

# 物理教育观念之转变

## ——从“物理学科”到“物理科学”\*

罗洪刚<sup>†</sup>

(兰州大学物理科学与技术学院 兰州 730000)

2022-02-11收到

<sup>†</sup> email: luohg@lzu.edu.cn

DOI: 10.7693/wl20220310

结合物理学在自然科学中的基础地位以及国家对创新的需求,作者呼吁对物理学教育的观念要做出相应的转变,从单纯的“物理学科”的教育转变为“物理科学”的教育,充分发挥物理学在现代科学与技术发展中扮演的基础性作用。文章首先强调物理学的基础地位,之后主要讨论作者最近几年在兰州大学物理科学与技术学院推进和尝试的一些教学改革的情况,以及具体的做法、存在的问题、进一步的思考,供同行批评指正。特别希望引起教育管理者的关注,进一步重视基础学科的建设和发展。

### 1 时代背景与物理学的基础地位

在新时代,物理学应该能够发挥更重要的作用。对高等教育,大的背景是一流大学和一流学科建设,这是从2015年教育部发布文件开始做的事情,这几年应该说做得轰轰烈烈,取得了初步成效,一流大学的建设已经进入第二轮。回顾40多年前,国家亟需发展经济,实施改革开放的基本国策,经济规模迅速扩张,但其发展,特别是在改革开放早期,主要是粗放型的,高科技含量偏少。现在要强调高科技的含量,这是国家战略需求、创新创业所要求,更是大家经常提到的“卡脖子”问题所要求。物理学是基础学科,在现代社会的科技发展中扮演了非常重要的角色。物理学的核心规律不多,在给定条件下甚至是唯一的,但物理学的应用却是多样的。我们如果能抓住这一点,充分领悟了物理学所体现出来的物理学的思维、物理学的方法,也就是掌握了科学的思维、科学的方法,对提升国家的创新能力应该会有非

常大的作用。这一点不奇怪,因为物理学本来就是科学的核心学科。

关于物理学的教育,我们的前辈做出过许多努力。改革开放初期,李政道先生倡导并亲力亲为的“中美联合培养物理类研究生计划”,也就是CUSPEA考试,做了差不多十年,为国家培养了大批的人才。部分回国人员在一些单位发挥中坚作用,为国家的发展做出了很大的贡献。从20世纪90年代开始,国家实施理科基础科学研究人才培养基地,简称基地班,物理学也有基地班,兰州大学是比较早的开始有基地班的单位之一。2009年教育部又开始实施拔尖计划,最早也就是几所大学试点,到后来差不多有20所大学参加。2020年该计划升级成为拔尖计划2.0。还有2020年开始实施的强基计划等等。这些计划实际上是从国家层面提出的对拔尖人才、创新型人才的培养方式,显示了国家对高水平创新人才的渴求。还有很多高校在较早就思考怎么做好物理学人才的培养,如北京大学的“元培班”、清华大学的“基科班”,还有复旦大学、

上海交通大学、南京大学、中国科学技术大学等,他们都已经实施了较长时间,积累了非常丰富的经验,建议可适当总结,供同行单位借鉴。

为什么那么多单位重视物理学科的建设?物理学为什么重要?这跟物理学的基础地位有关系。在2021年10月22日的2020/2021秋季学术会议大会邀请报告上,吴岳良院士也指出物理学是自然科学的一个基础学科。此外,北京大学刘玉鑫教授和北京师范大学包景东教授在不同场合都有过类似的提法。刘玉鑫教授在北京大学内部的一些讨论中提过,自然科学学科可分为上游、中游及下游学科,我觉得这个提法是非常合适的,也非常自然。这就是讲源头,如果源头没有水,就不可能有下游的一条河。物理学应该是整个自然科学的上游学科。我们讲物理学的素养,其实从物理学早期发展来看,就是科学,所以谈物理素养,就是科学素养。关于人才培养,特别是我们国家现在面临需要更多创新,需要在人类的科学发展史上留下一笔的话,必须培养更多有创新能力,敢去做、敢去想的人才。所以,物理学科不应只是局限在物理学科自身,除了物理

