

量子力学教学探讨

刘萍云, 邹晓蓉

(国防科技大学 航天与材料工程学院, 湖南 长沙 410073)

【摘要】 本文主要针对材料学与工程专业及应用化学专业“量子力学”课程教学进行初步探讨, 以求提高教学质量。

【关键词】 量子力学; 教学质量

【中图分类号】 G642 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1672-8874 (2006) 01-0067-03

大学物理本科的理论物理专业课量子力学抽象、深奥、难学也难教, 对于非物理专业学生学习量子力学, 更增加了难度。作为四大力学之一的量子力学从概念到解决问题的方法跟经典物理有根本性的不同, 中学阶段少见到甚至没见到, 学生预习时觉得如看“天书”。本文介绍笔者在给材料及应用化学专业学生讲授量子力学过程中如何通过以下措施以求解决上述矛盾, 使学生在掌握基本知识的同时, 提高思维能力、扩展视野和提高科学素质, 以求抛砖引玉。

一、从学生实际出发, 紧扣大纲, 合理安排教学过程的三个阶段

考虑到学生的实际情况和需要, 量子力学教学大纲要明显不同于物理专业学生, 着重量子力学概念、规律和物理思想的展现: 对中学中含有的与量子力学有关的内容在层次上进行全方位拓宽、复盖和加深, 确保材料、应用化学专业教学及科研对近代物理知识的需要和要求, 注意科学人文精神的阐发, 为进行物理素质教育与物理理论相关科学研究提供量子力学方面的科学素养(如勇于创新、科学、严谨等), 对科学前沿热点和高新技术领域的成果和观点(如超导、纳米技术)旨在广泛地、定性或半定量地了解, 教学内容要与现代物理发展(如量子混沌)和21世纪教育发展态势(如研究性学习)相适应。

第一阶段是学生课前预习阶段。学生为主, 教师的辅助作用是发给学生教学指导意见, 主要包括该章节需掌握的重点难点等知识点内容, 还增补一定的与经典力学联系紧密的例题、思考题、练习

题, 为第二阶段中课堂教学打下基础。这样能充分发挥学生学习的主动性, 而且可以与经典力学对比学习。

第二阶段是课堂教学阶段。这一阶段老师为主, 有了第一阶段的基础, 也能充分发挥学生的辅助作用。在第一阶段的基础上, 结合例题、思考题、练习题, 要把量子力学的知识结构、应用结构和方法讲授给学生, 使他们对该章节内容有一个总体的认识, 并且着重讲授重点、难点、疑点。为第三阶段中独立完成该章的作业和下一章预习的思考题打下基础。

第三阶段是复习巩固阶段, 要求每学完一章学生独立完成该章作业及补充题, 老师通过批改作业及时与学生交流, 再根据学生的实际水平适当辅导答疑。并通过小考题的形式复习该章节内容, 也为后面课程章节内容的学习打下基础。量子力学给出了一套全新的思维模式和解决问题的方法, 为了完成从经典理论到量子理论思维模式的转变, 只是死记硬背概念和公式是不够的, 必须通过自己动手完成相当数量的习题才能学好这门课程。

二、关于量子力学的基本框架

一般一本量子力学的教科书包括了三个基本部分:

第一部分是关于粒子的波粒二象性。这部分主要分析人类是如何认识到微观粒子具有波粒二象性, 从而让初学者弄清楚微观粒子为什么有不同于宏观物体的运动规律。

第二部分是关于量子力学的基本原理。这是全书的核心内容, 学习这一部分内容要注意把握原理

【收稿日期】 2005-06-15

【作者简介】 刘萍云(1973-), 女, 湖南邵阳人, 博士研究生, 国防科技大学讲师。

的表述形式及原理的内容两方面。原理的内容包括有:关于微观状态的原理,关于力学量的原理,关于运动方程的原理,以及全同性原理。原理的表述形式是指上述原理可以采用不同的表象和绘景来描述。主要弄清什么是表象以及为什么会有不同表象等问题。

第三部分是关于运用基本原理解决的基本物理实际问题及其方法,一般地说量子力学解决的有两类问题,即粒子在有限空间的运动和在无限空间的运动,前者是束缚态问题,主要是定态问题;后者是散射问题。非物理专业学生主要讨论前者。

