

《晶格动力学理论》导读*

曹则贤[†]

(中国科学院物理研究所 北京 100190)

2023-10-18收到

[†] email: zxcao@iphy.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20231109

世界图书出版公司嘱我为玻恩(Max Born, 1882—1970)和黄昆(1919—2005)先生合著的英文经典《晶格动力学理论》(*Dynamical theory of crystal lattices*, Oxford University Press, 1954)写个导读,这让我感到压力极大。不过,这是一件非常荣耀的事情,思虑再三我还是决定接下这个挑战,而且我还想稍微写长一些。读者朋友若能体会我的良苦用心,或许能原谅我的拉杂用事。

谈论玻恩和黄昆先生合著的《晶格动力学理论》,须提及玻恩1915年所著德语版的《晶格动力学》(*Dynamik der Kristallgitter*)。德语版《晶格动力学》全书分为两部分,正文122页。第一部分为“晶格的力学”,共五章,分别为:(1)晶格及其内能;(2)向连续理论的形式过

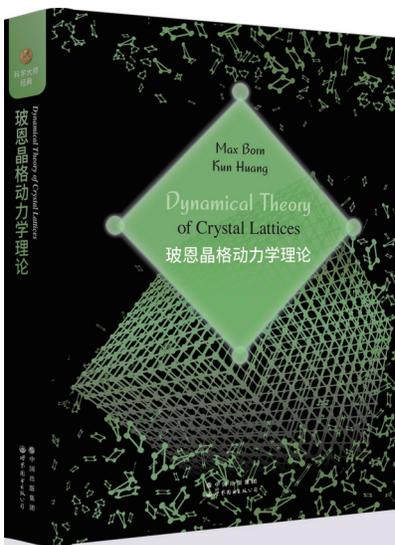
渡;(3)晶格的自由振动及向连续理论形式过渡之正确性证明;(4)晶格的受迫振动;(5)晶粒的无序运动。第二部分为“晶格的电动力学”,共三章,分别为:(1)晶格中电磁波的传播;(2)长波电磁波的传播方程;(3)长波振动方程的解与讨论。读者请注意,在1915年虽有量子论的说法,但量子力学(Quantenmechanik)的概念要到1924年才出现。如玻恩在《晶格动力学理论》一书序言中所言,到了1940年前后,固体物理学得到了长足的发展,故而他从量子理论的最一般原理出发,用演绎的手法得到晶体的结构与性质,故而有了这本后来由黄昆先生执笔完成的英文版《晶格动力学理论》。玻恩的动机很好理解,因为量子力学参与之后的关于固体的理论才算得上是真正意义上的固体物理学,而他本人则是量子力学的奠基人之一,他于1954年,也就是这本书出版的那一年,最终因为“对量子力学的贡献尤其是他的波函数统计解释”(for his fundamental research in quantum mechanics, especially for his statistical interpretation of the wavefunction)获得了诺贝尔物理学奖。注意,我这里用了“最终”这个词,这后面的故事太多。作为一个1915年即出版了《晶格动力学》、1925年同助手海森堡(Werner Heisenberg, 1901—1976)和约当(Pascual Jordan, 1902—1980)一起创立了矩阵力学、1926年对薛定

谔(Erwin Schrödinger, 1887—1961)的波动方程之波函数给出了统计诠释的数理大家,他想对量子理论托起的固体物理,虽然其被看作只是量子理论的旁支,加以系统地梳理是再自然不过的事儿了。

那么,为什么在1915年年仅33岁的玻恩就写了《晶格动力学》这样的一本书呢?