\* 本文根据作者在中国物理学会2020/2021年度秋季学术会议(兰州,2021.10)物理教育分会上的邀请报告整理修订而成

学自身的发展,应该辐射到更多的学科,为更多的学科提供基础。北京师范大学包景东教授调研了中国科学院在北京的科研院所,发现有超过1/3的科研院所都是以物理学作为基础。即便从教育管理者的角度来讲,也不能把物理学简单当成一个单独的学科来看待,这是不够的。我们应该从“物理科学”<sup>1)</sup>的角度来看物理学科,这对一个大学,特别是理工科大学的建设有非常大的作用。这一点跟朱邦芬院士的观点,即“没有一流的物理学科的建设,要成为一流的大学,还是有难度”,高度一致。

根据个人观察和体会,兰州大学物理科学与技术学院历来是非常重视教学的。所以,重视教学,在兰州大学是有传统的。这是在建系建院过程当中,我们的老前辈,比如徐躬耦先生、段一士先生等,留下来的一些宝贵财富(图1)。段一士先生曾提到教学之道,“言简意赅,玉联璧合,集纳新说,返璞归真”。这些提法都是他们长期在教学科研工作中总结出来的一些经验和体会,应该作为我们学院的文化传承下去,对后面开展工作,提高办学

质量有非常重要地促进。段一士先生不只在教学方面,在其他如学习、科研、治学等方面都有很深刻和独到的体会。比如,学习之道:“少而精,精而深,深而悟,悟而得道”,提倡启发学生,要让学生多思考。学会思考很重要,因为知识性的东西非常多,而且随着积累的知识越来越多,学生在有限的时间内很难把所有的知识都掌握、都理解。所以,善于学习的关键是思考。在2020/2021秋季学术会议教育分会邀请报告中,刘玉鑫教授也提到,“我们的重点是要让学生多思考,让他们能开拓思维去想事情。”

这儿我想再强调一下老祖宗的告诫。我们现在也在做课程思政,当然课程思政有些原则性的要求,但如何做好课程思政,也是大家比较关心的问题。我个人感觉读《论语》,多了解一点孔子的言行,可能对我们非常有帮助。在这里我强调两点。一是孔子的智慧。孔子非常重视悟性,悟性其实就是会举一反三,说的更简单点就是会“照猫画虎”。很多事情,不是说我们必须经历了才能去做。经历过一件事,能从这件事中得出一些道理,

通过这个方式举一反三,这一点恰恰是我们需要向学生讲清楚的。如果学生都有很好的悟性,那我们的教学就简单了。孔子也提出“一以贯之”的思想。孔子“一以贯之”的思路,与我们物理学的思路高度契合,比如说物理学在讲规律,在适当的条件下,某个规律适用,在这个条件下,它就可以应用到其他场合。我想孔子讲的“一以贯之”用到物理学的话,就可以这样去理解。另外一点,就是孔子的忌讳:臆、必、固、我。这四个字我经常给同学、老师讲,这四个字是需要忌讳的。碰到这四个字中的任何一个字,都会给这个人的成长带来“天花板”。

刚才讲到物理学的“一以贯之”,如果体现在物理学的教学方面,我们怎么去做呢?基本思路如下:从选择研究对象到研究对象的描述、状态的描述,以及状态是否变化、变化的原因、变化的规律,有了规律之后能够进一步应用这个规律。个人认为,如果物理学要谈“一以贯之”的话,就可以按照这个思路去做。其实看看我们的教材,绝大部分教材也就是在按这个思路组织材料。序言部分一般要谈这门课程的研究对象是什么,怎么描述它,只不过经常放在前面,而且比较笼统,大家不够重视而已。从学生学习的情况来看,学生经常会局限在非常具体、非常细节的问题上,而对课程内容和科学问题的整体把握上欠缺。这块内容前面在教育分会上很多老师也都谈到了,关键点是教会学生怎么读书。

