，黄昆已经不上佛香阁了，只是每个周末到谐趣园去坐坐，喝杯茶。但是黄昆还在继续走着，还在继续工作着，还在为祖国的科学技术的发展而呕心沥血。他的心永远是年轻的。



参考文献



- [1] Born M. *The Born-Einstein Letters with Commentaries by Max Born*. New York: New York Walker Company, 1971
- [2] Burstein E, Martini F. *Polariton*. New York: Pergamon Press, 1972
- [3] Burstein E. Huang Has Changed Our Way of Thinking about the Propagating Em Modes in Crystalline Media. In: Zhang S L, Zhu B F, ed. *Proceedings of the 17th International Conference on Raman Spectroscopy*, International Steering Committee ICORS, 2000. New York: John Wiley & Sons Ltd, 2000. 40
- [4] Cardona M. The Width of Raman Phonons. In: Zhang S L, Zhu B F, ed. *Proceedings of the 17th International Conference on Raman Spectroscopy*. International Steering Committee ICORS 2000. New York: John Wiley & Sons Ltd, 2000. 53
- [5] Cochran W. *The Dynamics of Atomic Crystals*. London: Edward Arnold, 1973; 柯克兰著. 晶体原子动力学. 吕世骥译. 北京: 高等教育出版社, 1983
- [6] Fitzgerald A, Slichter C P. *Solid State Physics in the People's Republic of China*. Washington D C: National Academy of Sciences, 1976
- [7] Franck E V. A Theory of Intensity Distribution in Band Systems. *Phys Rev*, 1926, **28**: 1182
- [8] Fuchs R, Kliever K L. Optical Modes of Vibration in an Ionic Crystal Slab. *Phys Rev*, 1965, **140**: A2076
- [9] Henry C H, Hopfield J J. Raman Scattering by Polaritons.



Phys Rev Lett, 1965, **15**: 964

- [10] Hopfield J J. A theory of edge-emission phenomena in CdS, ZnS and ZnO. *J Phys Chem Solids*, 1959, **10**: 110
- [11] Hopfield J J. Theory of the Contribution of Excitons to the Complex Dielectric Constant of Crystals. *Phys Rev*, 1958, **112**: 1555
- [12] Ivchenko E L, Pikus G E. *Superlattices and Other Heterostructures: Symmetry and Optical Phenomena*. Berlin: Springer, 1994. 119
- [13] Коварский В А. Теория безызлучательных переходов в “некондоновской” приближений. низкий температуры. *ФТТ*, 1962, **4**: 1636
- [14] Menedez J. Phonons in GaAs-AlGaAs Superlattices. *J Lumin*, 1989, **44**: 285
- [15] Mills D L. Collective Excitations in Superlattice Structures. In: Cardona M, Guntherodt G, ed. *Light Scattering in Solids V*. Berlin: Springer, 1989. 25
- [16] Mills D L. The Collective Excitations of Semiconducting Films: Optical Phonons and Plasmons. In: Xia J B, *et al*, ed. *Lattice Dynamics and Semiconductor Physics*. Singapore: World Scientific Publishing Co, 1989. 590
- [17] Passler R. Description of Nonradiative Multiphonon Transitions in the Static Coupling Scheme I Foundations. *Czechoslovak J Phys*, 1974, **B24**: 322; Description of Nonradiative Multiphonon Transitions in the Static Coupling Scheme II Approximations. *ibid*, 1975, **B25**: 219
- [18] Peisl H, Spalt H. X-ray Diffuse Scattering in γ -irradiated LiF. *Phys Stat Solidi*, 1967, **23**: K75
- [19] Ridley K B. *Quantum Process in Semiconductors*. Oxford: Clarendon Press, 1982