固体物理如同天文学一样,是最古老的物理学分支。固体是可触摸的存在。固体物理学面对的是实在的、而非理想的或者假想的模型物质。在前科学时代,人们通过研究土块、石头、金属等积累了不少的经验知识。与固体是由原子累积而成的思想相关联,逐步产生了晶胞(1792)、晶系、布拉菲格子(1850)、点群、固体空间群(1891—1892)、Wigner—Seitz单胞(1933)等概念,而这些概念都是几何的概念。可以说,到19世纪末人们才开始有对固体的真正理解。关于晶体的周期性构成的猜测,到了1912年由劳厄(Max von Laue, 1879—1960)的X-射线衍射花样所证实。贯穿这些固体物理相关概念的是群论,确切地说是关于空间等度规变换群的分立子群。群论是数学的一个特殊分支,是那种没有它就没有物理理论的数学分支。哥廷恩大学是群论的发源地之一,是将群论应用于物理学各分支的主要推动力量。

玻恩1904年进入哥廷恩大学,遇到了三位著名的数学家克莱因(Felix Klein, 1849—1925)、希尔伯特(David Hilbert, 1862—1943)和



玻恩、黄昆《晶格动力学理论》(英文),2023年8月国内出版

* 本文原为2023年世界图书出版公司出版的《晶格动力学理论》一书导读,经授权转载,刊发时略作修改。

闵可夫斯基(Hermann Minkowski, 1864—1909)。1906年玻恩获博士学位, 论文题目为“不同边界条件下平面与空间中弹性线体的稳定性研究”, 导师为 Carl Runge (1856—1927), 就是计算方法 Runge—Kutta 法、经典力学 Laplace—Runge—Lenz 矢量里面的那个 Runge。玻恩选择的辅修专业是 Karl Schwarzschild (1873—1916)。其人于 1916 年 2 月在爱因斯坦引力场方程正式发表前给出了一个解)的天文学, 博士答辩的另一个考官是福格特(Woldemar Voigt, 1850—1919)。作为狭义相对论基础的洛伦兹变换是福格特为球波变换先引入的, 他还著有《晶体物理教程》(*Lehrbuch der Kristallphysik*, 1910)一书), 而数学考试的考官为希尔伯特。博士答辩后伴有考试是德国的学术制度, 考试内容不设框框, 笔者 1997 年进行博士论文答辩时在论文答辩后还有 45 分钟的考试, 不知现在这制度还继续否。据说玻恩在答辩前曾问希尔伯特会考哪些数学方向, 希尔伯特的回答是那你哪些数学专业最弱呢。对此问题, 玻恩的回答是数论中的理想理论, 结果考试时希尔伯特就围绕着理想理论提问题。对此, 希尔伯特的解释是, 我想知道他对自己不了解的领域到底了解多少。我做了这些铺垫, 是想解释为什么说玻恩是数学家、物理学家(根据 Wikipedia 中“Max Born”条目的德语版、英语版), 为什么他对固体物理学和量子力学的建立都有贡献, 以及为什么他有能力阐述爱因斯坦的相对论(玻恩著有 *Die Relativitätstheorie Einsteins* (爱因斯坦的相对论), 1920)。在 1915 年德语《晶格动力学》一书的扉页, 玻恩写道:“献给我敬爱的老师希尔伯特(Meinem verehrten Lehrer David Hilbert zugeeignet)!”至此, 如果说

学好固体物理首先要有深厚的数学功底, 估计有的读者能接受。

在 1915 年此前的一些年里, 1900 年德鲁德(Paul Drude, 1863—1906)建立起了金属电导的自由电子模型, 1907 年爱因斯坦(Albert Einstein, 1879—1955)引入能量量子的概念建立起固体比热的爱因斯坦模型, 1912 年德拜(Peter Debye, 1884—1966)建立起了固体比热的德拜模型, 1912 年劳厄通过 X-射线衍射把晶体作为原子的周期性堆积由猜测变成了物理现实, 这些进展让固体物理作为一门理论物理学得以建立起来。玻恩及其学生、助手们在 1915 年之前和之后都处于固体物理发展的前沿, 其 1915 年的《晶格动力学》的宗旨是阐述为什么晶体作为一个大分子而其原子在这个或者那个空间格点上找到了平衡位置, 以及在缺乏关于原子间作用力规律的精确知识的前提下, 通过仅把原子间力当成原子位移的线性函数从晶格理论导出晶体的性质来。这些固体的性质包括弹性、压电性及其逆效应、介电激励与色散、比热、光学活性, 等等。

