

2020年春季学期清华物理系《费曼物理学Ⅱ》和《电动力学》授课总结

源自苏格拉底的问题驱动式教育：在互动中共同学习和成长

王 青

(清华大学物理系, 北京 100084)

摘 要 本文作者于2018年在《物理与工程》上发表了题为“小班教学与翻转课堂：《费曼物理学Ⅱ》的10年教学实践——纪念费曼先生百年诞辰”的教学文章，本文是作者对其后续发展的梳理总结及对教学理念的进一步凝练升华。本文详细介绍了作者最近三年开设的《费曼物理学Ⅱ》和《电动力学》的授课实践，重点梳理了在2020年春季学期线上教学中采用问题驱动式教育(PDE—problem driven education)的教学效果和由此引出的思考。在线上线下高强度的师生深度互动中，老师和学生都感受到了前所未有的高层次收获和满足。教育教学的核心是培养和锻炼学生有效应对未知的能力，而知识的传授则退化为载体和手段。

关键词 问题驱动式教育；物理教育；线上教学；翻转课堂；教学改革；教育教学实践

PROBLEM DRIVEN EDUCATION FROM SOCRATES: LEARNING AND GROWING TOGETHER IN INTERACTION

WANG Qing

(Department of Physics, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract A long article about teaching entitled “Small group teaching and flipped classroom: Feynman physics II ten year’s teaching experiment-to commemorate the centenary of the birth of Richard Phillips Feynman” was published on the journal of Physics and Engineering in 2018. This paper is a summary of the author’s follow-up development and a sublimation of the teaching concept. This paper mainly introduces the teaching practice of Feynman Physics II and Electrodynamics courses in the last three years, and reviews the teaching effect of adopting PDE (Problem Driven Education) in the spring semester of 2020 as well as the induced thinking. Both teachers and students feel unprecedented high-level harvest and satisfaction in their online and offline high-frequency interaction.

Key words PDE-problem driven education; physics teaching; flipped classroom ;interaction; teaching practice

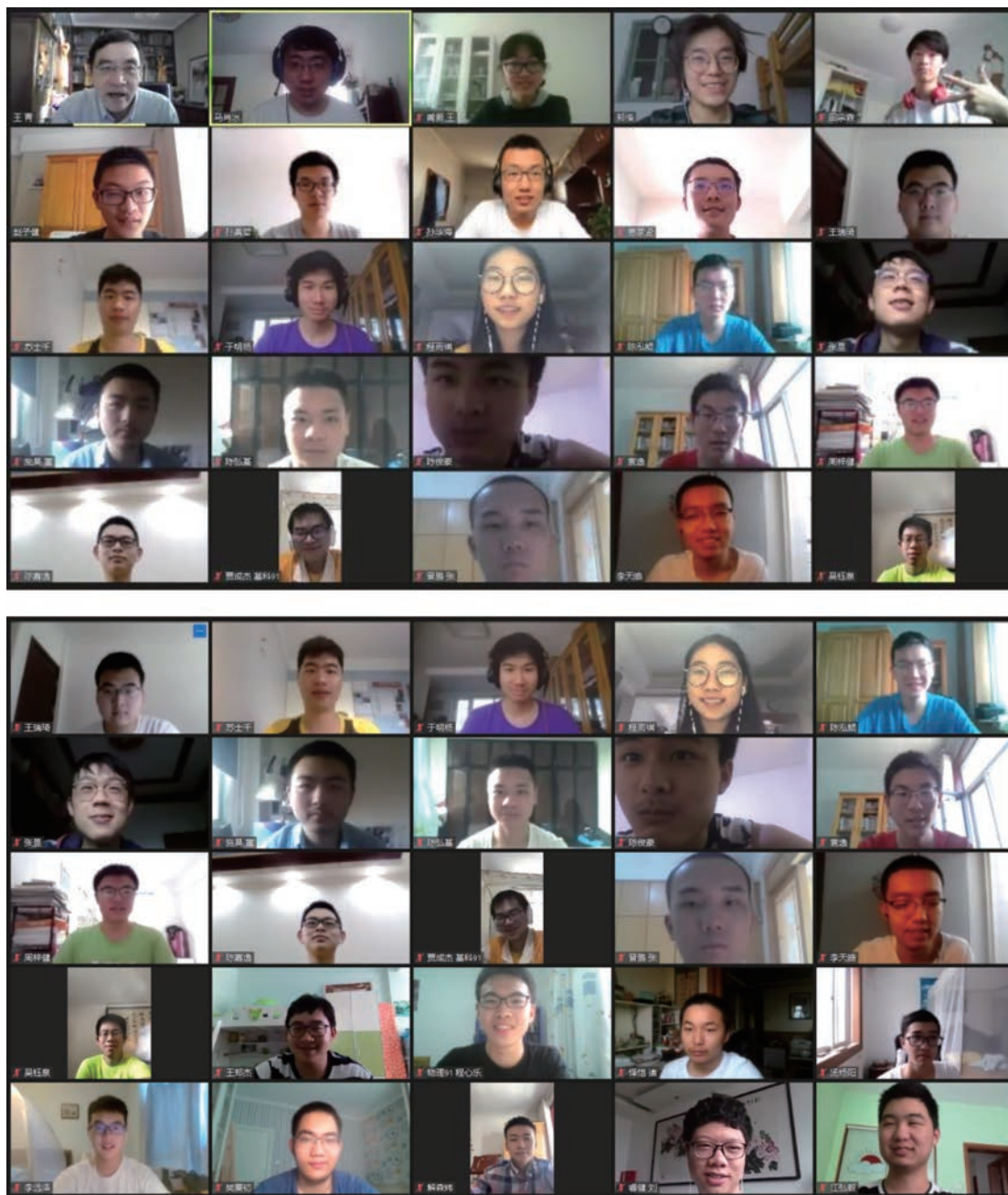
本人从1990年开始走上清华大学的讲坛,30年教学履历中最不同凡响的一个完整教学学期结束了,作为自己的心愿也是应清华物理系王亚愚

主任的建议,在这里对一学期的教学做个总结,同时也借此机会把最近三年教学改革实践的心得体会在此一并予以呈现。

收稿日期: 2020-06-20

作者简介: 王青,男,教育部高等学校大学物理课程教学指导委员会主任,清华大学高能物理研究中心主任,清华大学物理系粒子物理核物理天体物理研究所所长,主要从事理论物理的科研和教学工作,研究方向为量子场论与基本粒子理论, wangq@mail. tsinghua. edu. cn

引文格式: 王青. 源自苏格拉底的问题驱动式教育: 在互动中共同学习和成长[J]. 物理与工程, 2020, 30(5): 网络首发.



《费曼物理学Ⅱ》全班期末合影(2020-06-03,11:00)

本文是继本人 2018 年在《物理与工程》期刊第 28 卷 4 期 20-38 页上发表的题为“小班教学与翻转课堂:《费曼物理学Ⅱ》的 10 年教学实践——纪念费曼先生百年诞辰”长篇教学改革总结文章之后,对后续发展的教学改革及进一步凝练和升华的教学理念的梳理和总结,其中重点落脚在 2020 年春季学期新冠疫情期间的教学。

本人近三年教学改革最大的变化是教改从普通物理的费曼课扩展到了原本认为不太可能实施

教改的理论物理的电动力学课。

1 问题驱动式课堂教学的提出

如果说 2020 年春季学期的教学十分特别,表面上一是碰到了新冠肺炎疫情导致的以前从未使用过的线上教学,二是这学期我教的两门采用翻转课堂教学的课程成功地实现了与陌桥网的信息技术实质性的对接和支撑;而更加深层探及心灵



《电动力学》全班期末合影(2020-05-03,16:30)

的触动是我们采用的问题驱动式的教育教学模式,使得本人在这学期线上线下高强度的师生深度互动中,感受到了以往从未达到过的前所未有的高层次收获和满足。

实际上这种感受从2014年本人开始在《费曼物理学Ⅱ》课(讲授完整的费曼物理学讲义第二册)启动课堂上的问题讨论后就开始逐渐浮现并逐年变大,2018年本人总结了前期《费曼物理学Ⅱ》的教改经验,开始在教了快三十年的《电动力学》课上启动翻转课堂后,感受进一步显著增强,到撰写此文的2020年达到历年来的最高点。更让人欣慰的是借助在线教学cctalk平台,2020年春季学期两门课的所有线上课堂讨论都进行了录屏,并经上课学生同步整理成了文字记录录入在陌桥网上

这样,所有课堂讨论尤其是那些难忘的思想交锋和碰撞的激动人心时刻被以音像和文字的双重形式记录下来,在陌桥网上永久开放地展示给了以后的学习者。(两门课程的网址和二维码请见文末)

