

量子力学教学与创新人才培养*

曾 谨 言

(北京大学物理系 北京 100871)

编者按 本文为北京大学物理系曾谨言教授为其《量子力学》(第三版,科学出版社 2000 年 1 月出版)撰写的序言.该序言在对量子力学的发展作出精辟评述的同时,也对量子力学的教学改革提出了自己的见解.现征得作者的同意,在我刊“物理教育”栏转载,作为关于“四大力学”教学改革的讨论之一.我们欢迎广大读者继续参与“四大力学”教学改革的讨论,将您的宝贵心得与物理学同行交流、分享.

今年,我们迎来了量子论诞生 100 周年.量子力学的建立,也已历 70 余载.量子力学与相对论的提出,是 20 世纪物理学两个划时代的成就.可以毫不夸张地说,没有量子力学与相对论的建立,就没有人类的现代物质文明.

“原子水平上的物质结构及其属性”这个古老而基本的课题,只有在量子力学理论上才原则上得以解决.可以说没有哪一门现代物理学的分支及相关的边缘学科能离开量子力学这个基础.例如,固态物理学、原子与分子结构和激光物理、原子核结构与核能利用(核电技术和原子弹)、粒子物理学、量子化学和量子生物学、材料科学、表面物理、低温物理、介观物理、天体物理、量子信息科学等,实在难以胜数.

然而在量子力学建立的早期年代,很少人意识到这个基本理论的广阔应用前景.当时,很少人能认识到,有朝一日量子力学会提供发展原子弹和核电技术所必需的理论基础.同样,也很少人想到基于量子力学而发展起来的固态物理学,不仅基本搞清了“为什么有绝缘体、导体、半导体之分?”“在什么情况下会出现超导现象?”“为什么有顺磁体、反磁体和铁磁体之分?”等这些最基本的问题,还引发了通信技术和计算机技术的重大变革,而这些进展对现代物质文明有决定性的影响.

但事情到此并没有完结.尽管量子力学基本理论体系已在 20 世纪 20 年代建立起来,尽管正统的量子力学理论在说明各种实验现象和在极广泛领域中的应用已取得令人惊叹的成就,但围绕量子力学基本概念和原理和理解及物理图像,一直存在激烈的争论.我们兴奋地注意到,近年来量子力学在实验

和理论方面又取得令人瞩目的新进展.在国际上一些权威性学术刊物(如《Nature》《Science》、《Phys. Rev. Lett》等)上不断出现一系列报道.一方面,关于量子力学基本概念和原理的争论,已从思辨性讨论转向实证性研究[包括 EPR 佯谬, Bell 不等式,量子力学中的非定域性的实验检验, Schrodinger 猫态在介观尺度上的实现,纠缠态概念与路径(which-way)实验,作为描述系综的波函数的实验测量等],这些成果将有助于人们重新理解量子力学的基本概念和原理,以及量子力学和经典力学的关系.另一方面,一系列新的宏观量子效应不断被发现,例如,继激光、超导、超流现象、Josephson 效应等之后,近年来发现的量子 Hall 效应、高温超导现象、Bose-Einstein 凝聚等,相关的应用技术也正在迅速开展.估计在 21 世纪初,量子力学的实用性会更加明显,一批新的交叉学科将应运而生,例如,量子态工程、量子信息科学等.

所有这些新的进展给人们两个印象:一是量子力学基本概念和原理的深刻内涵及其广阔的应用前景,还远未被人们发掘出来,在我们面前还有一个很大的必然王国.量子力学的进一步发展,也许会对 21 世纪人类的物质文明有更深远的影响.另一方面,人们看到,量子力学理论所给出的预言,已被无数实验证明是正确的.当然,人们对量子力学基本概念和原理的理解还会不断深化,但可以相信,至少在人们现今对物质存在形式的概念下,量子力学的理论体系无疑是正确的.