量子论在 1920 年代后期发展成为量子力学, 量子力学的使用让固体物理这门学科急速发展, 给人类社会带来了天翻地覆的变动。量子力学让金属的相干电子理论成为可能, 此乃固体物理学的基础。1928 年, 索末菲(Arnold Sommerfeld, 1868—1951)将费米—狄拉克统计用于发展金属理论, 布洛赫(Felix Bloch, 1905—1983)将薛定谔方程用于研究晶体中的电子动力学。1930 年代的固体能带理论是现代固体物理学的肇始。能带理论由布洛赫等人开始, 由维格纳(Eugene Wigner, 1902—1995)及其学生塞茨(Frederick Seitz, 1911—2008)加以完善, 他们首先把能带理论用于金属钠。那些

对固体物理建立初期有贡献的学者, 包括德拜、爱因斯坦、索末菲、布洛赫、派尔斯(Rudolf Peierls, 1907—1995)、斯拉特(John Slater, 1900—1976)、朗道(Lev Landau, 1908—1968)、坡尔(Robert Pohl, 1884—1976)、莫特(Nevill Mott, 1905—1996)都是量子力学的行家里手。

作为 1915 年即出版了《晶格动力学》且将量子力学用于研究固体物理的量子力学奠基人的玻恩教授, 在 1940 年想对晶格动力学尝试一种全面的、崭新的表述。然而, 1940 年身在英国的、58 岁的玻恩, 俨然一代宗师, 是那种可以说“*I and my school*”的人物, 实在是百事缠身。虽然他有了关于晶格动力学新表述的构想, 也写了几章, 但却无力了却自家心愿了。1947 年 5 月, 黄昆到玻恩身边短期工作, 玻恩随即将完成这部著作的任务交给了尚未到而立之年的黄昆, 由后者代为完成。玻恩的《光学原理》一书也有大致相同的历程。

黄昆, 物理学家, 生于北京, 1941 年毕业于燕京大学, 1942 年考入西南联合大学攻读理论物理, 1944 年获得北京大学硕士学位。1945 年 8 月, 黄昆到达英国的布里斯托大学, 跟随固体物理大家莫特攻读博士, 1948 年获博士学位。这期间, 黄昆到英国爱丁堡大学跟随玻恩工作了一段时间, 遂有了玻恩把《晶格动力学理论》部分手稿交给黄昆嘱其接续完成的学界轶事。Wikipedia 的“Huang Kun”条目谓黄昆是在 1949—1951 年间和玻恩合作撰写的《晶格动力学理论》, 可能有误; 玻恩自己写的序则明确指出黄昆 1951 年回到中国后, 还继续从中国寄去最新撰写的稿件。1954 年英文版的《晶格动力学理论》没有黄昆先生的序, 殊为可惜。1989 年 11 月, 《晶格动力学理论》一书中文

译本在北京出版。黄昆先生为译书撰写了说明，指英文版是1947—1951年间在英国撰写的，最后一章的修订稿则是1951年回国后完成的。该书本拟英文、中文版同步出版，“但由于书的内容比较专一，当时对我们来讲，还不是一本迫切需要的书，翻译出版要花许多力量，未必值得。”这样一本在国际上都备受推崇的固体物理经典，其作者自己说当时翻译出版未必值得，不想一晃35年过后中文版才得以面世，想来怎不令人唏嘘。黄昆先生写道：“固然我担任了全书的写作，并且在解决一些主要问题上进行了工作，然而玻恩教授的工作仍旧在书中保持了主导的作用。不仅玻恩的手稿确定了普遍理论的轮廓以及其中部分的主要内容，而且全书所总结的内容，包括书中新发展的理论，也主要是以玻恩教授本人以及他的学派几十年来在晶格理论方面的工作成果为基础的。”黄昆教授坦诚遗憾的是本书未能纳入苏联科学家在晶格动力学方面的工作，这一点，我国学者在阅读本书以及修习晶格动力学相关学问时请给予适当的关注。