清华大学的人才培养要求三位一体,即价值塑造、能力培养和知识传授。我们这两门课的核心目标是锻炼和培养学生独立、自主应对未知的能力,我们把价值塑造和知识传授孕育在了整个锻炼和培养能力的过程之中。对价值塑造,特别是它在课程教学中立德树人的各种有效实现,属于国家大力倡导、本人亦非常关注的另外一个重要问题,以后另文专门讨论;对知识传授,作为传统教学的核心目标,在知识爆炸的今天,显然不可能在有限的大学四年把所需要的知识全部传授给学生,哪怕是某个特定的专业方向。退一步即使传授成功,学生真正走上社会后,通常也只有很小的概率真正实实在在地恰好用上被传授和学习过的知识。在这样的背景下,锻炼、培养学习能力和领会甚至创造知识,进而更广义的有效应对未知的能力就成为教育教学的核心,而知识的传授则退化成为锻炼培养学生能力的载体和手段。

在这个意义上,物理学是各种知识系统中最优秀的锻炼和培养学生应对未知能力的载体和手段,因为物理学面对和努力去了解的是孕育出人类及其所有相关事务的大自然本尊,它是最大的未知。我们的基础物理课,尤其是以自然界现已发现的四种基本相互作用力中与人类日常生活密

切相关的电磁力为主要教学内容的普通物理层次《费曼物理学Ⅱ》课和理论物理层次《电动力学》课,就更成为其中的重中之重。

之所以把三位一体中的能力培养作为我们课程教学的核心,是为了让我们培养出的学生在未来走向社会之后面对五光十色的未知世界有更强的应对能力,只有这样他们才能在未来变幻莫测的世界中生存、立足,进而发展、创新乃至引领,而我们的教育教学也才真正不辱历史和社会赋予我们的使命。

当今世界,各种教育理论和模式林林总总、层出不穷并且不断演变进化,教育技术和其配套的软硬件快速发展,不断侵蚀原来教师所做的工作。从早年ppt对板书的替代,到现在线上对线下教学的冲击。在这个教育不断快速迭代的变革和革命的年代,究竟是理论和模式、还是技术和其软硬件更加重要?谁将主导和引领教育的未来?人们见仁见智。实际上不同方法强调和侧重的是教育过程的不同侧面,在五花八门的理论和模式及软硬件技术的汪洋大海里,存不存在举一反三、一剑封喉、能够作为抓手容易上手的核心主导元素?本人主动参与教学改革这些年的实践体会是:问题驱动就是整个教育过程在操作层面最核心和基础的元素,抓住了它就抓住了牛鼻子,牵其一发可以动教育的全身。

本总结主要介绍本人最近三年的教学实践,特别是2020年春季学期新冠疫情期间的线上教学所引出的对问题驱动式教育(PDE—problem driven education)的一些看法。实现问题驱动式教育的方法是积极的互动,包括师生互动,生生互动,师师互动及教育和受教育者自己和自己的互动,大家(包括教师和学生)在互动的过程中一起共同学习和成长——实现有效的教育和教学,锻炼和培养出强大的应对未知的能力。

2 让问题驱动成为教育过程的核心

为什么一线的教学实践会让问题驱动成为教育过程的核心?个人的理解是:教育的效果对被教育者是被动被强迫地,还是主动自发地参与教育过程是很不一样的,后者的效果显然要比前者好很多,这是当今全世界的教育体系都在从以教师为中心向以学生为中心进行转变的根本原因,

其中学生的角色需要从过去传统教学中的被动学习向现在和未来的主动进取转化。

这种主动自发地对教育过程的积极参与需要来自学生自身的内生驱动力,最合适自然的内生驱动力候选者就是当人面对未知时所萌生的疑问和问题。这些疑问和问题既可以为人所具有的天生好奇心所引发的,也可能是由于某种外在压力要求人非得去了解、熟悉和适应未知时不得不面对的,一般说面对未知愿意思考的人是不缺少问题的,这些问题本身驱动了解决问题和推理技能的应用,同时也激发了受教育者自己查找信息、以学习关于此问题的知识和结构,以及解决问题的方法,进而推动教育过程的前进。耶鲁校长苏必德 2019 年开学演讲时说:“提问是通过一个点,去点亮另一个点;通过一扇门,去打开更多的门”。

问题驱动的教育包括提问题及解决问题两个阶段。在第二个阶段更细致地可以分为思考、分析再到解决的子过程,在这个阶段的不同子过程里会不断地再激发和提出新的问题,导致不断地循环往复提问题和解决问题的流程,周而复始,形成持续不断的深入学习和教育进程。

问题驱动式教育最早应该源自古希腊的先贤苏格拉底。他认为教师的任务并不只是传播真理,而是要做一个新生思想的“助产士”。他在讲学或辩论时总喜欢采用提问的方法来揭露对方在认识上的矛盾。他并不向学生传授各种具体的知识,而是通过问答,交谈或者争论,一步步引导学生自己进行思索,自己得出结论。当他向学生提出问题,学生答错了,他不直接指出错在什么地方为什么错,而是再提出暗示性的补充问题,再通过争论得出正确的答案。正如苏格拉底自己所说,他虽无知,却能帮助别人获得知识,好象他的母亲是一个助产士一样,虽年老不能生育,但能协助新生命的出生。

让人觉得不可思议的是,冥冥之中本人似乎从小和苏格拉底产婆术有某种联系。当年苏格拉底过于沉溺问别人问题,专挑别人的漏洞,每次都能把对方问得头昏脑涨,直至崩溃。有人甚至把苏格拉底被陪审团以 360 对 140 的高票判处死刑归咎于他太爱问别人问题以致得罪了雅典人民。为什么苏格拉底对提问题会如此津津乐道?

回想本人年幼时的经历似乎有些启发。那时本人身体柔弱,父亲经常骑家里唯一的 26 男式自

行车带我去北京儿童医院看病,路上本人经常坐在自行车前面的大梁上和背后骑着车的父亲对话。可能是为了启蒙我,在父子对话中父亲总是变着法儿不断鼓励我问问题,而我也乐得刨根问底,直到把父亲问的回答不出来。实际我对父亲对我问的问题的回答的具体内容经常听不太懂,也不那么感兴趣,只是因为受到鼓励努力在父亲的回答中挑毛病和漏洞,继续发问,直至达到能享受父亲最后回答不出来缴枪投降的那种快感。父亲在我刚上大学时就去世了,失去了父亲引导的我经历了随后四十多年的人生,特别是博士毕业后作为教师在高校教育教学领域摸爬滚打三十年后,现在再和学生或朋友同事互动交流中问问题,早已不再追求对方答不出来(可能也追求不到)的那种初级感受,更多地是进化到享受别人的解答让自己扩展视野、茅塞顿开的那种快感。

与问题驱动类似的教育教学至少还有其他三种:一种是问题引导或问题导向的教育或学习(PLE—problem leading education or PLL—problem leading learning),它看起来把驱动换成了引导,把驱动的“推”换成了引导的“拉”或“引”,显得更加自然随性了一些,抛弃强迫的成分,也可能就减弱了最后的效果,完全有可能因引导不具备足够的吸引力使得受教育者不按引导的方向前进。现在国内备受推崇、影响很大的由南京大学李向东教授主讲的《宇宙简史》课就属于这类教育或学习课程,它用了八个问题来引导整个课程的教学,试图建立学习者的宇宙观。

第二种是基于问题的教育或学习(PBE—problem based education or PBL—problem based learning),它除了放弃驱动这一强迫特性把它变成基础外,在其他方面和问题驱动的教育或学习基本类似,只是对问题在教育过程中所起作用的强调相对弱化了不少。

第三种也是 PBL 的另一种是基于项目的学习(project based learning),它把问题改用项目替代,凸显和强调可实现性和操作性。由于项目的实现和完成是以提出和解决一个个的问题组和问题串为前提的,因此它实际是某种另类实用化的基于问题的学习。

我们选择的问题驱动式教育是在同类方法中把问题的作用最为突出和强化的一种教育模式,也正是因为特别强调问题的驱动作用,我们教育

教学模式是主要靠互动来实现的,这和其他几种模式的实现方式经常会有很大的区别。

3 教育教学中的质疑能力引导和培养

万事开头难,在提问题和解决问题的循环中,最开始的提问题是最难的阶段。传统教学中的中国学生最不爱、最怕的就是提问题。这个问题前些年似乎有加重的趋势。

北京大学前考试研究院院长秦春华、招办副主任林莉在文章《本科教学陷尴尬:学生正在丧失独立思考能力》中抱怨:“学生越来越不提问题,不会提问题,也提不出有价值的问题。学生很少有提问题的欲望,不知道问题在哪里,即使勉强提问,提出的也很难称其为问题”。前一段,美国各大学的35位教授联合强调,中国留学生最缺乏的能力之一是质疑能力。香港科技大学教授、松山湖机器人产业基地发起人李泽湘说他近年来辅导了不少创业的年轻人,最大的感触是:“大学培养出了能够很好地回答老师问题的人,但培养不出发现问题、定义问题,并且能推进问题研究的人”。我接触到的一些大学生和研究生也坦然承认自己只知道想办法解决问题,却不知道提出问题。没有问题就没有创新,没有以产生问题为目的的阶段,就没有真正意义上认识问题、解决问题、分析问题的能力。

