



# 物理专业课程的导游式教学探索\*

陆爱江 杨沁玉 伍滨和

(东华大学理学院物理系 上海 201620)

(收稿日期:2018-12-27)

**摘要:**物理专业课程的授课方式需要寻求突破,可以借鉴职业导游的工作模式.教师在课前做好出行准备即教学规划,课堂上引领,包括必要的讲解和启发,让学生融入问题之中,在体验中学习知识,可以有效地提高教学效果.包括对成绩的考评,也要有意识地让学生融入其中,可以在辩论中、在互相补充中加深对知识的理解和记忆.专业课任课教师通过这类教学探索,会有效地提高教学质量,在教学活动中得到学生的肯定.实践表明,导游式教学不失为一个成功的尝试.

**关键词:**导游式教学 物理专业 量子力学 升降算符

物理专业课程难度高,很多学生学习兴趣不高,教师教授的模式单一,难以有所突破,等等,可能是目前物理专业教师所普遍面对的问题.那么,作为一线教师的我们,是不是应该思考一下,在目前的教学环境下我们应该做出什么样的改变,才能更好地把知识传授给学生,把学生的主动性调动起来,达到更好的教学效果呢?很多教师针对这一问题提出自己的见解和设想<sup>[1~4]</sup>.

## 1 导游式教学方法

### 1.1 方法的提出

我们先来分析一下目前的教学环境.笔者这里所说的不是教室、实验室等硬件环境,而是学生和教师共同所处的一个“软件”环境.

首先从社会需求角度来讲,目前用人单位对工科人才的需求量较大,企业薪资等较有吸引力.很多学生和学生家长都以为学习物理属于偏理轻工,毕业后就业困难,或者收入不高,主观上不愿意选择物理专业.

其次,由于物理专业的报考这些年一直比较冷门,很多进入物理系的学生第一志愿并非物理专业,

所以基础薄弱、学习兴趣不高也是自然.

第三,由于物理专业课程确实难度较大,对逻辑思维能力和计算能力等要求都比较高,很多学生学习上有困难也是在所难免.

第四,在授课方式上物理专业的教师讲课重视知识点的灌输,侧重公式的推导,较少考虑学生的融入,所以经常会出现教师写了几黑板,而学生完全不知所云的情况.

第五,由于就业等指标的压力,物理专业课程为了保证及格率,考试难度降低,有些较难的内容不讲或少讲,也造成了课程体系的不完整.

第六,现在有很多网课,比如“XXX讲量子”,可能用20 min就把量子课程“戏说”一遍.笔者不是不认同这种网络教学,但是对于这种快餐文化的产物有些担忧.网课对于一般人做科普是非常好的,但是我们的专业学习绝不能停留在这个高度.因为学生总是认为听过这些课后他已经掌握了,而实际上基本概念都不清楚,更不要指望他正确地应用了.而我们的课堂教学要和这些图文并茂的网课竞争也的确不容易,这就要求我们要思考一些新的方式方法,应用到我们的教学中去.

\* 国家自然科学基金资助,项目编号:11204030

作者简介:陆爱江(1979-),女,博士,副教授,主要从事大学物理、量子力学课程教学和材料计算工作.

笔者认为,导游式教学也许是一种有益的尝试.

## 1.2 导游式教学方法的内容

导游,根据词典上的解释<sup>[5]</sup>为:带领游览,指导游览.所以大家可能都熟悉导游的工作模式——带领旅游团体进入景点,介绍景点,带队观光,确保团体安全和景点间的接驳,收取相关费用.那么游客会在导游的辅助下走进/走近景点,切身体验和感受,游玩之后会形成美好的回忆,甚至向他的亲朋好友推荐或介绍景点的一二.笔者认为,如果我们的专业课程也能达到这样的效果,比如让学生进入知识体系,参与其中,从而发出思考,得到结论,形成记忆,并学以致用,不是我们向往的教学效果吗?那么我们,授课教师,是不是可以借鉴导游的工作模式,在课堂上实现“带领游览和指导游览”的作用呢?具体而言,教师需要体现以下的作用:出行准备(包括规划路线、熟悉景点)、引领游历、指导游玩(包括讲解和体验)、开放式评判.而学生只要配合“导游式”教学,就可以在其中体验到浸入式学习,达到较为理想的学习效果了.