## 2 教学改革尝试

在这样一个背景下,物理教育必须要做一些改革,做一些尝试。

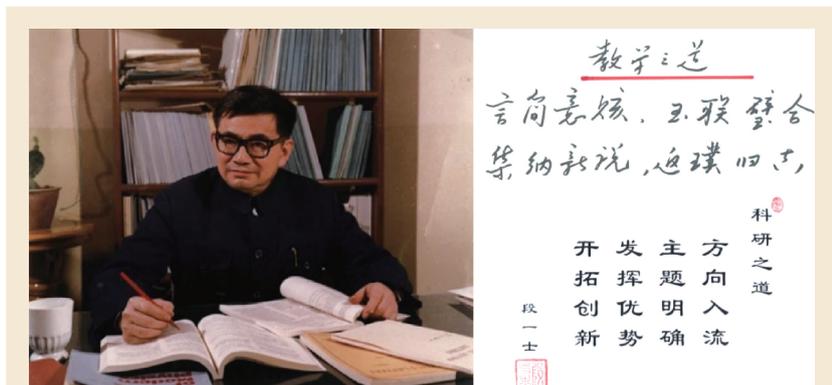


图1 左图:段一士先生(1927—2016)工作照;右上:段一士先生手迹“教学之道”;右下:段一士先生签章并倡导的“科研之道”

1) 根据古希腊文,科学本来就是关于物理的学问,但现在物理学的叫法已经脱离了古希腊文原义。

2017年兰州大学物理科学与技术学院开始做教学改革的尝试。为什么做这件事情，我们的现状是什么，这里不再细谈。核心问题是钱学森之问。从学院发展的角度，学院、教师、学生，包括教材等等这些方面，涉及到人才培养面临哪些问题。一个必须要问的问题是，我们培养的学生出去工作，在工作岗位上是否受到欢迎。在学生培养过程中，有学习成绩较差的学生，怎么办？有学习成绩好的学生，怎么在深度和广度上下功夫？这些都不大容易做到，因为我们的评价标准差不多是由考试来给成绩。我们也在做拔尖计划，怎么做？为什么要这么做？能不能满足学生的需求？这些方面都要考虑。涉及到教学改革，这几年教育部讲得非常多，高教司吴岩司长曾提到：教学改革，改到深处是课程，改到痛处是教师，改到实处是教材。这句话我体会非常深。的确，课程的设置、教师在其中扮演的角色以及有没有很好的教材落地，这些对提高人才培养质量都是非常重要的事情。我还加了一句，改到痒处是院长。这句话当然有些讲笑话了，不过情况也的确如此，教学改革是非常艰难的。如果你问任何一位物理学院院长，如果他非常关注教学的话，会非常头疼，因为教学改革涉及到很多教师，还涉及到广大的学生，最重要的是教学工作是个慢工细活，不是一朝一夕的事，而且还有理念方面的问题。其实最简单的方式就是之前怎么做，现在也怎么做，大概可以这么去应对。但确实确实我们面临一些问题，这些问题如果不去

解决，它会一直堵在那个地方，阻碍学院的发展。我自己是体会到一些问题的。

2017年我们开始构思关于课程、关于教学的改革。我们提出课程群架构，课程群实际上是根据课程本身内在的联系，根据不同的学习阶段划分的。总的指导原则是“分级教学、分类培养、厚实基础、宽泛