诺贝尔物理奖得主 I. Rabi 说他小时候每次放学,母亲总是问在学校是否提出了优质的问题;中国最后一位大儒梁漱溟说他大约从十四岁开始,总有问题占据在心里,从一个问题转入另一个问题,一直想如何解答,解答不完就欲罢不能,就一路走了下来。提得出问题,然后想要解决它,这是做学问的起点。他从来没有想过要做学问,之所以走上现在这条路,只是因为喜欢提问题;知名凝聚态物理学家文小刚认为教育的一个目的是掌握知识,但教育更重要的目的是训练提问题的能力;李政道先生特别强调:要创新,需学问,问愈透,创更新;爱因斯坦说他没有特殊的天赋,只是极度地好奇。他和笛卡尔都曾经说过:提问题比解决问题更重要;哈佛大学名言“教育的真正目的就是让人不断地提出问题、思索问题”。

提问可以把阅读从静态的、单向的看变为动态的、双向的交流,是一个深度理解的过程。提出

问题的过程,让同学们可以思考所读内容的表达是否清楚明白,是否符合逻辑,是否还有其他更为恰当的传递信息的方法。提问除了对理解学术文章大有裨益,对于有效的社会性交流也起着很重要的作用:可以发现共识;可以控制话题的走向;还可以使交流更加明确,提问也创造了进一步地沟通,有助于我们获得他人的理解以及理解他人。

4 问题驱动式课堂讨论的试验

我们2014年刚开始在《费曼物理学II》上试验开展课堂互动讨论时,学生都低着头不提问题,教师虽然能提问但也不是所有章节都能提出恰当合适的问题,并且教师提的问题在一些情况下不一定能引起学生的足够兴趣,种种这些导致问题驱动的学习因问题稀少和质量不高而举步维艰。

前面提到过提问源自好奇心和外界压力,我们就分别从这两方面开展工作。针对好奇心,由于它多源于所面对的未知的新鲜和不确定性,我们就努力增强和发掘教学内容和教育过程的新鲜度和不确定性,不断地从学生所没听过见过的角度、深度和表现方式上展现所教的内容,激发学生的好奇心,促使他们提问题。针对外界压力,我们采用了每周提交一次预习报告的制度来强迫学生在必做给分的预习报告里提书面的问题,并且辅以课前发给学生学长提过的问题集锦作为参考来进行帮助。

这样的做法初看有些武断和暴力,但矫枉过正的确可以使学生较快地进入提问题的情境,由于预习报告只是书面提问题,避免了提蠢问题导致面对面可能的难堪,降低了提问题的难度阈值,学生通过模仿学长开始先试着自己书面提问题。通过这些努力,学生在我们的课上开始逐步适应和习惯于对所学的内容独立地提自己的问题。从学会提问开始,学生收获了获取知识的能力和探索未知世界的能力。

来自本学期调查问卷的费曼课上的同学说:从不敢开口到勇于表达自己,自信心提高了很多;尽管表现并不尽如人意,但是会将费曼课上学到的提问艺术发扬下去。

电动课上的同学说:提问题的能力肯定是有提高的,我会尝试在预习报告中提一些问题(虽然不多)。如果想进一步提高这个能力的话,应该是

一直坚持提更多的问题,也不要担心这个问题不好就不问,慢慢改善问题的质量;因为看了别人的问题和讨论,我也会有意或无意地联想到新问题,或是找讨论的漏洞;因为在课上被要求提出问题,提多了、讨论多了,感觉自己也能分辨出什么问题有价值;因为提的问题、见的问题多了就会对问题可能产生在哪里有更敏锐的意识。很多同学提的问题实际上不是问题,或者是有了一个模糊的想法就提出来,别人可能也看不明白。其实明确问题的过程是对物理知识深入思考的挺重要的一步;若想提高提问题的能力,可能要改善的是自己的学习方式,要多多举例子进行计算。我发现很多同学问的好问题是在他们自己帮自己举例后,发觉他们的理解似乎和现实不符,或发现理论有其他相互矛盾的地方后,再问出来的。所以我应该和他们多学习;最满意的事是全程参与了同学们提出问题并进行观点碰撞的过程,看到其他人是如何提问、如何思考的。我觉得这些付出是值得的,因为我过去的数理课大多只是学习知识,这门课无论是形式还是内容都给人耳目一新的感觉。

而我们这两门课程经过若干年的积累,积攒的问题已达成百上千泛滥成灾的地步。本学期我们依靠陌桥网的信息技术支持,把问题的索引查询、搜集分类整理尽量机器化和自动化,大幅度方便和简化了老师和学生对问题处理的各种繁琐的技术性工作,有效地提高了教育教学过程中问题的技术处理效率。

在教育教学中提问题的一个重要功能是它最能反映人对所学知识的掌握水平,因而可以作为认知过程的高级评判。设想,我们若要检验学生对某部分内容的学习效果。当然可以编一些考题让学生做,包括提一些问题让学生或口头或书面回答,或观察和记录学生在学习此部分内容的过程中的各种表现,包括听课期间的抬头率、看视屏的时间或重复播放的位置和次数,甚至对参考文献的寻找数量等。

在判断学生的学习质量上,这些与要求学生在这部分内容里自主提问题相比,根本不在一个等级。从学生提出的问题很容易判断学生对学习内容掌握的程度,如果学得不好或只是囫圇吞枣,学生是提不出问题或提不出有意义的问题的。提问题的前提是对内容的深度学习与思考,能提出

有意义问题的学生至少已经达到了传统教学的听过教师对内容的讲授,并自己消化复习过的程度。

学生对内容掌握理解的越深入,他所提的问题的难度就越大深度越深,且不同的学生提的问题会十分不一样,是一个十分个性化极有区分度的衡量学生对内容掌握程度的判断手段,提问题从判断认知成效的角度看是一种可以逃脱具体过程细节的对认知过程效果整体性的高级评判。也正是因为提问题的这个功能,我们用它来驱动学生学习的进程:学生为了能提出问题,就得认真学习和领会思考。

这样用提问题做牵引和驱动,激发了学生探究知识的需求,学生可以按照自己适合的方式自主地把内容掌握和消化好,直到能够提出问题为止。从这个角度,问题驱动式教育也是一种另类的产出导向教育(OBE—outcome based education):用问题作为产出,指导引领学生进行自主学习。

5 质疑的质量判断和牵引

提问题的另一个总被关注的重点是问题的质量,著名物理学家黄昆先生就特别强调要善于发现和提出问题,尤其是要提出在科学上有意义的问题。一个好的问题能够提供给学习者一个广阔的多向度的探索空间,既能激发学习者学习的内在动力,也能提纲挈领的指出持续思考,自我探究的方向。要想提出好问题,需要准确地理解别人的论点,他想要对话的理论以及他论证的过程。提出一个好问题,意味着知识、经验和观念上可能即将要迈进一步,判断力和决策能力得到加强。著名的希尔伯特的23个问题就深刻地影响和推动了现代数学的研究和发展。

判断是否是好问题涉及问题的分类,美国芝加哥大学心理学教授J. W. 盖泽尔把问题分为呈现型、发现型和创造性三类:呈现型问题是由教师或教科书给定,思路及答案都是现成的,直接体现教师或教材设计者的思考;发现型问题由问题解决者自己提出或发现,非教师或教材中给定。它不一定产生创造性见解,没有超出人类认知的视野,但须学生自己独立思考才能获得;创造性问题是人们从未提出过,没有先例的问题。在实际教育教学过程中我们从呈现型问题出发,努力引导

发现型甚至创造性问题。

我们往年费曼课的学生把问题分类成:“课上提出的很多问题高于讲义本身的,是整合了理论体系后自己大脑衍生出的问题,或称之为‘二级问题’。与之相对,针对讲义一字一句分析提出的‘一级问题’的提问能力完全可以由增加学习的认真程度而提高,但‘二级问题’的提出要求在掌握已有知识的基础上生成自己的思想,因而难度更大,这也是本课程的亮点之一”。