## 2 导游式教学方法的实践

笔者结合自己的课堂实践对这一模式做出了探索,细节方面尚有很多不足,但希望达到抛砖引玉的效果,有助于大家在物理专业课教学中寻找突破.笔者这里结合量子力学课程中的内容“升降算符”的讲解过程,谈谈教学方法的探索和效果.

### 2.1 出行准备

作为导游,出发之前需要对即将游览的景点足够熟悉,包括关于景点的地理知识、人文典故、历史渊源等做出了解,而且必要时自己要实地考察,对游览路线做到心中有数才可以安排合理的路线和进行游览时间的准确规划.

物理专业课的授课,一样需要教师做好授课规划.某一节课要讲什么(目的地),什么是重点(重要景点),计划怎么讲授(抵达路线和观赏角度),何时启发学生做出思考(何处逗留,留给游客做充分体验).要做好这样的课前准备并不轻松.首先对整个课程要有一个整体的把握,这一堂课的内容在整个

课程中处于什么地位,和别的内容有什么关联,教师要对脉络足够清楚.对课程相关知识进行调研和准备,包括物理学史、科研进展,等等,让自己知道课堂上“有故事可讲”.

“升降算符”是我们在讲解过一维谐振子的解析求解之后要介绍的数值求解的一种新思路,所以我们在讲解时一定要突出这个角度的“新”.因此,在教学设计时就要突出这种思考的角度.对于问题的背景则只需要复习之前的一维定态问题的相关知识,起到承前启后的作用即可.升降算符方法是薛定谔在20世纪40年代提出的,它是一个数学的产物,但是又巧妙地成为了一个重要的物理工具.我们知道升降算符在角动量、二次量子化中有重要应用,所以对升降算符的介绍应该是初等量子力学必须讲解的内容.

笔者注意到不同的教材出于不同的考虑,对升降算符的介绍放在不同的章节<sup>[6~9]</sup>.对于课时不多的学校,较为赞同放在算符这一章节,在“能量表象”的讲解之后.这样在能量表象下讨论一维谐振子,才会顺理成章地得到能级的递增或递减.

### 2.2 引领并指导游历

作为导游,出发之后要以原计划的节奏带领大家游览,重要景点留足游玩时间,而同时不要忽视了沿途的风景.恰到好处的典故可以提升景点的文化品位,也容易给游客留下深刻印象.

物理专业课程的引领更是如此,内容的安排一定要重点突出,有所取舍,带领学生一起体验,包括逻辑推导和数学计算.人文内容的引入可以有效地调节课堂气氛,而且容易让学生产生联想记忆,笔者认为是非常值得引入的.比如提到薛定谔的贡献,就可以再次强化“薛定谔的猫”的图像,让学生对叠加态、本征态等基本概念做更充分的理解.重点的内容要舍得花时间,让学生举一反三,真的理解相关知识.让学生体验,不仅仅是做题目操练,而是在适当的问题下让他们自己出击,一步一步找到结论,只有这样的体验是最有利于学习的.同时,就像游览中的沿途风景,我们在授课过程中也要注意,把来龙去脉交代清楚,有助于学生提高逻辑严谨度.

在此,我们借鉴了 Griffiths 的教材中对升降算符方法的引入<sup>[8]</sup>,同时用黑体标注导游式教学的阶段任务。

**引领游历:**对一维谐振子写出哈密顿量,复习之前的内容,写出

$$\hat{H} = -\frac{\hbar}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + \frac{1}{2} m\omega^2 x^2 = \frac{1}{2m} [\hat{p}_x^2 + (m\omega\hat{x})^2]$$