- [20] Shah J. *Ultrafast Spectroscopy of Semiconductor and Semiconductor Nanostructures*. Berlin: Springer, 1996
- [21] Sood A K, Menendez J, Cardona M, Ploog K. Resonance Raman Scattering by Confined LO and TO Phonons in GaAs-AlAs Superlattices. *Phys Rev Lett*, 1985, **54**: 2111
- [22] Tatham M C, Ryan J F. Inter- and Intra- Subband Relaxation of Hot Carriers in Quantum Wells Probed by Time-resolved Raman Spectroscopy. *Semicond Sci Tech*, 1992, **7B**: 102
- [23] Trinkaus H. On Determination of the Double-force Tensor of Point Defects in Cubic Crystals by Diffuse X-ray Scattering. *Phys Stat Solidi*, 1972, **51**: 307
- [24] Tsen K T, Wald K R, Ruf H, Yu P Y, Morkoç H. Electron-optical-phonon Interactions in Ultrathin GaAs/AlAs Multiple Quantum Wells. *Phys Rev Lett*, 1992, **67**: 2557
- [25] Xia J B, Gan Z Z, Qin G G, Han R Q, Yang G Z, Zhong Z T, Zheng H Z, Zhu B F. *Lattice Dynamics and Semiconductor Physics Festschrift for Professor K Huang*. Singapore: World Scientific Publishing Co, 1990
- [26] Yu P Y, Cardona M. *Fundamentals of Semiconductors*. Berlin: Springer, 1996. 507
- [27] Zhu B F, Chao K A. Phonon Modes and Raman Scattering in GaAs-GaAlAs. *Phys Rev*, 1987, **B36**: 4906
- [28] Zhu B F. Optical Phonon Modes in Superlattices. *Phys Rev*, 1988, **B38**: 7694
- [29] Zhu B F. Oscillator Strength and Optical Selection Rule of Excitons in Quantum Wells. *Phys Rev*, 1988, **B37**: 4689
- [30] Zhu B F. *Selected Papers of Kun Huang with Commentary*. Singapore: World Scientific Publishing Co, 2000
- [31] Zucker J E, Pinczuk A, Chemla D S. Relation of Resonant Raman Line Shape to Electronic Structure in Quantum



- Wells. *Phys Rev*, 1988, **B38**: 4287
- [32] Пекар С И. Теория F-Центров. *ЖЭТФ*, 1950, **20**: 510
- [33] 北京大学电子仪器厂半导体专业 编著. 晶体管 - 晶体管数字集成电路. 北京: 科学出版社, 1977
- [34] 邓小平. 科研工作要走在前面. 见: 邓小平文选第二卷. 北京: 人民出版社, 1993
- [35] 第10届全国凝聚态理论与统计物理学术会议组织委员会编. 第10届全国凝聚态理论与统计物理学术会议论文集. 杭州: 中国物理学会主办, 1999
- [36] 第12届全国半导体物理学术会议组织委员会 编. 第12届全国半导体物理学术会议论文集. 上海: 中国物理学会主办, 1999
- [37] 甘子钊, 韩汝琦. 黄昆. 见: 《科学家传记大词典》编辑组编辑. 中国现代科学家传记 第一集. 北京: 科学出版社, 1994. 159
- [38] 黄昆. 怀念谢希德. 新加坡: 世界科学出版社. 即将出版
- [39] 黄昆. 分子物理学中的几个问题; 表面张力. 见: 张之翔主编. 北京大学普通物理教学研究论文集第一集. 北京: 北京大学出版社, 1987. 8, 24
- [40] 黄昆. 液体的性质. 弯月面和毛细现象. 分子物理学中的几个问题. 见: 中国物理学会物理教学编辑部编. 普通物理教学参考文集. 北京: 高等教育出版社, 1987. 137; 153; 164
- [41] 黄昆. 永远怀念吴大猷老师. 见: 典范永存——吴大猷纪念文集. 中国台北: 远流出版股份有限公司, 2001
- [42] 黄昆. 在所长的位置上. 见: 中国科学院半导体研究所建所四十周年纪念文集, 2000
- [43] 黄昆原著. 韩汝琦改编. 固体物理学. 北京: 高等教育出版社, 1988
- [44] 马克斯·玻恩. 我的一生——马克斯·玻恩自述. 陆