为适应量子力学近年来的这些新进展,本书第

* 2000 - 04 - 11 收到

三版(特别是卷Ⅱ)做了较大幅度的修改.卷Ⅰ适合于作为本科生学习量子力学的进一步深入的参考书,卷Ⅱ则可作为研究生高等量子力学课的主要参考书.青年物理学工作者在学完本书后,可以比较顺利地进入与量子力学有关的各前沿领域的研究工作.

本书是根据作者在北京大学从事量子力学教学和研究40年经验写成的.作为一个教师,我愿对同行教师和同学们讲讲自己的对教学的一些看法.

教师的职责是从事教学.教师教学生,教什么?如何教?学生要学,学什么?如何更有效地学?我认为一个好的高校教师,不应只满足于传授知识,而应着重培养学生如何思考问题、提出问题和解决问题.

这里涉及到科学上的继承和创新的关系.中国有句古话:“继往开来”,说得极好,很符合辩证法.我的理解,“继往”只是一种手段,而目的只能是“开来”.诚然,为了有效地进行探索性工作,必须扎扎实实继承前人留下的有用的知识遗产.但如就此止步,科学和人类的进步自何而来?有了这点认识,我们的教学思想境界就会高得多,就别有一番天地,就把一个人的认识活动汇进不断发展的人类认识活动的长河中去了.

基于这点认识,教师就会自觉地去贯彻启发式的教学方式.学生学一门课,学的是前人从实践中总结出来的间接知识.一个好的教师,应当引导学生设身处地去思考,是否自己也能根据一定的实验现象,通过分析和推理去得出前人已认识到的规律?自然科学中任何一个新的概念和原理,总是在旧概念和原理与新的实验现象的矛盾中诞生的.讲课虽不必要完全按照历史的发展线索讲,但有必要充分展开这种矛盾,让学生自己去思考,自己去设想一个解决矛盾的方案.在此过程中,即使错了,也不要紧,学生可以由此得到极为宝贵的独立工作能力的锻炼.如果设想出来的方案与历史上解决此矛盾的途径不一样,那就更好.科学史上殊途同归的事例是屡见不鲜的.对这样的学生,就应格外鼓励.他们比能够原封不动地重述书本的学生要强百倍.

学生有了这点认识,就不会在书本和现有理论面前顶礼膜拜(“尽信书不如无书”),而是把它们看成在发展中的东西.一切理论都必须放在实践的审判台前辩明其真理性.我们提倡,对待前人的知识遗产,既不可轻率否定,也不可盲目相信.这样,学生就敢于在通过思考之后对现有理论或老师所讲的东

西提出怀疑.这对于培养有创造性的人才是至关重要的,也是应提倡的学风和师生关系(所谓“道之所存,师之所存也”,亦即“吾爱吾师,吾尤爱真理”).还应该在学习中提倡讨论的风气. Heisenberg 说过:“科学植根于讨论之中.”

要真正贯彻启发式教学,教师有必要进行教学与科学研究.而教学研究既有教学法的研究,但更实质性的是教学内容研究.

从教学法来讲,教师讲述一个新概念和新原理时,应力求符合初学者的认识过程.真理总是朴素的.我相信,一切理论,不管它多困难和多抽象,总有办法深入浅出地讲清楚.做不到这一点,常常是由于教师自己对问题的理解太肤浅.此外,讲述新概念,如能与学生学过的知识或熟悉的东西联系起来讲,进行类比,则学习的难度往往会大为减轻,而且学生对新东西的理解也会更深刻.

在教学内容上,至少对于像量子力学这样的现代物理课程来讲,我认为还有很多问题并未搞得很清楚,很值得深入研究,决不可人云亦云.吴大猷先生在他的《量子力学》(甲部)的序言中批评不少教材“辗转抄袭”,这并非夸张之词(例如国内广泛流传的布洛欣采夫的《量子力学原理》书中提到:基于波函数的统计诠释,从流密度的连续性即可导出波函数微商连续性,但这种论证是错误的).教师如能以研究的态度来进行教学,通过“潜移默化”,学生也就会把这种精神和学风带到他们尔后的工作中去,这就播下了宝贵的有希望的种子,到时候就会开出更美丽的花朵,并结出更丰硕的果实(“青出于蓝而胜于蓝,冰生于水而寒于水”).