此时相当于导游带领游客来到了景点。

**指导游览:**针对括号里的内容,启发学生联想复数的运算

$$u^2 + v^2 = (iu + v)(-iu + v)$$

同时考虑到动量算符的运算形式,可尝试组合出算符

$$\hat{a}_{\pm} \equiv \frac{1}{\sqrt{2\hbar m\omega}} (\mp i\hat{p}_x + m\omega\hat{x})$$

提醒学生,这只是两个数学组合的产物,它们互为厄密共轭而已。类似于导游指出游玩的路线,交代好注意事项,游客们可以进入景点,自行体验了。

**引领游历:**让学生分组计算  $\hat{a}_- \hat{a}_+$  和  $\hat{a}_+ \hat{a}_-$

$$\hat{a}_- \hat{a}_+ = \frac{1}{2\hbar m\omega} (i\hat{p}_x + m\omega\hat{x})(-i\hat{p}_x + m\omega\hat{x}) = \frac{1}{2\hbar m\omega} [\hat{p}_x^2 + (m\omega\hat{x})^2] - \frac{i}{2\hbar} [\hat{x}, \hat{p}_x]$$

$$\hat{a}_+ \hat{a}_- = \frac{1}{2\hbar m\omega} (-i\hat{p}_x + m\omega\hat{x})(i\hat{p}_x + m\omega\hat{x}) = \frac{1}{2\hbar m\omega} [\hat{p}_x^2 + (m\omega\hat{x})^2] + \frac{i}{2\hbar} [\hat{x}, \hat{p}_x]$$

让学生们去发现,这个结果和哈密顿量有什么关系。

由基本对易关系  $[\hat{x}, \hat{p}_x] = i\hbar$  得到

$$\hat{H} = \hbar\omega \left( \hat{a}_- \hat{a}_+ - \frac{1}{2} \right) = \hbar\omega \left( \hat{a}_+ \hat{a}_- + \frac{1}{2} \right)$$

所以,指导游览提出问题1:算符  $\hat{a}_+$  和  $\hat{a}_-$  对易吗?

学生回答:不对易,而且  $[\hat{a}_-, \hat{a}_+] = 1$ 。

到目前为止,所有的计算都靠学生来完成,学生认为是自己找到了这个升降算符的关系,印象会很深刻。

接着,由  $\hat{H} = \hbar\omega \left( \hat{a}_+ \hat{a}_- + \frac{1}{2} \right)$  联想一维谐振子

能量本征值  $E_n = \hbar\omega \left( n + \frac{1}{2} \right)$ , 让学生预测粒子数算符。

此时就相当于导游告诉游客:已经到了半山腰,想要看到山顶的景致大家要顺着天梯爬上去哦!

教师进一步引领游览,适时提出问题2:若有本征态  $\Psi_n$  满足  $\hat{H}\Psi_n = E_n\Psi_n$ , 请学生试探  $\hat{a}_+\Psi_n$  是否满足薛定谔方程。

$\hat{H}(\hat{a}_+\Psi_n) = (E_n + \hbar\omega)\hat{a}_+\Psi_n$  的结果表明  $\hat{a}_+\Psi_n$  也是哈密顿量的本征态,且本征能量增加  $\hbar\omega$ 。对一维谐振子,这样的能量值恰好为  $E_{n+1}$ 。所以反复此过程,能级依次上升。即为升算符的名称起源。

降算符留给學生讨论,其结果的准确性完全不用担心。

此时指导游览提出问题3:能级的升降是无限的么?

结合降算符对基态的作用,我们就可以得到基态波函数。而在基态波函数的基础上作用升算符,即可得到全部本征解。这一过程完全不像之前解析求解的方式,所以要让学生们停下来回顾一下。这种递推的思想非常重要,它也是数值计算中常用的一种方法。比较之前的解析求解,让学生自己评判方法的优劣。