不同的人对问题的要求是不一样的。著名物理学家,诺贝尔奖获得者费曼就要求不要问作业中的问题、谁谁文章中的问题、什么什么方程或什么什么定理是什么意思的问题,他特别强调问题必须是试图去理解某些东西。

在现实的教育教学过程中,大家都会感觉好问题太难求了,这种对好问题的渴求从另一个方面限制了人们开口提问题,因为人们总在诟病他人提了一些过于愚蠢和 naïve 的问题。

实际这种情形经常是一个误区,费曼就曾对他的学生的无知(因而提出愚蠢和 naïve 的问题)表达过其真心的嫉妒。这里,我们理解费曼嫉妒来自学生的无知,源于学生们尚未被进行过系统的物理学训练,认知自然界没有标准物理学的框框限制,可以从一些另类的视角审视自然界,因而提出一些受过物理学系统洗脑的人所提不出的问题。这就像一个刚会说话天真的新生婴儿一样,他看待世界的方式和受过教育的成年人是很不一样的,因此会问出成年人不可能问出的问题。

因此 naïve 在某些情形下不仅不是坏事,反而是帮助我们跳出既有框框局限的好事。我们的那些初出茅庐尚未受到系统的物理学训练的学生们,从这个角度有可能会有另类看待自然界的视角,因此完全可能提出老师们提不出的独特问题。

当今在科学技术前沿进行创新的科学家和工程师们天天无不是在努力突破已有的框框去发现和创造新的事物,而我们在教育教学过程中有心人会注意到学生的偶尔有意或无意的问題经常就已经突破了这些框框。

对于这一点大数学家格罗滕迪克(Grothendieck)也有类似的看法,他说:天才的智慧,不屈不挠的雄心,坚韧不拔的信念,并不能让我们突破从已知世界到未知世界的那看不见又难以逾越的边界。只有天真能让我们跨越这一边界。在这过程

中,没有知识的位置,只有我们聆听万物,潜心地沉浸在孩子的游戏中。他非常推崇的对广义几何有重要贡献的匈牙利数学家,Raoul Bott 去听演讲的时候总是问最简单的问题,从不害怕去问可能被人认为“怎么可以问这个!”的很笨的问题。从怕问愚蠢问题丢面子的角度也许可以理解在疫情期间不得以的线上教学中很多教师反馈回来的一个共同现象—学生似乎更敢和更爱提问题和参与讨论了。

个人的理解是,这时虽然提了愚蠢的问题遭到了别人的奚落,因为不是当面、只有声音,即使被批得脸红别人也看不见,面子上的损伤因而相对较小。从本学期课上调查问卷搜集到的学生的说法也验证了这种猜测,费曼课的同学说:线上不会面临交际恐慌,大家都更放得开一点,不会尴尬。电动课的同学说:线上的优点是讨论时更大胆,不会因为面对全班同学而过于紧张;网课上的不露面只出声的提问在学生从预习报告的书面提问题到面对面的开口提问题的过渡中间又多穿插了一个不面对面但开口提问题的中间过渡阶段。

本人在参加工作的三十年里在很多场合经常因为怕提的问题愚蠢而不敢张嘴提问题,后来随着年纪的增长脸皮越来越厚逐渐开始敢提一些看似 naïve 和愚蠢的问题,问题提出后得到的反响往往是无情的回击和强烈的打压,这时如果不能持续坚守自己的观点退缩下来,往往在旁人看来就真的是提了愚蠢的问题,进而进入很丢脸没面子的状态。

我们传统教学模式下培养出来的学生的缺点就是不懂不敢发问,不敢于在众人面前表达观点,并努力让周围的各色人等认同自己的观点。后来在某些特别的场合,本人曾壮着胆子坚持下去,努力从不同角度阐明自己的观点与对方进行争辩和讨论,也真曾有把对方驳倒和导致其下不来台的时刻。

这些经验让我在自己的教育教学过程中特别同情和注意那些在提问题上总被学霸打压的学渣们,他们在班上克服自身恐惧努力半天提出的问題往往瞬间会招来学霸们的鄙视和弹压,当学霸们用不屑的口吻评论学渣好不容易提出的问题是垃圾问题时,会对学渣们的心理造成巨大的刺激和伤害,影响他们对进一步学习的信心和兴趣。

为了保护这些班上基础较差学生的好奇心和求知欲及自尊心,我在自己的课上提出了“打击学霸,提携学渣”的战术。具体操作是:对学霸们尽量从学术上进行刁难和吹毛求疵,让学霸们看到自己引以为豪的观点或发现存在各种问题和瑕疵,需要更深入和完备的思考;而对学渣们则尽量容忍宽容他们的无知,鼓励他们发表自己的看法,在他们的观点中尽可能地挖掘合理和有价值的成分,并借助教师的功力和积淀努力进行发扬光大。在学渣和学霸的对峙中,努力在学术上支持学渣对抗学霸,这既是为学渣建立信心,让学霸更加优秀,更是通过这种操作在课堂上制造一种问错说错不受鄙视批判的氛围,使整个班级形成一种相对平等可持续发展的良性学术讨论气氛。

在2018年秋季学期首次在电动课上试行这种问题驱动式教学一学期课程结束之后,在2019年1月21日电动班上两个女生之一发微信朋友圈写道:“在和同学们的讨论中我觉得我的物理学思路开阔了许多。其实我曾经是很不愿意和人太多交流的,更别提交流物理了。而且过去觉得我系大佬都好强,不敢和他们平等谈物理,觉得一开口就会被碾压。这学期上下来发现不是这样,大家的想法诚然角度不一,但没有高低之分,在不同问题中大家的不同想法你来我往,有时终于能达成共识,有时就成了悬案只能搁置,实在酣畅淋漓”。

2020年4月22日,即将毕业的她又在微信朋友圈里抱怨物理系的女生难以介入物理学习中十分重要的同学间的讨论和交流,特别提到她非常喜欢本人给她们开的这一届电动力学,强制性地要求所有人都参与讨论,电动也成了四大力学里面唯一一门她学的还算可以的课。当然这提携学渣对抗学霸的做法对教师会提出很高的要求,而这种对教师的挑战本身反过来形成了一种促进教师在学术上持续进步,更好地察言观色处理人际关系的驱动力。

人们经常诟病的提不好问题的另外一类是胡扯和夸夸奇谈,这有时也会成为误区。杨振宁先生回忆20世纪40年代后期在普林斯顿有一位做博士后的同事布鲁克纳时曾经说到:“他提出一个思想而且经常谈论。我挺感兴趣,就和他讨论了几天。三天以后,我肯定他的这整个思想是完全错误的,因为他回答不出任何问题。如果你问他

一个问题,他第一天这样答,第二天那样答,所以显然他理不出头绪。因此我说这是完全错误的尝试。但是我错了,因为后来有人考察他的观点,发现在这一片混乱的思想之中,虽然有些是相互矛盾的,但有些想法是极为重要的。那些想法被清理出来并加以证实,这样去伪存真之后,它就成了一项十分重大的成果”。

介绍这么多对不好的问题的逆向分析与评价,主要是希望在问题驱动式教育中对提问题抱持更加开放的态度,只有这样我们的教育教学才能可持续地正常开展。作为提问题部分讨论的最后,我们对一个任意系统给出一个最简单的提问题模板参考:

问题1: 该系统有哪些可能的状态? 为什么会有这些状态? 有用吗? 怎么做? 容易吗?

问题2: 哪些量决定了该系统存在这些可能的状态? 为什么? 有用吗?

问题3: 哪些量决定了该系统现在处于某一特定状态? 为什么? 有用吗?

问题4: 系统随时间是如何演化的? 系统如何从某一特定状态转变到另一状态? 有用吗?

问题5: 如何诊断系统状态和表征它的物理参量? 有用吗?

问题6: 上述量对系统的重要性怎样?

问题7: 上述量中,哪些是内禀固有的? 哪些是外因可调的?

问题8: 上述系统可否重构而产生新意?