- 浩, 蒋效东, 杨鸿宾译. 上海: 东方出版中心, 1998
- [45] 潘永祥, 吴自勤, 范淑兰. 燕京大学物理系史稿. 物理, 1993, **22**: 493
- [46] 王炳燊, 吴汲安. 科苑中的一棵常青树. 中国科学院院刊, 1986, **2**: 171
- [47] 王元. 华罗庚传. 江西: 江西教育出版社, 2000
- [48] 吴大猷. 回忆. 北京: 友谊出版公司, 1980
- [49] 吴大猷. 抗战中的西南联合大学物理系. 见: 吴大猷文录. 柳怀祖编. 杭州: 浙江文艺出版社, 1999. 54
- [50] 吴自勤. 黄昆教授教书育人. 物理, 1992, **21**: 458
- [51] 西南联合大学北京校友会编. 国立西南联合大学校史——1937至1946年的北大、清华、南开. 北京: 北京大学出版社, 1996
- [52] 夏建白, 朱邦芬. 半导体超晶格物理. 上海: 上海科学技术出版社, 1995
- [53] 杨建业. 黄昆. 见: 中国当代科学家传 第一辑. 北京: 知识出版社, 1983. 270
- [54] 杨振宁. 杨振宁文集. 上海: 华东师范大学出版社, 1998. 3: 705
- [55] 张树霖. 黄昆: 国际声子物理学奠基人. 科学, 2000, **52** (3): 40
- [56] 朱邦芬. X射线漫散射. 物理, 1990, **19**: 568
- [57] 朱邦芬. 高山仰止 景行行止. 现代物理知识, 1990, **3**: 1
- [58] 朱邦芬. 黄方程和极化激元. 物理, 1990, **19**: 567
- [59] 朱邦芬. 中国科学先驱: 黄昆. 科学, 2000, **52** (3): 37
- [60] 朱邦芬. 半导体超晶格的电子态与声子模理论. 中国科学院院刊, 1997, **12**: 287

此外, 本书还引用了夏建白、何春藩于1999年编的《黄昆集》(未出版) 及黄昆本人的部分论著。





黄昆主要论著目录

论文

1. Huang K. Wave Function for the Ground State of Lithium. *Phys Rev*, 1946, **70**: 197
2. Huang K. X-ray Reflexions from Dilute Solid Solutions. *Proc Roy Soc*, 1947, **A190**: 102
3. Fröhlich H, Huang K, Sneddon I N. The Binding Energies of Very Light Nuclei. *Proc Roy Soc*, 1947, **A191**: 61
4. Huang K. Quantum Mechanical Calculation of the Heat of Solution and Residual Resistance of Gold in Silver. *Proc Phys Soc*, 1948, **60**: 161
5. Huang K. On the Quantum Mechanical Treatment of the Optics of Crystal Lattices. *Proc Cambridge Phil Soc*, 1949, **45**: 452
6. Huang K. Lattice Theory of Dielectric and Piezoelectric Constants in Crystal. *Phil Mag*, 1949, **40**: 733
7. Huang K. On the Atomic Theory of Elasticity. *Proc Roy Soc*, 1950, **A203**: 178
8. Huang K, Rhys A. Theory of Light Absorption and Non-radiative Transition in F-centers. *Proc Roy Soc*, 1950, **A204**: 406
9. Huang K. Phenomenological Equations of Motion for Simple Ionic Lattices. *ERA Report*, 1950, Ref L/T239
10. Huang K. A Note on Hildebrand's Approximation for Thermal Pressures in Solids. *Phil Mag Ser 7*, 1951, **42**: 202
11. Huang K. Lattice Vibrations and Optical Waves in Ionic