以上三部分内容是有内在联系的,粒子的波粒二象性是事实依据,量子力学的基本原理是核心,如何学会运用基本原理解决基本物理实际问题是关键。如果能对这三部分有融会贯通的理解,并能用精练的话准确描述出来,那么可以说对量子力学整体框架已有把握。

三、本着“少”而“精”的原则组织教学,精心备课,提高教学艺术

(一)充分利用量子力学发展史给我们的启示,学史以通今

对于非物理专业的理工科大学生,当他们在大学二年级开始学习量子力学的基本原理和应用时,往往习惯于用经典物理的概念和图像来理解。特别是,量子力学仍然在发展之中,一些新领域仍然在进行探索,初学者更容易感到无所适从。如果处理得当,这将为我们培养学生的创新能力提供很好的舞台;否则,就有可能造成误解和混乱。与力学、电磁学甚至相对论的建立不同,量子力学的建立所依靠的是一大批精英科学家的共同努力。尽管其中有十多位获得了诺贝尔物理学奖,但没有一个人或者一个学派是“一贯正确”的。为了对量子理论有一个较准确的总体评价,有必要从原始史料出发,对量子力学的建立和发展进行实事求是的分析,特别是对量子理论的一批创始人早期的概念发展有一个准确而明白的理解,弄清楚到底哪些概念和原理是已经证明为正确并得到公认的。

量子力学是公认的大学课程中涉及诺贝尔奖事件最多的课程之一。引导学生学习诺贝尔奖背后的许多创新事例,让学生领会诺贝尔奖获得者在处理这些科学问题时的思想和方法,就相当于学生与这些圣贤们的直接对话,其培养创新型人才的功效是不可低估的。量子力学的建立和发展是众多杰出工作者创造性思维、创新能力的荟萃。他们那种勇于

创新的精神、杰出的实验才能和敏锐的洞察能力都值得我们去学习。以史为鉴,从前人那里发现智慧,从前人那里受到启迪。在量子力学的教学过程中,结合知识的传授,抓住典型事例,有目的、有意识地引导学生深入思考,从中受到有益的启示,从而对学生进行创新意识、创新思维的培养。这也许是对学生进行素质教育的最佳方式。

(二)充分应用类比方法讲述量子力学中抽象的概念和物理图像

经典力学是量子力学的极限情况,尽可能找到“经典对应”,与之比较,有助于正确理解量子力学物理图像。从光电效应、康普顿散射和光子的引力红移(或紫移)说明光的粒子性,从光的单缝(双缝)衍射(干涉)和X射线在晶体面上的衍射说明光的波动性,学生易于掌握光的波粒二象性;由统一性原理解微观粒子和光子一样也具有波粒二象性;再以类比光的行为,来理解微观粒子的行为。例如,类比于光子的行为,从描述光子(电磁场)的波函数 E 的可迭加性和 $|E|^2$ 正比于光的强度(出现几率)来理解波函数的迭加原理和统计意义,这样以光的波粒二象性引入,类比展开说明微观粒子的性质。同时讲清量子力学与经典力学在观念、概念和方法上的不同和联系。例如,量子理论的创立破坏了牛顿力学的决定论观点,代之以统计观点。描述微观粒子运动状态的态函数遵循态的叠加原理,导致力学量状态的不确定性,不确定关系说明微观粒子的力学量一般不具有确定的数值,存在着统计分布。又如,不同于经典力学用位矢、速度描述物体的状态,量子力学用波函数描述系统状态;不同于经典力学用牛顿第二定律描述状态变化,量子力学用薛定谔方程描述状态的变化。另外对于量子力学中的波粒二象性概念、态迭加原理、统计原理等等都与经典力学中的相关概念区分开来,类比说明,阐明清楚其真正内涵。

(三)活跃教学气氛,师生互动、生生互动

从量子力学诞生的时刻开始,尽管其数学结构严谨,但许多科学家怀疑它并不是一个完备的物理理论。如何理解它的基本概念和基本规律,一直存在着深刻而激烈的争论。近20年来,这种争论已经从纯思辨的讨论发展成为依靠实验的实证研究了。这类关于量子力学基础的研究工作,现已成为当代物理学中非常活跃、非常有基本意义、甚至会产生革命性进展的领域。