实际情形问题可以根据需要和情境千变万化,但至少上面的八个问题总是可以提的。

问题提出之后自然就要解决问题,这促进了寻找解决方案,激发了讨论、询问和调查相关话题,并最终生成针对该问题的解决方案的需求,促进深度学习和创造。

一个好的问题能够提供给学习者一个广阔的多向度的探索空间,既能激发学习者学习的内在动力,也能提纲契领的指出持续思考,自我探究的方向。提出问题解决问题的初级是把“知道的不知道”变为“知道的知道”,高级是把“不知道的不知道”变为“知道的不知道”,进而进一步把它们变成“知道的知道”,直至最后升格成融会贯通顶级的“不知道的知道”。

在2018年费曼课的调查问卷里一位同学写道:“上了一学期课,才终于知道从这门课学到了

什么不重要,重要的是从这门课发现什么都不知
道而产生的疑问”。从问题的提出到解决,杜威提
出思维五步法:

(1) 联想,让心灵趋向一种可能的解决

(2) 问题,将所曾觉察到的困难或疑虑理论
化为一个需要解决的问题

(3) 假设,使用一个又一个建议,作为解决此
问题的观念或假设,并通过观察与其它工作,搜集
解决此问题的材料

(4) 推理,对作为观念或假设的心理操作

(5) 以外表或想象的活动试验此假设。

在寻求问题解决的历程中,首先需要当事人
自己进行深入地思考和分析,为使个人的看法能
够扩展、深化和更加全面,应该施加必要的外界刺
激和激励,这就是本文题目中所强调的互动——
用问题做驱动的互动。特别是与别人的互动会提
供自己所没有的视角及相应的思考和分析,我们
强调互动是实现问题驱动式教育的最好方式。现
在流行的课堂五重境界: Silence, Answer, Dia-
logue, Critical, Debate 中的高级境界都需要互动,
并且互动的越激烈,境界的层级越高。

6 问题驱动式教学在线上教学中的实践

在本人开的两门课上,现在已经把课堂变为
实现有效互动的平台,在上面开展讨论。在 2020
年春季学期,我们进一步把学生的分小组讨论前
移到了上课前的课下,由学生按小组自主安排。
这样学生之间的互动就进一步从课上延伸扩展到
了课前,课上则集中开展全班讨论。

实际上我们教学改革的初心就源自在课堂上
引进一些提问和互动,只是随着互动的比例和效
果越来越大,原来的教师授课时间不断受到挤压,
直至最后退出课堂,代之以课前的微课或慕课视
频观看,形成翻转课堂(从另一个角度,这原本也
是信息时代教育教学进化的方向:学生越来越容
易获取教学内容的相关信息,坚持在课堂上去做
那些学生可以自己课下完成的信息获取之事已经
变得越来越效率低下甚至无用),演变到现在复杂
的以微课和慕课视频为基础的问题驱动的混合式
翻转课堂教学模式。这里翻转课堂是我们通过互
动来实现的问题驱动式教育教学所最后走向的必
然结果和手段。

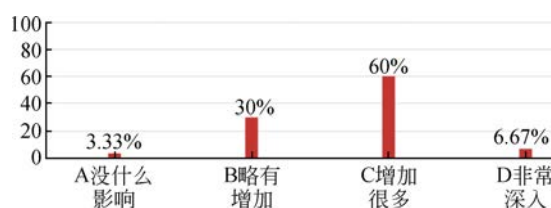
教学改革一路走来可以说,通过有效互动实
现的问题驱动式教育教学实质上地主导了我们教
学改革的进程和走向。在教改初期,我们只模糊
地觉得课堂上增加提问互动环节有利于提高教学
质量,增加学生对课程内容的兴趣,随着实践的深
入和理念的进化发展,我们现在到达了把所采用
的教学模式凝练成在互动中实现的问题驱动式教
育的层次。

我们这两门课在物理方面主要希望通过问题
驱动的互动来促进学生独立思考,强化大家对物
理图像和概念的理解。爱因斯坦关于教育的一句
话是:“大学教育的价值,不在于学习很多事实,而
在于训练大脑会思考。”教育的价值不是记住很
多知识,而是训练大脑的思维。

而前面提到的北京大学秦春华、林莉的文章
抱怨:“学生们正在丧失极为宝贵的思考能力。他
(她)们习惯于跨越过程,直奔结果。……当他
(她)们一旦面对巨大的不确定性时,将会手足无
措,陷入迷茫和恐惧之中”。

对费曼课,费曼的一套三册教材是全世界普
通物理讲图像和概念最清楚的书,比任何其他
的教材都高一个量级,很多同学选此课就是慕名
来学物理图像和概念的。

2020 年春季学期费曼课在调查问卷中统计
到的互动讨论对同学物理问题思考的影响下:



搜集到的部分同学评述如下:

- 原本认为学习物理无非是搞懂课上的内容就好了,从来没有想过要去对课堂的内容提出问题并发表自己的见解,但上了费曼物理学课之后课程的设置逼着我去对书中的问题更加深入的思考并做一些自己的研究;
- 就比如对场的认识吧。单纯的生活直观下,我们都会认为现实都是物质在作用,由于电磁学的整个体系都是在谈场,以及 Maxwell 方程组的优美表现形式,让我觉得物理有时候源于直观感受,却又能得到超出直觉的东西。对场本身的分析是与我之前学习电磁学的方式不同

的,这种完整优美具有对称性的结构,会对其产生好感(可能我就是个美学家)。讨论的过程中听别人的发言不亚于听讲座,反而收获会更大,虽然疑问会更多,但是正是不解的疑惑会增加我的兴趣;

- 以前从没有研究过定义,学习后发现看到定义后应该问问为什么这样定义(比如讨论的电阻的定义),发现现有定义确实是简便、有道理的。以前看到计算结果,觉得算出来了就是结束了,现在发现应该问问这样的结果代表了什么(比如梯形网络截止频率)。以前觉得很多东西都是显然的,比如取推迟解而不是超前解,应该问问这样是不是真的显然;
- 通过学习往届以及同学的提问题方式,以及费曼书籍中发现问题的方式,自己在发掘以前从没有想过的问题的能力变得更增强了;
- 总是能进行一些深刻而神奇的讨论,神奇到难置对错。
- 现在会分辨哪些问题更能反应本质,更有价值;也会对于计算的结果去反思后面的物理内涵。

2020年春季学期跟班上课的助教在其总结里说道:前些年上完其他老师的电磁学课的感觉是似乎没什么难的,但又觉得每一个概念都没有理解透,对于很多电磁学的概念并没有足够的先验基础和直觉。因此课下要花很多时间看书。看书时,最大的困惑就是问究竟什么概念是最基本,对的,哪些不是。当时对每一个概念都抱以质疑的精神,不轻易接受他们在书中直接给出的那样,但又思考不出个所以然来。当问及和其他同学,他们往往会觉得没有什么问题可谈。因此在读书的过程中,就有一种不知道该相信什么,不该相信什么的感觉。这些困惑积累下来就会产生一种没学明白的“感觉”。当学到后面,会越来越习惯于这些概念,就在不理解这些概念的基础上去做题和准备考试了。

这位助教进一步觉得《费曼物理学Ⅱ》这门课的讲义和教学方式是可以大大减少他当时遇到的困难的。因为费曼讲义从始至终不断强调的就是应该以怎样的辩证心态去看待眼前的物理概念,哪些概念是基本的,而哪些是“凑合”的,哪里是有缺陷的,但这不只是“他”不理解,是“全世界”都还不理解的。费曼尽力让我们与未知和不足和谐相

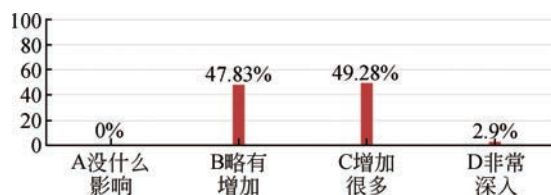
处。并由此知道应该相信什么,并且可以相信到什么程度。这样学完之后会对每一个物理概念有更好的把握。越是咬文嚼字,可能越觉得费曼讲得好。

对这门课所采用的讨论的形式,助教认为这个形式也可以大大减少他以往所遇到的困难。因为对于概念的问题,拿出来了,大家一起讨论,可能讨论不清楚,但至少达成了某种共识,对于概念有了更深一层的认识。在心理上是一种解脱,不会一个个困惑累计起来。

对电动,由于其所应用的数学十分复杂,学生往往被课程内容中的推导搞得晕头转向,因而无暇顾及复杂的公式及其推导背后所体现的物理图像和概念。本人在做教改前的二十多年电动教学里,教案PPT上布满公式(现在虽仍是公式遍布,但已经不断补充进了很多文字和图的说明)。本人荣幸地被同学们在自编的三国杀扑克牌中赋予一张名为王小青的推推推牌,具有的功能是“推倒”,每回合可以推导任意张PPT。在很早还是板书的时代,本人听上过我课的学生说本人课上总是在做推导,但偶尔在黑板上写公式时会断续从嘴里冒出一些对公式物理含义及图像的解释,虽然只是很少一点也很快一闪而过,但听到抓住了的同学受益匪浅。

鉴于多少年来上本人电动课的同学总在抱怨课程对物理图像和概念的介绍和讨论极其匮乏,我们2018年启动的对电动课的教改初衷就是干脆一步到位,把原来的推导全都前置到慕课中,课上改为通过问题驱动的互动全力讨论物理图像和概念。