- Crystals. *Nature*, 1951, **167**: 779
12. Huang K. On the Interaction between the Radiation Field and Ionic Crystals. *Proc Roy Soc*, 1951, **A208**: 352
 13. Huang K, Rhys A. Deviation of van der Waals Interaction from Additive Relations. *Chinese Jour Phys*, 1951, **8**: 208
 14. Huang K. A Note on Fröhlich's Theory of Superconductivity. *Proc Phys Soc*, 1951, **64**: 867
 15. Bhatia A B, Huang K, Huby R, *et al.* Angular Distribution in (d, p) and (d, n) Reactions. *Phil Mag*, 1952, **43**: 485
 16. 黄昆, 莫党, 秦国刚. 电子对于原子半导体晶格的形变作用. *物理学报*, 1957, **13**: 271
 17. 黄昆. Theory of Electronic Transitions in Crystals. *物理学报*, 1958, **14**: 191
 18. 黄昆. Theory of Polarons. *物理学报*, 1958, **14**: 204
 19. Huang K. The Long Wave Mode of Cu_2O Lattice. *Z Physik*, 1963, **171**: 213
 20. 黄昆. 多声子复合理论中绝热近似是否失效的问题. *半导体学报*, 1980, **1**: 1
 21. 黄昆. 无辐射跃迁的绝热近似和静态耦合理论. *中国科学*, 1980, **10**: 949; Huang K. Adiabatic Approximation Theory and Static Coupling Theory of Nonradiative Transition. *Scientia Sinica*, 1981, **24**: 27
 22. 黄昆. 晶格弛豫和多声子跃迁. *物理学进展*, 1981, **1**: 31
 23. Huang K. Lattice Relaxation and Multiphonon Transitions. *Contemp Phys*, 1981, **22**: 599
 24. 王永良, 顾宗权, 黄昆. 在混晶中一种无序诱导的晶格弛豫的机构. *科学通报*, 1981, **26**: 531; *Science Bulletin*, 1982, **27**: 18
 25. Huang K, Gu Z. Phonon Analysis in Multiphonon Transitions. *Commun in Theor Phys*, 1982, **1**: 535



26. Huang K, Gu Z. Frequency Dispersion Effect in Multiphonon Transitions. *Physica*, 1983, **117B** & **118B**: 552
27. Huang K. Statistical Distribution of Phonons in Multiphonon Transitions. *Jour Luminescence*, 1984, **31** & **32**: 738
28. 顾宗权, 黄昆. 多声子理论中高温强耦合近似的判据. 半导体学报, 1984, **5**: 1
29. Huang K. Contributions to Multiphonon Transition Theory. *Advances in Science of China. Physics*, 1985, **1**: 1
30. 黄昆, 刘东源. Method of Steepest Descent and Multi-frequency Model in Multiphonon Transitions. 物理学报, 1985, **34**: 709
31. 黄昆. 量子阱中激子吸收的二维性. 物理, 1986, **15**: 329
32. 汤蕙, 黄昆. 超晶格中空穴子带的理论. 半导体学报, 1987, **8**: 1
33. 夏建白, 黄昆. 维超晶格的子能带和光跃迁. 半导体学报, 1987, **8**: 563
34. Zhu B F, Huang K. Effect of Valence-Band Hybridization on the Exciton Spectra in GaAs-GaAlAs Quantum Wells. *Phys Rev*, 1987, **B36**: 8102
35. 夏建白, 黄昆. 电场下超晶格的子能带和光跃迁. 物理学报, 1988, **37**: 1
36. Huang K, Zhu B F. Long Wavelength Optic Vibrations in a Superlattice. *Phys Rev*, 1988, **B38**: 2183
37. Huang K, Zhu B F. Dielectric Continuum Model and Fröhlich Interaction in Superlattices. *Phys Rev*, 1988, **B38**: 13377
38. Huang K, Xia J, Zhu B F, Tang H. Hole Subbands in Quantum Wells and Superlattice. *Jour Luminescence*, 1988, **40** & **41**: 88
39. Zhu B F, Huang K. Theory of Exciton in GaAs/GaAlAs