出口”。分级教学是讲怎么组织教学；分类培养主要是针对不同的考核标准，让学生的出口不一样，与后面两条有关；厚实基础是针对对物理学本身有兴趣，以后要从事物理学基础研究的学生，给他们提供一个厚实基础的机会；宽泛出口主要是面向应用，学生在学了一些物理知识后，面临一些应用的场合去做工作。根据学生的不同学习阶段，即本科、硕士、博士、博士后，甚至青年学者，我们把整个课程体系纳入到了一个统一的框架(图2)。按照课程的内在联系，划分了八个课程群，其中六个是物理学本身的，力热光电等等，还有两个是数学物理基础和计算物理基础。数学物理基础就是高等数学、数学物理方法、概率论，包括李群、拓扑学、微分几何等等。计算物理也非常重要，以后随着计算机技术的发展，计算方向会变得越来越重要，

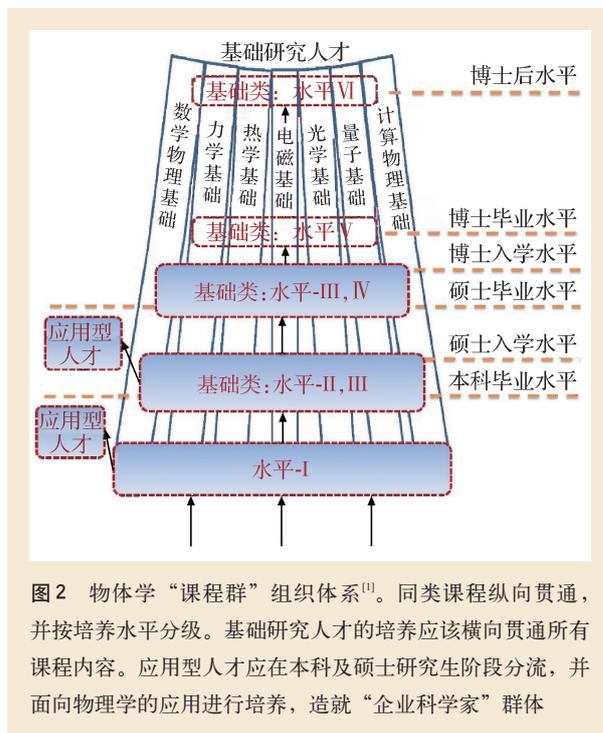


图2 物理学“课程群”组织体系<sup>[1]</sup>。同类课程纵向贯通，并按培养水平分级。基础研究人才的培养应该横向贯通所有课程内容。应用型人才应在本科及硕士研究生阶段分流，并面向物理学的应用进行培养，造就“企业科学家”群体

计算机是一个非常好用且重要的工具，所以把计算物理也纳入到课程群。关于教学改革，我们写了三篇文章<sup>[1-3]</sup>，非常感谢王青教授在这个过程中提供的帮助。课程群体系主要是组织体系、管理体系和教学体系，这三篇文章基本上包含了我们想做的事情以及我们的思路，可供有兴趣的读者参考。

我们的课程群不是横向的，而是纵向的，与20世纪高校中普遍盛行的教研室有区别。以前的教研室一般分为普通物理教研室和专业教研室，而且有部分行政管理功能。目前我们设置的教研室淡化了行政管理功能，更加关注课程梳理和课程建设，开展教学实践和教学研究等业务工作。目前流行的普通物理课程与高年级要学的理论课程内容重复较多，内容重复一是占时间，二是对学生来讲跨度不够。我们把课程归类，实施纵向管理，不同渠道来的学生都可以放到这个类里面，一步一步往上走。大概在本科

2) 自新的培养方案实施以来，根据每个学期和每个年级做的调查和座谈而得到的初步论断，详细情况尚待后续跟进研究。

及硕士研究生阶段,有个分流,叫宽泛出口,我们与企业合作做了定制班,为学生了解企业提供了一个很好的窗口。2018年我牵头申请了教育部首批新工科项目:依托物理学培养高水平新工科人才。这个项目已经结题,中期检查和结题验收都获评优秀,反响非常不错,也入选了首批新工科优秀案例。很重要的一点是这个做法非常受企业的欢迎,他们能体会到提前和学生交流,包括介入到学生培养过程中给他们带来的好处,因为他们对人才的需求是刚性的。如果学生硕士毕业后能坚持上博士研究生,这部分学生就需要进一步厚实基础,所以我们也开设“一士班”,为今后从事物理学基础研究做准备。