2020年春季学期电动课在调查问卷中统计到的互动讨论对同学物理问题思考的影响如下:



搜集到的部分同学评述如下:

- 电动力学课重在阐发思想。适合有批判性思维的同学对各种概念提出自己的见解;
- 电动力学是四大力学中最具图像的一门课,希望可以感受到电磁场的美;

- 有一次特别兴奋,花了很长时间去推一个结论没有成果,最后听同学分享了,发现好简单。在感到失落的同时,也明白了这正是这门课的意义之一:教授自学做不到的事情;
- 我开始会认为好像我们之前“认为的”,尤其是受过”物理训练“之后而觉得所以然的事物,开始没那么显然了。尤其在这门课的时候还真的会去反思,我之前学的东西(就高中到现在)到底哪里显然哪里不显然,我觉得这增加了我新的视角;
- 开始关注于更本质的东西,而非表象;
- 发现有许多该想到的问题自己并不能想到,于是更觉得物理很精妙;
- 讨论下来发现一些自己原来不在乎的东西可以大有文章,感觉很有趣。
- 关于 GH-shift,我都看傻了! 真的是一个非平凡的现象,我感觉超越自己的物理直觉!!!
- 最满意的事情就是通过电动力学的角度理解了很多非常前沿的物理知识,比如说超导,比如说电磁感应透明,比如说狄拉克磁单极,比如说负折射率……我感觉这样的付出十分值得,毕竟很好地扎实了我的物理图像,让我对很多问题有着更加深刻的理解,其实有的时候当自己的一些说法或者是自己的一些假设推导被同学们认可的时候,还是很开心的,当大家都把自己找到的优秀材料发到群里共享的时候,真的就有开学术会议的味道啦;
- 在讨论的过程中我听到了大家对同一个问题经常有不同的看法而且解释也听起来很有道理,但是如果考虑到更多因素的话有些观点就会有所不对。这让我对物理更感兴趣了,因为我们所熟知的所有知识都是有局限性的,对这种局限边界的探索不但是对现有理论做出修正的前提,还是发现新理论的开始。学习物理对我来说不但对这个世界有更多的认知、还能将世界变得更好!
- 最满意的事情:第一次能每周都与许多同学一起讨论物理问题,感受思维的碰撞;比较值得,因为确实在思维方面有了不少提升;
- 最满意的事是可以听到很多其他同学的想法,其他同学分享的资料以及王老师分享前沿物理相关的东西,包括做科研的一些感受等等。这样额外的付出值得,能够让人把对于物理的

认识中很多不深入不明白的地方想清楚,这是非常有意义的,比学到多少具体的物理知识好;

- 我们学会了如何不再依赖数学,提高了我们对物理图像的挖掘能力,因为前沿的时候,不再有现成的数学结构可以依赖,被人们称为的“物理口胡”能力恰恰是物理前沿工作最需要的;
- 往大了说,我感觉这个世界最不可理解的一面就是它竟然是可以被理解的。物理最玄妙的一面就是它玄妙的一面竟然是可以被我们所认识的,并且用一些可能看似简单的理论就能描述的。往小了说,关于协变形式的麦克斯韦方程组的相关理论让我感觉实在是美不可言;
- 前几个学期上普物和数理方程及分析力学,觉得太过于琐碎,知识点太臃肿,逻辑不清楚,王老师的电动力学教我们从上帝的视角审视自然,便能把握各种物理理论的精髓,对“物性”有了一个更好的图像层面的认识,重新树立起对自然界各种现象以及物理学的魅力的赏析,比如信息的传播可以归结为电磁辐射的基本理论
- 硬,知识主要靠自学,上课用来建立思维和更多的思考;
- 感谢王青老师,这门课很硬,学的很累,现在确实“电不动了”,但是它竟然真的唤醒了我对于物理的兴趣(它已经在前面数理分力之类的课里被基本磨没了),课上的很多例子让我看到了从复杂繁复的数学公式当中可以得到现实世界各种有趣的东西,让我在面对那些式子的时候感到它们的“温度”,或者说,它们不再只是符号,这或许是这门课最为宝贵的吧。

鉴于上面学生的感受里提到了课外资料,在这里补充一下。为了更好地支撑问题驱动式的课堂互动,我们尽可能地(包括发动同学)寻找和提供一些课程内容相关、学生有可能看懂的课外资料。

在本学期的调查问卷中,同学对它们的反映是,对费曼课:我认为效果不错,都直指了电磁学中的一些关键问题;这些材料确实拓展了我的思维,接触到一些平常不会想的问题;最大的应该就是启发作用,有很多问题没有思考明白的可以通过参考视频和文章弄明白或者是提供新观点。对

电动课:能缩减我的查找的时间,能阅读更多被其他同学检验的适合读的文章,扩展理解,有很大作用;参考材料开拓了视野,对我帮助很大;这些参考材料是课堂讨论的重要的补充,能够加深我对电动力学知识的理解;我感觉对没学过的同学(比如我)来说,视频中的逻辑线可能不如老师发表在《物理与工程》的那篇文章清晰。我是在考前几天仔细看了《理解经典电动力学》那篇文章才恍然大悟第一、二章的精神是什么。

在《费曼物理学Ⅱ》和《电动力学》这两门课里所采用的互动有所不同:费曼课采用的是学生讲,学生主持讨论的模式;电动课采用的是教师讲,教师主持讨论的模式。之所以这样设计,是因为费曼课的人数较少(一般二三十,最多达到五十多人),内容较浅但覆盖面宽。因而可以实现每个学生轮值一次去讲课并主持随后的课堂讨论这种安排,由于内容相对浅,学生自学后讲课难度相对也不那么大。电动课人数一般都是七八十人,内容很深,不容易在一学期内安排像费曼课那样的每个同学都轮到的学生讲课和主持讨论,即使安排了由于内容难度深,效果也不会好。现在的课堂分为两个阶段,讲课阶段和全班讨论阶段,以下分别介绍。

讲课阶段占整个课程的 $\frac{1}{3}$ 到 $\frac{1}{4}$,由讲课者(学生或老师)进行讲解。现在的讲课已经不是原来传统教学意义上的照本宣科了,虽然在费曼课上有些讲课的同学因为是第一次(也是课内唯一一次)上讲台,还是喜欢讲一点教材上的内容(我们会把学长们讲课的PPT很早就发给讲课同学参考)。我们鼓励讲课者讲书上没有的内容,特别是讲解那些被同学提出来但最后没有被票选为课堂讨论的问题(我们电动课每周、费曼课每章都票选出三个得票最高的问题,安排课前小组讨论再进行课上全班讨论。那些票选得票数比较多但未进入前三的问题被列入课堂讲解问题,由讲课人在课上讲解)。本人每周的电动力学4个学时,花1个学时由本人专门讲解那些不讨论的问题,而不再重复讲解任何慕课或教案上讲过的内容。

对本人的讲解这部分,来自这学期调查问卷学生的反馈是:非常满意的事情是王青老师会在每周的第一节课上对没有投票出来的问题进行统一的解答,而且大部分问题可以被一针见血地阐释清楚,这个安排非常合理且人性化。因为经常

会出现同学投票选择的问题和最后的高票问题之间并不一致的情况(一般都会有3~4个问题和高票问题不同),但是部分同学对这些不同的问题又十分感兴趣,每个人的兴趣点也都不一样。老师在保证了课堂效率的同时,尽可能地满足大家对于不同问题的求知欲,这让我感到非常非常满意,每次未入选的问题也可以基本得到解决。

费曼课每周5学时要学三章,每章由一位同学负责,实际花费1.5~2小时(以往学期线下教学时是按两次课,一次3学时一次2学时安排的。2020年的春季学期前一半我们按三次课每次2学时负责一章安排,后一半按两次课,一次3学时负责两章、一次1.5~2学时负责一章安排),在每章里主讲同学先讲20~30分钟,再开始全班讨论。

电动课上的讲课也不都是主讲者自己讲,而是穿插主讲者和听众通过提问的互动,主要通过主讲者发问,听众回答来实现。这种传统教学中的互动方式一般来说效果不是太好,这和绝大多数课堂上老师在讲台上发问,底下同学难有回复场面冷清的情况是一样的。

我们从2014年开始在费曼课上的教改最开始也是从这样的场景出发的。很多年过去,同样的场景情况如果没有调整(后面介绍)就不会真有实质性的改变。效果不好的原因个人认为除了学生从小就被要求谨言慎行,怕搞不清楚回答错了就会感觉羞愧外,主要是以讲课者的视角提出的问题经常和以听众视角感受到的问题不一致,听众经常难以一下进入讲课者的思维轨道接受其提出的问题,随后马上反应过来进而迅速进行思考。