- Quantum Wells. In: Zawadzki W, ed. *Proc of 19th International Conference on Physics of Semiconductors*, IUPAP, 1988. Warsaw: Institute of Physics Polish Academy of Sciences, 1988. 453
40. Huang K, Zhu B F. Dielectric Continuum Model and Fröhlich Interaction in Superlattices. In: Tsai C H, *et al*, ed. *Proc of Workshop on Physics of Superlattice and Quantum Wells*, China National Natural Science Foundation, 1988. Singapore: World Scientific Publishing Co, 1988. 1
 41. Zhu B F, Huang K. Exciton States in Quantum Wells. In: Tsai C H, *et al*, ed. *Proc of Workshop on Physics of Superlattice and Quantum Wells*, China National Natural Science Foundation, 1988. Singapore: World Scientific Publishing Co, 1988. 266
 42. 黄昆. On Recent Developments of Semiconductor Superlattices and Quantum Wells. 物理, 1988, **17**: 385
 43. Zhu B F, Huang K, Tang H. Exciton Mediated Raman Scattering in Multiple Quantum Wells. *Phys Rev*, 1989, **B40**: 6299
 44. 黄昆, 朱邦芬, 汤蕙. 多量子阱的声子拉曼散射理论. 固体电子学研究进展, 1989, **9**: 342
 45. 朱邦芬, 黄昆, 汤蕙. 多量子阱中激子作为中间态的拉曼散射微观理论. 固体电子学研究进展. 1989, **9**: 370
 46. 黄昆. 量子阱中空穴子带. 见: 黄昆, 谢希德等编. 半导体物理进展与教学. 北京: 高等教育出版社, 1989. 9
 47. Huang K, Zhu B F, Tang H. Microscopic Theory of Optical Phonon Raman Scattering in Quantum Well Systems. *Phys Rev*, 1990, **B41**: 5825
 48. Tang H, Zhu B F, Huang K. Raman Scattering in Superlattice



- under an Electric Field. *Phys Rev*, 1990, **B42**: 3082
49. Zhu B F, Huang K, Tang H. Theory on the Optical Phonon Modes and Raman Scattering in Quantum Well Systems. In: Anastassakis E M, Joannopoulos J D, ed. *Proc of the 20th International Conference on Physics of Semiconductors*, IUPAP, 1990. Singapore: World Scientific Publishing Co, 1990. 1409
 50. Zhu B F, Huang K, Tang H. Recent Advances on Theory of Optical-Phonon Raman Scattering in Quantum Well Systems. In: Shen S C, *et al*, ed. *Proc of Sino-Soviet Seminar on Spectroscopy and Optoelectronics in Semiconductors and Related Materials*, Chinese Academy of Sciences and Academy of Sciences USSR, 1990. Singapore: World Scientific Publishing Co, 1990. 21
 51. Xia J, Huang K. Semiclassical and Envelope Function Treatment of Magnetic Levels in Superlattices under an In-plane Magnetic Field. *Phys Rev*, 1991, **B42**: 11884
 52. Xia J, Huang K. Wannier Quantization of a Superlattice Subband under Electric Field. *J Phys Condensed Matter*, 1991, **3**: 4639
 53. 黄昆, 朱邦芬. 量子阱中光致热电子荧光的偏振和轻重空穴混合. 半导体学报, 1991, **12**: 193; Huang K, Zhu B F. Polarization of Hot Photoluminescence in Quantum Wells and Heavy-light Hole Mixing. *Chin Phys*, 1991, **11**: 977
 54. Zhu B F, Huang K. Microscopic Theory on the Optical-phonon Raman Scattering in GaAs/AlAs Heterostructure. *Superlat and Microstr*, 1991, **9**: 445
 55. 黄昆. 半导体超晶格和微结构. 物理, 1991, **20**: 321
 56. Huang K, Zhu B F. Temperature Dependence of the Low-