### 3 存在的问题及进一步的思考

第一,我们都在强调教学非常重要,但就个人观察,还是没有得到足够的重视,即便说重要,也是口头居多,落地的不多。第二,吴岩司长指出的那几条,怎么去课程体系的梳理,教师怎么去组织材料,这需要团队协作,但教学团队如何建设,是个问题。不是不知道

怎么做,是知道怎么做,但做起来很困难。还有就是教材,国内外有很多非常优秀的教材,我们要看这些教材是否能适应目前培养人才的需求。课程越来越多,课程内容也越来越多,而学生的学习年限没有变化,那么是不是所有的内容都要讲到,这就涉及到取舍。第三,涉及到学生,被动学习仍然非常盛行。学生普遍习惯于“知识点”学习,“知识点”考试,进而发现大学课程比高中课程难于应付得多。“我已经将试卷难度降到了最低,可还是考不过”,来自老师的类似这样的抱怨声不绝于耳。如何改变学生被动学习的习惯,是老师和学生共同面对的难题。

我们的方案实施进入到第四个年度,学生的认可度逐步提高,特别是得到学习成绩较好的同学的高度认可<sup>2)</sup>。培养方案是基于2+2,即前面两年学习基础,后面两年根据学生个人的兴趣,能够比较充分地掌握自己的时间分配,能够规划要学的知识,去深究一些东西。我们的课程体系梳理和课程衔接还有待进一步完善,因为这涉及到团队成员之间的合作,还有进一步提高的

空间。还有一点,学生学习能力的提高不是一朝一夕的,需要长期的坚持,我想教育本身就是一件长周期的事情,这里面可能更多的是靠我们的一些需求、一些理念在坚持。

总结一下,在做物理学学科的教学过程中,需要我们尽量扩展视野,转变观念,以物理科学的态度、方式、理念去培养具有物理学思维、掌握物理学方法的人才。学生毕业之后走向工作岗位,能够去做创新性的工作,这是我想表达的关键点。

**致谢** 感谢杨贇彤根据视频(作者在中国物理学会2020/2021秋季学术会议物理教育分会邀请报告,报告PPT在“物理与工程”微信公众号)整理文字初稿和提出的建设性意见。

### 参考文献

- [1] 罗洪刚,王建波,刘玉孝.物理与工程,2019,29(2):35
- [2] 罗洪刚,王建波,刘玉孝等.物理与工程,2020,30(2):69
- [3] 罗洪刚,王建波,刘玉孝等.物理与工程,2021,31(3):22

物理新闻和动态

## 追逐不可预测的猎物

传统追捕理论(pursuit-theory)中的问题之一是一群猎狗追捕一只野兔。该模型的一种常用假设是野兔沿着直线奔跑,或者沿着其他预先设置的路线奔跑。研究人员为这个游戏增加新的悬念:野兔是随机奔跑的。他们研究了野兔路径的随机程度,以及猎狗的体能限制等因素对于猎狗抓住野兔的时间影响。



追捕理论的用途包括从导弹防御系统的设计到搜索算法的编程。研究人员已经将追捕理

论框架用于微观环境,如细胞朝着某些资源的高浓度方向移动。然而,迄今为止,还没有关于完全随机目标的研究。

假设野兔是以布朗运动形式在二维表面随机行走,而猎狗的运动则是有确定的方式,即他们总是朝向野兔的方向,模拟一直运行,直到猎狗中一只捕捉到野兔。如果增加野兔运动的随机性(或者扩散速率),捕捉的时间就会延长。在分析模型中,研究人员还加设了猎狗的能量损耗因素,并发现在某些能量损耗速率下,多个慢速度运动猎狗的捕捉效果比少数快速运动猎狗要高。

(朱星编译自 *Physics*, January 26, 2022)