这时就像导游和大家一同在山顶感受“一览众山小”的心情。

接下来就是研究怎么去用这个奇妙的升降算符了。教师可以指导游览抛出若干问题,让学生用升降算符去解决,小组讨论之后由教师点评总结。

就好比游览过程即将结束,稍事休息后,大家准备下山。教师可以为之后的角动量算符讲解做好伏笔,大概也相当于导游为下一个景点做宣传吧。

### 2.3 开放式评判

导游式教学要求评判机制也要做出相应的调整。

物理专业课往往是一张考卷“定乾坤”,这种评判机制其实存在很多弊病。特别是高校的考试体制,学生一般是在期末参加考试,之后会看到自己该科目的分数,而自己的试卷做得如何,教师到底怎么评判的无从知晓。学生也往往只在应考前才会看书,平时不愿多花时间,考完之后就抛在脑后。所以我们要

在授课过程中打破这种制度. 例如开设期中考试并发放批阅的试卷, 让学生看到自己的试卷, 看到教师评判的依据; 让学生互相评判, 在给别人找错误的同时可以加深学生自己对问题的理解; 让学生给教师评判, 比如某个知识点这么讲好不好, 好在哪里, 不好在哪里, 可以如何改善. 应该说, 这是最直接的“教学相长”. 我们增加课堂讨论, 学生也掌握一部分评分的权重, 对他们掌握知识和学会甄别是一种较为全面的锻炼.

而身为“导游”的我们, 经过这一次的旅程, 一定有了不一样的收获, 对下一次的出行, 一定有很多值得借鉴的地方.

#### 2.4 教学反馈

经过两个教学年度的摸索, 笔者看到学生对相关内容的掌握有明显的提高, 特别是对该课程的兴趣度明显有所提升. 学生对教师的教学评价也较为积极, 说明大部分学生对这样的教学方法是欢迎的, 是持肯定态度的. 这也坚定了我们的信心, 会在今后的教学规划中坚持和适当增加这样的尝试.

### 3 值得推广的创新方法

导游式教学突出教师的“导”和学生的“游”, 给学生一定的自由度, 才能让学生融入到教学中来. 而

且, 这种互动教学是任何网络教学所不具备的, 应该是课堂教学的最大优势, 是我们应该发扬光大的方面. 当然, 可能不是每个知识点都适合这样的教学方法, 但是适当增加学生自主学习的比重, 应该是我们教学方法创新的必然选择.

#### 参考文献

- 1 呼和满都拉, 刘京, 杨洪涛, 等. 物理学专业课程教学改革之我见. 课程教育研究, 2016, 10(1): 153 ~ 154
- 2 李子敬, 张素红, 王晓颖, 等. 一种新的大学物理授课方法. 物理与工程, 2008, 8(3): 56 ~ 57
- 3 唐一鸣. 物理教学艺术论. 南宁: 广西教育出版社, 2002
- 4 喀兴林, 王锡绂, 李申生. 高等院校物理专业理论物理课程体系改革已势在必行. 大学物理, 1998, 17(3): 41 ~ 43
- 5 中国社会科学院语言研究所词典编辑室. 现代汉语词典(第7版). 北京: 商务印书馆, 2016. 265
- 6 曾谨言. 量子力学(第4版). 北京: 科学出版社, 1995. 393 ~ 397
- 7 钱伯初. 量子力学. 北京: 高等教育出版社, 2006. 150 ~ 157
- 8 David J. Griffiths. 量子力学概论(第2版). 贾瑜, 胡行, 李玉晓, 译. 北京: 机械工业出版社, 2009. 26 ~ 33
- 9 周世勋. 量子力学教程(第2版). 北京: 高等教育出版社, 2009. 111 ~ 114

## Exploration on Guider-liked Teaching Method in Physics Major Courses

Lu Aijiang Yang Qinyu Wu Binhe

(College of Science, Donghua University, Shanghai 201620)

**Abstract:** It's urgent to look for new teaching methods for physics major. The working mode of a guider was suggested as a good reference. The teacher needs to prepare for the lessons, arrange the content during the class, give talks and enlighten the students, let the students join in and obtain the experience themselves. Better teaching effect benefits from the experience during the study, debates and the evaluation of the others' work. It is an improved teaching method, and was shown as a success explorer during the education.

**Key words:** guider-liked teaching method; physics major; quantum mechanics; ladder operator