- field Mobility of Miniband Conduction in Superlattices. *Phys Rev*, 1992, **B45**: 14404
57. Huang K. Program Review. In: Jiang P, Zheng H Z, ed. *Proc of the 21st International Conference on Physics of Semiconductors*, IUPAP, 1992. Singapore: World Scientific Publishing Co, 1992. 2045
 58. Zhu B F, Huang K. Space Charge Effect on 3D-2D and 2D-2D Resonant Tunneling in Double-barrier Structures. In: Jiang P, Zheng H Z, ed. *Proc of the 21st International Conference on Physics of Semiconductors*, IUPAP, 1992. Singapore: World Scientific Publishing Co, 1992. 781
 59. Zhu B F, Huang K. Self-consistent Treatment of 3D-2D and 2D-2D Resonant Tunneling in Double-barrier Structures. *Phys Rev*, 1993, **B48**: 4575
 60. Huang K, Wu X G. Distribution Function of Drifting Electron Gas for a General Band Structures. *Phys Rev*, 1994, **B49**: 2223
 61. Huang K, Wu X G. Reply to Distribution Functions and Balance Equations of Drifting Electrons in an Electric Field. *Phys Rev*, 1995, **B51**: 5531
 62. Huang K. Lattice Dynamics in Semiconductor Superlattices. *自然科学进展*, 1995, **4**: 514
 63. Zhu B F, Huang K. The Effects of Heavy- and Light- Hole Mixing on the Optical Processes in Quantum Well Systems. In: Ryzhii V, *et al*, ed. *Physics and Computer Modeling of Devices Based on Low Dimensional Structures*. Los Alamitos (California): IEEE Computer Society Press, 1995. 127
 64. Huang K, Zhu B F. Polar Optical Vibration Mode in Semiconductor Superlattices, *Tsinghua Science and*



- Technology*, 1998, **3**: 900
65. Zhu B F, Huang K, Zhang J. Numerical Evaluation of Energy Loss Rate for Hot Carriers in Quantum Wells. *Superlat Microstr*, 1998, **23**: 87
 66. Zhu B F, Huang K. Hole Mixing Effects on the Quantum Well Physics. In: Cho Y M, *et al*, ed. *Proc Inauguration Conference of Asia Pacific Center for Theoretical Physics*. Singapore: World Scientific Publishing Co, 1998. 209
 67. Zhu B F, Zhang J Z, Huang K. Hot-Phonon Effect in GaAs/AlAs Quantum Wells Evaluated by Phonon Models. In: Gershoni D, ed. *Proc 24th International Conference on Physics of Semiconductors*, IUPAP, 1998. Singapore: World Scientific Publishing Co, 1998 (光盘)
 68. Huang K. Effects of Heavy and Light Hole Mixing in Quantum Well Physics. In: Hsu J P, Hsu L, ed. *JingShin Theoretical Physics Symposium in Honor of Professor Ta-You Wu*, University of Michigan, 1991. Singapore: World Scientific Publishing Co, 1998. 135
 69. Zhang J Z, Zhu B F, Huang K. Comparison of Cooling Rates of Hot Carriers in GaAs/AlAs Based on Macroscopic and Microscopic Phonon Models. *Phys Rev*, 1999, **B59**: 13184
 70. 夏建白, 黄昆. 我国半导体物理研究进展. *物理*, 1999, **28**: 525

专著

1. Born M, Huang K. *Dynamical Theory of Crystal Lattices*. Oxford: Oxford University Press, 1954; 马克斯·玻恩, 黄昆. 晶格动力学理论. 葛惟铤 贾惟义 译. 北京:



北京大学出版社, 1989

2. 黄昆, 谢希德. 半导体物理学. 北京: 科学出版社, 1958
3. 黄昆. 半导体物理发展概况的介绍. 北京: 高等教育出版社, 1959
4. 黄昆. 固体物理学. 北京: 人民教育出版社, 1966
5. 北京大学电子仪器厂半导体专业编著. 晶体管-晶体管数字集成电路. 北京: 科学出版社, 1977
6. 黄昆, 韩汝琦. 半导体物理基础. 北京: 科学出版社, 1979
7. Huang K, He H, Zhao B. *TTL Circuit*. Beijing: Science Press, 1977
8. 黄昆, 谢希德等编. 半导体物理进展与教学. 北京: 高等教育出版社, 1989