为了能让听众理解接受讲课者提出的问题,就需要讲课者变换不同的角度来陈述所提的问题,并努力渲染和展示所提问题的图像和意义,尽量让听众能沉浸到讲课者所提的问题的情境中去。

在电动课上本人这样做后偶尔会有一些效果,班上的一些活跃分子会受到激发,跳出来回答我的问题,进而形成良性的互动。更值得一提的是,很多讲解问题本人自己也搞不懂(随着课程一轮轮地重复,在阅读了历届学长们提出的问题之后,学生站在学长肩膀上提出的问题越来越难,越来越深),更别提进行课堂讲解了。

对这些自己不懂得问题如果时间和精力允许,我会努力在课前调研思考争取找出答案,如果

不行就只有在同学面前坦然承认自己不懂,在课堂上试着通过师生互动(这时仍需把问题尽量给同学诠释清楚,而能解释清楚问题本身就已经形成了对问题一定层次的认识)来在同学那边征询答案。一般说,教了三十年的老师都不懂的内容,新来乍到的学生应该更不会懂,他们中的多数甚至连问题居然还可以这样问都没想过。但现在信息时代学生确实见多识广,偶尔也确出现过学生知道答案的情况,这时他们会跳出来得意地讲述他们的理解和答案,在表扬他们之余,作为老师的我就这样以最高的效率搞明白了自己搞不懂的问题,心里非常高兴获得了极大的满足。

更多经常发生的情况是,学生虽然不知道答案,却能迅速找到给出答案的文章(很多是原始论文),继而把它迅速发布到班级微信群里。本人对现在作为互联网原住民的学生获取信息查资料的能力越来越佩服得五体投地,他们在课上即时即兴查找的一些文章是我很多年寻觅所找不到的,虽然一下来不及阅读解不了燃眉之急,但为我课后深入学习提高准备了意想不到的养料,促进了我们教师的成长。

在费曼课上学生自己讲课,因为讲课者也是学生,提的问题和坐在下面作为听众的学生会相对更靠近更适合学生的口味,但由于他是以讲课者的身份提的,从这个角度又和听课者拉开了一些距离,再加学生初次讲课对如何诠释和表述一般不够老练,因此经常也很难得到底下学生听众的回复。

反而是本人坐在下面以听众的视角,听讲课者的陈述后以听众的视角和口吻提出的一些问题,即可以抓住讲课者内容中的漏洞和问题,又代表了听众的感受,同时还能穿插一些作为深度了解授课内容的过来人进一步设计的可能的错误陷阱。

有些问题我实际知道答案,但发现讲课者讲的不清楚或有错误,或强调得不够,就故意以不懂和错误的方式装傻跳出来提问质询讲课者。我的这些以挑事方式的提问往往能得到其它同学的呼应,继而形成相对热烈的讨论,在课程调查问卷中同学说光是听老师插进来的问题就能学到很多,另一位同学特别指出课程激烈讨论以及老师时不时提出一些问题或者观点引发大家的思考。

实际上本人经常明知错误,却努力在形成的

互动讨论中故意把错误引向非常不合理的极端。往往到最后大家会形成对正确答案非常深刻的理解和认识,远比我一开始直接陈述正确答案效果好得多。

正是这种在互动中形成的对错误的深刻反思和认识,反过来促进了对正确答案的坚定和深度的接受和认可。这样的做法在我们的课上屡试不爽,可惜因为是学生在讲课,正好碰到能这样做的机会并不是很多。这些有意设置的陷阱在传统教学里往往被刻意地努力发掘,就像相声里的抖包袱一样——教师按预设的路线引导学生进入陷阱,继而获得所期待的学生受到矛盾刺激后的“顿悟”。我们的课实践的是学生为中心,并不刻意去事先主动设计和安排这样的“包袱”,而是在互动中任由这样的包袱自然地冒出来,当一个包袱在互动过程中以一种大家完全意想不到的方式最后被抖出来后,那种在现场造成的冲击和刺激是难以言喻的,效果远大于那些设计好的抖包袱。

除了这些任课教师角度的看法和感受,类似的体会在这学期费曼课的跟班上课助教也在他的总结中提到说他以往在组织讨论时,总是比较习惯于过早地摆出自己提前想好的观点,比较“专断”,这样反而会扼杀讨论的空间。在这门课上学到,要有自己的理解,但不直接说出来,倾听别人的观点,用问问题去推进。助教自己后来转变了和别人交流时的方式,发现往往会有意想不到的收获。

我们这学期费曼班上的学生在调查问卷里更是说十分欣赏课上针对同学的言论临时提出的问题,以及有时候观点矛盾产生的问题。同学认为物理就是在这些细节的研究中有所发现的。与其泛泛而谈它有什么意义、它是什么,不如在观察的过程中去询问一些自己讲不清楚的地方,发现自己不懂装懂的地方,是有很大的帮助的。实际在社会生活中,这种通过提出关键问题,让众说纷纭的争论立见分晓,让道貌岸然的说谎者原形毕露的事例其实也经常是屡见不鲜的。

在全班讨论阶段,由讲课者主持,聚焦一个问题,由每个组派代表(组的发言顺序由主持人确定)发表自己组对问题的解答,对前面的小组已经介绍过的观点,为节省时间一般不再重复,只讲和评论那些不一样之处,发表完后本组组员可以补充陈述,其他人也可以质询,最后一组的代表需要

对前面所有组的观点进行总结和评论,并介绍自己组的额外观点。

本学期与以往学期不同的是进行的是线上讨论,它与往年进行的线下讨论相比秩序性更强(因为发言需要申请上麦,疫情期间直播 cctalk 平台取消了自由上麦模式,相比线下讨论时耐不住就直接站起来插嘴多了一重约束和控制)但对抗性减弱。就如本学期电动课调查问卷里同学说的:缺少了原本大家小组之间“打架”的局面;讨论不如面对面讨论热烈。

我们的主持人在这个讨论过程中既要每个发言者的发言进行评论和质询,以引导其不断把观点进行深化,又要起到承上启下的衔接作用。而作为主持人要能够质疑发言的同学,需要首先自己确保哪些证据可以证明或者证伪同学所代表的小组观点。特别当发现当自己想的跟同学的观点不同时,更需要鼓足勇气大胆说出来,说出自己的看法,可以帮助理清自己的思路、加深自己的理解、并帮助迸发新的想法。

在大家对问题的理解和讨论都比较简单、浮在表面的时候,讨论往往很快结束,这时需要主持人出来“撑场子”,能够通过发表自己的见解来设法激发大家的兴趣把讨论引向深入,同时延长讨论时间;而在出现完全对立的观点时,又需要控制和梳理双方的观点,即避免讨论滑向有害的互相指责和人身攻击,努力引导讨论向能辨明是非的方向发展,又不任由对立双方各自表述完后不再有后继的回音。

这个过程对主持人形成非常大的锻炼和挑战,为了使一堂课的讨论能够让所有的人获得最大的收获,如何控制整个问题讨论的走向和时间?如何努力激发大家的讨论热情?根据现场的情况如何决定哪些问题要穷追猛打深入进行,哪些问题又要适可而止甚至强行中断?这些也许有本人不知道的系统理论研究,但我们目前需要的是在实战中的锻炼和成长。

本人作为教师经过近几年课上的这种主持人锻炼,明显感受到自己的主持能力有极大的提升,也深深体验到前些年在电视上红遍全国的很多综艺节目的主持人做主持工作时的一些技术难点和功夫深度。本人也因此在很多课外的各种人际交往活动中通过施展这种主持能力而成为活动的主角和中心,进而收获良多。

对费曼课,本人在学期开始的几个星期示范了一下如何讲课和主持讨论以后,全班同学各自选择一章(我们费曼课所学的费曼物理学讲义第二册共有四十二章,2020年春季学期的班上期末有31位学生,足够覆盖每人一章)开始他们的讲课和主持讨论的生涯。

每次课前本人会对讲课的学生做一些叮嘱,他们模仿老师和前面的同学做过的样子讲授和主持他(她)自己选择的那一章。为了对他们的付出和效果进行评价和激励,我们每次费曼课后,全班同学会给上课的同学打分,讲课部分满分3分,主持讨论部分满分2分,最后全班同学打分(本人不参与打分)平均后计入讲课人的课程总成绩。

费曼课除开始本人的示范部分外,中后部分完全交给学生运行,本人作为一个旁观者在以往线下教学时经常就拍拍录像和照片。2020年的春季学期是线上教学无法拍录像了,我做的就是如下一些工作:掌控 cctalk 直播平台;应主持人的要求针对某个问题发表意见;如果某个特定的内容我有一些额外的感受,会在讨论的合适地方介入发表自己的观点并进行一些点评;有时看到一些主持人没体会和注意到,但我发现了的适合讨论的关键点,会介入主动惹是生非,把原本平淡的讨论搞乱、事情搞大,让场面火爆起来;有时看到主持讨论的学生控制不了场面,包括场面过于冷清或过于火爆,本人也会介入帮助主持人控制局面。