玻恩和黄昆所著的这本 *Dynamical theory of crystal lattices*，长期以来在国际固体物理学界被奉为经典，牛津大学出版社到1985年还继续再版该书。这本书不是普通意义上的教科书，而是和狄拉克(P. A. M. Dirac, 1902—1984)的《量子力学原理》一样，是那种学问创造者对一门学问的阐述，更见价值的地方在于对问题的分析以及对解决问题所采用之方法——往往是创造性的——的讲述。有种说法，这本书也保有克莱因、希尔伯特、福格特、玻恩等人的哥廷恩传统，即相对论与固体物理的融会贯通，这在很多学者看来可能是出乎意料的。关于这一点，请读者们在阅读本书尤其

是第五、第六章时留心，自行判断。

固体物理学是一门最独特的学问。固体物理学对于物理学以及人类社会的进步，尤其是后者，具有不可估量的重要性。大学物理系设置《固体物理》这门课太有必要了，这对于为其他学科培养研究者以及造就服务于技术化社会的劳动者都具有特别的意义。实际上，固体物理的蓬勃发展本身就得益于工业的强烈刺激。固体物理面对实在的而非假想的物体，实事求是这门学科的实践者们可以遵循的优良作风。固体物理学还是那种对预备知识不设限的学科。学习固体物理，首先要有几何学与量子力学的底子。理解固体可能的原子排列方式以及原子有序排列本身对固体该具有何种性质的决定性作用要求具备群论的基础知识，这包括只涉及几何概念的点群、空间群(不只是二维、三维空间的，而是包括更高维空间的，否则以后没法研究准晶)以及纳入了物理参数，比如自旋，的色群。另一个必备的基础是量子力学。固体是量子力学，包括后来的量子场论，施展拳脚的舞台，量子理论应用于固体物理所激发出的新概念也反哺量子理论的发展。当然了，弹性理论、流体理论以及关于声、光、电、磁、热等各种物质性质的理论，也都有助于深入理解固体物理或者说也都需要固体物理的知识才能深入理解。有幸的是，笔者本科期间修习了《固体物理》，硕士期间修习了《固体空间群》、《固体理论》等课程；遗憾的是，费时多年却未得固体物理之真谛。除开笔者个人愚懒的因素外，那教科书未必就是无辜的。记得笔者大四修习固体物理时，那课本是本校印刷厂在黄色粗草纸上油印的，字迹凌乱。尤其值得一提的是，该书没有作者名。后来的一些固体物理相关

教程用书质量有所提高，但依然缺乏对学问从起源处的引导，且总是失于杂散凌乱、不得要领。如今回顾往事，思考再三，我觉得不能强求一本书足够系统、足够绵密。欲得知识扎实，修习者博览群书恐怕是必要的，博览群书而后自己去建立自以为尚称满意的知识体系。从学习者的角度，我主张“宁愿知深而困惑，不可浅尝而愚顽”，学习者以及知识呈现者双方都以走求全求深的路线为宜。所谓“取法乎上、得乎其中；取法乎中、得乎其下”，赫然古训，不惕然于心乎。玻恩毕竟是开创学问之大家，当年其着手撰写《晶格动力学理论》时，便“计划是从量子理论的最一般原理出发，用演绎的手法得到晶体的结构与性质，能走多远走多远”。这种“能走多远走多远”的气度与能力，与其作为一派之宗师的身份是相符的，也是他深得学界敬仰的原因。黄昆先生高才，在1937—1944年间在国家遭敌寇侵略的战乱岁月里完成了大学与硕士阶段的学习，接着在1945—1948年间于异国完成博士学位，深得莫特、玻恩这种宗师级人物的赏识，甚而至于在1947年蒙玻恩以个人著作手稿相托。黄昆先生完成《晶格动力学理论》时不过是刚过而立的32岁，其学问之精深，不以其对固体理论的精准掌握以及发展出Huang—Born近似等成就而论，只这流畅的英文撰得来420页的洋洋洒洒，又几人能够？笔者赧颜，万不得已不愿论及此事。

玻恩、黄昆所著《晶格动力学理论》是固体物理学的经典，值得向所有修习固体物理的学者推荐。吾国未来此方向上进学的学子们，当拨冗研读此书，注意从这本经典中学习知识、创造知识的方法以及知识创造者所拥有的学者气度。果如此，先贤之学术衣钵可传，诚为幸事哉！