黄昆简历

1919年9月2日生于北京市，祖籍为浙江嘉兴。

1936年夏从潞河中学毕业。

1941年夏毕业于燕京大学物理系，获理学学士学位。

1941年秋—1942年夏任昆明国立西南联合大学物理系助教。

1942年秋—1944年夏就读于西南联合大学北大研究院，获理学硕士学位，导师是吴大猷。与杨振宁、张守廉三人号称西南联大“三剑客”。

1944年考取第八届“庚子赔款”留英公费生。在“留待时间”（1944年秋—1945年夏）任昆明凤凰山天文台助理研究员。

1945年秋赴英国布里斯托尔大学物理系学习，1948年初获得哲学博士学位，导师是诺贝尔奖获得者莫特爵士。期间，发表“稀固溶体的X光漫散射”论文，理论上预言了“黄散射”的存在；理论计算银中溶入金原子的稀固溶体的结合能和残余电阻率，为固体物理中著名的“夫里德耳（Friedel）振荡”奠定基础。1947—1948年，部分时间在英国爱丁堡大学玻恩教授研究组做访问研究。

1948—1951年任英国利物浦大学理论物理系ICI博士后研究员，期间建立了离子晶体长波光学振动的唯象方程——“黄方程”，提出了声子极化激元的概念，并与李爱扶（A. Rhys）共同建立了固体中多声子跃迁理论，创建了这一分支学科领域。

1947—1952年，与玻恩教授合著《晶格动力学理论》一书（牛津出版社1954年出版），此书是这一领域的奠基权威著作。



1951 年底回国。

1952 年与李爱扶结婚。

1951 年底—1977 年 8 月担任北京大学物理系教授，主要从事普通物理、固体物理和半导体物理的教学工作。期间，从 1954 年起任北大物理系固体物理专门化教研室主任。1960—1966 年任北京大学物理系副系主任，主管科研工作。

1955 年被选聘为中国科学院数学学部学部委员。

1956 年“晶格动力学理论”获中国科学院自然科学三等奖(即第一届国家自然科学奖)。

1956 年参与制定国家 12 年科学技术发展规划，参与制定“发展计算技术、半导体技术、无线电电子学、自动学和远距离操纵技术的紧急措施方案”。1956—1958 年任国内五校联合举办的首次半导体专门化主任。

1958 年与谢希德合作，完成《半导体物理学》专著，并由科学出版社出版。

1959 年，加入中国共产党。

1962 年与谢希德联合提出加强中国固体能谱基础研究的建议。从 1963 年起筹建北京大学能谱研究室和实验室。

1964 年被选为中华人民共和国第三届全国人民代表大会代表。

1966—1976 年“文革”期间遭受冲击。1969 年到“北大 200 号”参加劳动，后参加半导体器件生产。

1977—1983 年由邓小平直接提名，担任中国科学院半导体研究所所长。1983 年以后任半导体所名誉所长。为全国半导体物理研究学术水准的提高和中科院半导体所科研工作的发展做出决定性的贡献。

1978 年当选为中国人民政治协商会议第五届全国委员会常务委员，以后分别连任第六届、第七届、第八届政协常委。

1979—1981 年重新研究多声子无辐射跃迁理论，澄清了国际上 30 年来围绕无辐射跃迁理论发展而出现的混乱，为



静态耦合计算提供了理论上的依据。

1980 年被遴选为瑞典皇家科学院国外院士。

20 世纪 80 年代初起在全国倡导半导体超晶格微结构研究。

1984 年 10 月至 12 月应美国斯诺基金会的邀请, 作为该会第一个物理学教授去美国讲学。被美国圣母玛利亚大学授予“第二届理论物理弗雷曼奖”, 被美国中部州立大学协会授予“卓越外国学者”称号。

1985 年被选为第三世界科学院院士。

1985 年起亲自从事半导体超晶格物理研究, 在电子态和声子模等领域有所建树。1988 年与朱邦芬合作建立关于半导体超晶格声子模式的“黄-朱模型”, 推动了相关领域的发展。