高校教师,除教学之外,还很有必要在某些前沿领域进行科学研究.一个完全没有科研实践经验的人,对于什么是认识论,往往只会流于纸上谈兵.对于人们怎样从不知到知,怎样从杂乱纷纭的现象中找出它们的内在联系,则一片茫然.有科学实践经验的教师,在讲述一个规律或原理时,一般会注意剖析人们怎样从不了解到了解它的过程,而不是把它看成一堆死板的知识去灌输给学生.我自己有过多此体会,即当讲述一个问题时,如果自己在该问题有关领域做过一定深度的工作,讲起来就“很有精神”,“左右逢源”,并能做到“深入浅出”,“言简意赅”.反之,就只能拘谨地重述别人的话,不敢逾越雷池一步.

高校教师从事科学研究还有两个有利条件:一是有可能触及学科发展中某些根本性的问题,这对

于只搞科研而不从事教学的人,往往难以注意到它们.另一有利条件是能广泛接触很多年轻学生(本科生和研究生),他们是一支重要的新生力量,受传统思想的束缚较少.教师在教他们的过程中,往往会得到很多启发.历史上有不少科学家,在大学生或研究生阶段,就已对一些科学问题作出了重要贡献.例如,R. P. Feynman 的量子力学路径积分理论,就是他在研究生阶段完成的.有鉴于此,我在教学中,对改革考试制度做过如下的尝试:即在适当的时机,向同学们提出一些目前人们还不很清楚,而学生已有基础可以进行探讨的问题,如哪一位同学能给出一个解决的方案,就予以免试,给予最优秀的成绩.出乎意料,有一些问题竟被少数聪明而勤奋的学生相当满意地解决了.有人也许会说,这样的问题不太好找.但我的经验表明,只要这门学科还在发展,这样的问题就比比皆是,但它们只对勤于思考的人敞开大门.当然,这样的问题并不一定都非常重要,但对于培养创新人才却是非常有效的.

最后谈谈教材建设.也许有人认为,像量子力学这样一门学科,世界上已有不少名著,没有必要再写一本教材.但我认为只要科学发展不停顿,教材就应不断更新.量子力学虽然比较成熟,但并不古老.学科的发展和教材的建设还远没有达到尽头.我们充分尊重世界名著,但也不必被它们完全捆住了手脚,何况这些名著也不尽适合我国的教学实际情况.回想 50 年代,国内各高校开设量子力学课的经验还很

不足.当时北京大学有一些学生批评“量子力学不讲理”,“量子力学是从天上掉下来的”.这些批评虽嫌偏激,但也反映教学中存在不少问题.我从研究生毕业后走上讲台开始,就下了决心要改变这种状况.在长期教学实践和科学研究的基础上,写成了《量子力学》(上、下册,1981,科学出版社).90 年代初,又改写成两卷本.在撰写时,我结合教学实际,对基本概念和原理的讲述,做了一些新的尝试.实践证明,收到了较好的效果.出版之后,我先后收到 1000 多封读者热情的来信,给予了肯定,认为对提高我国的量子力学教学水平以及培养我国(包括台湾、香港、澳门地区及世界各地华裔)一代年轻物理学工作者作出了积极的贡献.该书先后十几次重版,仍不能满足读者要求.

岁月如流,40 年转瞬即逝,我们的祖国正欣欣向荣.但应该看到,我国的教育事业,与先进国家相比,还有较大差距.我们中华民族曾经有过光辉的历史,对人类的科学和文化作出过很多重大贡献.但近几百年来,我们落后了.一个国家,如果教育长期落后,就不可能强大繁荣,一个民族如不重视教育,就无法自立于世界民族之林.在此新世纪来临之际,我们必须不失时机奋起直追.这可能需要几代人的努力,作为一个教师,我寄希望于年轻一代.“十年树木,百年树人”.深信我们祖国群星灿烂、人才辈出的光辉前景,定会加速到来.