避免课堂成为老师一言堂,鼓励学生提问,进行逆向、非规范思维。多利用网络资源,告诉学生

优秀网址，了解最新动态发展。促进学生探索性学习。在课堂上巧设、多设问题，举一反三，力争课堂内容课堂消化吸收。讨论教学法、征集新想法，听讲座，参加学术讨论会、开阔学术视野。为照顾不同基础、不同学习能力的学生，可组织、培养学习骨干。老师重点指导骨干，引导他们担当起班上互相讨论、答疑、解惑、沟通协助的作用，弥补老师不足。增强学生和老师的感情交流，注重人文关怀，增强学生善待环境、善待他人、合作互助的意识等。

(四) 尽量利用简单(化)的方法解决复杂的物理问题；精讲精练

对于材料化学专业学生除数学物理基础相对较差外，应用量子力学原理求解物理实际问题时，学生中最大的弱点就是缺乏自信，遇到困难就退缩，思考问题不讲究方法，不作深入细致的分析，容易产生“想当然”，解题不讲规范，不知分类型，沿用普通物理方法学习量子力学等。

教师可把学生提出的问题逐步简单化，逐渐演化、分解到类似的一个(个)简单的问题上去，让他们自己能够解决或基本击破。同时，教师又要把学生提出的问题进一步复杂化，提高学生解决复杂问题的能力。从基本假设、公式出发解题，不能想当然等。对于重点需要学生掌握的知识，由于教学时间短，要进行精讲精练，使得学生能举一反三。

讲授过程中现象描述与理论分析并重，典型的做法是从简单具体的实例中得出结论，然后把这结论推广，并指出其适用范围，尽量用简单的高等数学推算。例如对于 Schrodinger 方程的建立，先寻求自由粒子的态函数是如何随时间演化的，得出规律的基础上加以推广。

重视基本的数学推演，发挥数学思维在物理思维中的论证作用。必要的数学证明还是需要的，要相信数学推理的正确性。例如，对于量子力学一些基本原理的引入，如量子力学力学量的算符化规则引入，在一般的教材中，是以假设的形式引入，让学生觉得非常牵强，以至于产生对整个量子力学体系的怀疑。对这样的简单而又非常关键的知识点，必须利用基本的数学推演。又如对于无限深势阱求解问题，由于求解的数学方法及过程均较简单，故要求掌握其整个过程，求出其归一化波函数及相应的分离能量值。而定量分析尽量只用简单的高数和

微积分、常见的常微分方程，对复杂的数学推导可以不作讲解(只对少数优秀生或感兴趣的个别辅导)。例如，在求解本征方程时，只介绍动量、定轴转子能量本征值的求解，对无限深势阱情况薛定谔方程可类比普物中简谐振动方程。对氢原子、谐振子能量本征值问题只重点介绍思路、方法和结论，不作详细推导。

(五) 尽量联系实际，构建不同类型的物理图像，帮助学生形象思维

由于量子力学抽象难懂，又是建立在一系列基本假定的基础之上，学生很难接受，甚至认为这门课程与自己无关，没有用处。在讲解过程中尽量联系实际，帮助学生形象思维。例如“物质波”概念的辅助图像可取自自由电子双缝衍射图像，而把电子波类比光波，由于学生熟悉光的波粒二象性，就容易把物质波看作是具体的了。再把光波经双狭缝从各种可能的途径到达观测屏类比电子波行为就可理解屏上电子波强度的强弱分布(或几率分布)。又如对于隧道效应，因其在固体物理及超导体等方面均有重要应用。可用它对金属电子冷发射的问题进行一下讨论，说明着重掌握透射系数。

同时，理论联系实际，多介绍量子力学知识与材料科学、生命科学、环境科学等学科的密切联系，重点介绍在材料科学中的广泛应用，包括新材料设计、开发新材料、材料成分和结构分析技术等。还介绍如何利用具有相当能量的离子束来研究材料的近表面性质，以改善表面的物理状态。并且介绍与量子力学密切相关的课题，如何改变甚至主宰材料的电子、机械、化学、光学、磁性或超导性质等，例如改善材料的耐磨性能，提高材料的硬度和强度等所产生十分明显的效果等科研知识。学生学习的兴趣和主动性就有所增加。

[参考文献]

- [1] 刘玲文. 军校特点与创新教育[J], 武警工程学院学报, 2001, (3).
- [2] 周世勋. 量子力学教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 1979.
- [3] 陈奋策. 普通物理函授教学探讨[J], 大学物理, 1999, (9).

(责任编辑: 范玉芳)