1985—1988 年被选为 IUPAP 半导体分会委员。

1987—1991 年任中国物理学会理事长。

1992 年担任第 21 届国际半导体物理会议程序委员会主席。

1993 年“半导体超晶格的电子态与声子模理论”获国家自然科学基金二等奖。

1995 年获何梁何利科学技术成就奖。

1996 年获陈嘉庚物理学奖。

1999 年患帕金森病。

2000 年担任第 17 届国际拉曼光谱学大会的国际顾问委员会主席。去香港出席第三届全球华人物理学大会, 作了半小时回忆吴大猷的报告。

2001 年与郑厚植、甘子钊、李志坚、王启明、陈良惠等院士, 联名向领导部门建议, 国家应当组织充分的人力、财力和物力, 发展中国的纳米电子科学与技术。

2001 年获中华人民共和国最高科学技术奖。



后 记



笔者首先要感谢黄昆先生和他的夫人李爱扶先生。从1981年研究生毕业来到中科院半导体研究所工作，一直到2000年离开半导体所，我有幸差不多有15年时间与黄昆先生在一个办公室工作，几乎天天得到黄昆先生的教诲。应该说，世界上没有人比我受黄昆先生的教导更多的了。黄昆先生言传身教，不但教我怎么做学问，也教我怎么做人。因此，当黄昆先生获得国家最高科学技术奖，国家科学技术奖励办公室的门国良同志要我写这本书时，我觉得，即使中文写作水平很差，科研与教学时间也很紧，但我有义务和责任写好这本书。黄先生和李先生多次仔细地阅读了稿子，通过电子邮件来回，提出了许多极重要的修正意见。没有他们的指正，本书不会以现在的面目出现。

在写作的过程中，杨振宁先生、北京大学沈克琦教授、北京大学物理学院甘子钊院士、秦国刚院士、虞丽生教授、北京大学微电子所韩汝琦教授、清华大学高等研究中心聂华桐教授、清华大学物理系陈难先院士、顾秉林院士、清华大学人文社会科学学院吴娅茹教授、中国科学院半导体研究所夏建白院士、美国犹他大学物理系吴咏时教授和材料系刘锋教授先后仔细阅读了初稿，提出了宝贵的意见，并给予了很大鼓励。写初稿时，我正在犹他大学刘锋处访问，他不仅给予了许多帮助与关心，也慷慨地允许笔者利用在犹他大学的部分工作时间从事写作。本书的写作也得到中国科学院半导体研究所所长郑厚植院士的支持和关心，得到王炳荣研究员和李树深研究员的帮助。此外，我的学生刘仁保博士也给了我许多帮助和建议。特此致以衷心的感谢。

笔者也要感谢门国良同志，不是他“逼”着笔者写这本



书，没有压力，我绝对不会下决心花这么多的时间来写作。也要感谢上海科学技术出版社的同志提供的许多有益的、专业性的意见。

最后，我要感谢妻子叶建平。她不仅是本书的第一个读者，而且本书大部分内容是在业余时间写的，没有她的理解和支持，它是不可能完成的。

朱邦芬

2002 年 1 月 1 日初稿

3 月 15 日二稿

10 月 16 日三稿



封面页

书名页

版权页

前言页

目录页

第一章

少年

同学

1 . 从

蒙养园到燕京大

学

2 . 群

英荟萃

第二章 留英 六年

1 . 师
从莫特

2 . 与
玻恩一起撰写学
科的“圣经”

3 . 从
“黄方程”到“
声子极化激元”

4 . 一
个分支学科的诞

生

第三章 甘当 人梯

1 . 把
一切献给祖国的
教育事业

2 . 中
国固体物理学科
的开创者

3 . 中
国半导体科学技
术的奠基人

4 . 磨
难
第四章 凤凰
涅槃
1 . 邓
小平点将
2 . 重
返科研第一线
3 . 活
跃在二维世界里
4 . 黄
- 朱模型

第五章 大师本色

1 . 治

学之道

2 . 大

师风范

3 . 常

人和真人

4 . 老

骥伏枥

参考文献

黄昆主要论著目

录
黄昆简历
后记
附录页