从课程的实际运行状况看,本人经常性的介入是十分必要的。这是因为2020年春季学期的费曼课我们分了四个组,在全班讨论中每个问题四个组的代表发言一遍,如果没有补充陈述或额外的评论及更深入的讨论(在课程后期内容难度有所升高,学生讨论不出东西这种情况经常出现),往往十多分钟就结束了,三个问题合起来可能也就四五十分钟,加上前面讲课的半小时,离我们设定的一章使用1.5~2小时的时间还有些差距。这个差距或者需要我的介入把每个问题的讨论时间拉长,或者由主持人增加补充讨论问题来填补。

本人和班上绝大多数同学都更倾向于前者,因为相对堆积讨论问题的数量,远不及对问题讨论的深入对学生的能力训练更有效果,只是前者需要机会和时机,不是总能实现,确实有些情况下

主持人眼巴巴地让我发表意见,我提不出额外新的看法,在这种情况下只好用后者来补救充数。从调查问卷中搜集到来自学生的反馈也谈到喜欢老师点评的部分,并特别强调讨论进行不下去的时候老师的点评可以开辟新的方向。

对电动课,突出的问题是人多,2020年春季学期的电动班到期末还有70人分了八个组,一节课就讨论一个问题,八个组轮一遍。经常后面组的代表发言时觉得所要表达的观点前面的组都说过了,如果重复讲听众会反感,不说又显得没水平。这时需要本人在讨论进行中后期时适当加入一些与问题相关的新议题,让后面发言的组也能有新鲜感,这就逼迫本人在前几个组发言时努力挖掘和琢磨新的应景议题,一边听一边得脑筋高速运转想新的问题。

电动课由于内容比较难,它的讨论是本人亲自主持。为了不出现前面提到过的简单的各组各自表述没有互动交集的情况,本人需要认真听取每组的发言,寻找对所讨论问题的观点表述的缺陷和漏洞,进而提出进一步的质询,面对提问和质疑,学生需要组织更多确凿的证据支持自己的观点,这些质询即检测学生对问题所涉及内容的理解和掌握程度,又挑战了学生反应能力,培养了他们不草率、不盲从,不为感性和无事实根据的信息所左右,尽力理解那些观点和自己背道而驰的分析推理方式,克服偏见对判断的影响,努力得出更为正确、理性结论的能力,引导他们进行更深入的思考。

一般能够回答本人第一、二波质询的同学就已经是对内容掌握得非常深入的很好的学生,而能达到回答出第三、四波质询的学生在班上至少对所讨论问题的理解就是一些顶尖的学生。实际课堂的情形经常是发言的小组代表回答应对不了质询,组内外其他有想法的同学跳出来帮忙(当然也有学生不去帮忙小组代表回复质询,反而加入本人的阵营参与提出新的质询),形成一种相对比较火爆的师生互动场景。

来自调查问卷中学生的反馈是:喜欢同学互相讨论的部分和王青老师与同学的交流,可以收获很多;我最喜欢老师在讨论时的及时追问。感觉老师比较保护像我这样的“小白”,对一些同学提出的高深名词都会追问一句“啥意思”(尽管老师肯定知道是什么意思),这样让我能听懂

内容又多了一些。

也就是在这样一次次的陈述观点—质询—回答—再质询—再回答的多次循环往复的教育教学互动过程中,我们在清华物理系的电动力学课上真实地践行了苏格拉底的产婆术,切实地体会到了当年苏格拉底痴迷问问题的乐趣。只不过现在我们的这种互动并不是为了让一方最后崩溃下不来台,而是为了把所讨论的问题尽量彻底地弄清楚搞明白。

7 问题驱动课堂教学的效果和评价分析

本人特别在这样的互动过程中受益匪浅:一方面通过不断地质询—回答的互动,本人把所讨论问题的所有方方面面、犄角旮旯都进行了仔仔细细的深究,特别是很多自己不懂甚至是以前没有注意到的,在和学生的互动及激烈的思想碰撞中会被一步步一层层像剥洋葱一样地逐步揭开,伴随前面提到过的不断有学生提供新的搜集到的文章或材料的侧面支撑,让讨论不仅大大超出原来学生的思维范围,也经常远超越本人原来的理解程度,当讨论到最后终于达到一个师生开始都完全没有意想不到的结论时,所有人都会感到十分欣慰、愉悦、享受和满足。

2020年春季学期的电动课上的讨论让本人尝受到了很多次这样无以伦比的快乐,一种高效率获得对自然界新认知的快乐,一种窥探天机的快乐;另一方面,这种互动大强度地训练了本人利用苏格拉底产婆术与人交流的新模式。

用此方法到生活中任意其他情形下的人与人交流,我发现交流的效率和性价比,交流双方或多方所获得的收获都大大提高。因此本文的题目特别强调在这样问题驱动式的互动教育教学过程中,不仅仅只是学生,而是学生和老师一起共同学习和成长。实际在某种意义上老师获益更多,成长更显著。因为学生只是通过上这门课因参与某几次互动获得锻炼,而我们教师则是一学期内的每次课和每年一轮的课在持续地接受锤炼。

相信如果更多的课采用这样的教学模式因而使任课教师具有了这样的收益,应该期待能使更多的教师因此而更加热爱教学,真心实在地投入教学。

通过本学期的调查问卷,我们得到一些关于

课堂互动讨论的评价,

对费曼课:

- 这简直是唯一一个大型以学会友现场
- 开始习惯于跟同学讨论,敢于说出自己的不成熟的想法进行交流,也在与同学的沟通交流中得到一些新的认识和体会。
- 同学们的讨论也让我能够激发出更多的问题来,不论是对他人观点的疑问还是我自己的观点。

对电动课:

- 经常在讨论的时候会听到没有想到过的思路,自己思考的时候就会开始尝试更多的思路;
- 因为在讨论的过程中往往能够由旧问题引出新问题,使得自己思维更加活跃了;
- 讨论时百家争鸣,气氛热烈;讨论了很多有趣的问题,相当开阔视野;
- 比如一次对光子有效质量的讨论,大家都观点极大地相左,能够很好地拓宽同学们的思路;
- 在课上,同学们讨论了光速在介质中“变慢”的机制,大家引入了各种有趣的猜想和假设,并引用了许多文章作为补充,让我认识到这个问题背后的原因。并且在普通介质和超导介质中的光子的有效质量问题,打破了我们对于光子“零质量”的常规认识,课堂上的讨论趣味无穷;
- 通过讨论知道了同学们的很多想法,都是我之前没有过的,很激动,额外付出也是很值得;
- 我最喜欢的部分是课堂讨论,在自己小组讨论过的问题基础上,当听到其他组别截然不同甚至完全崭新的视角来理解题目时,又能让我耳目一新;
- 同学提供了很多新奇的想法,可以激发思考的浪花。付出是值得的,可以更深入地思考课本外的内容;
- 比较喜欢老师和同学们之间互相探讨,共同思辨的氛围,能形成有效地追问+再追问使问题得到深入思考;
- 最喜欢同学意见有分歧的时候,在几种意见相互冲突的过程中感觉可以对问题获得更好的认识;
- 有很多机会和同学以及老师讨论,老师能不断激发我们思考,觉得很值得,不仅仅学到了电动基本的知识,还尝试去拓展思维;

- 大概就是之前遇到有些问题可能就停留在问题阶段,不再自己进行深入思考。但是因为电动课上的讨论,我就会开始对各种问题进行思考,比如之前讨论的“磁偶极子和电偶极子在多级展开中错开一阶的问题”,如果是之前遇到可能只是有一点疑惑然后就跳过了,但是现在会自己从推导的最原始的式子出发,自己一步步地思考问题的答案;
- 自学能力和发现隐藏物理现象的能力有了提高;
- 【1】刺激【2】天道酬勤,给分不玄学【3】不卷!不像某些文科素质课,为了GPA个个都拼命水论文,这里真正可以摆脱那些急功近利的东西,作一些老老实实本本分分但却开开心心的物理学讨论;
- 本课程最满意的可能是与同学们讨论问题时的收获吧,有很多观点自己也没想到,每周特别组织讨论问题虽然占了不少时间,但我觉得这也是值得的。

对电动课的人数众多问题的组织架构缓解办法是采用分组制度。我们从近几年开始在费曼和电动课上开始探索分组制度,目前已经初见成效。我们采用的做法是,把一个学期分成三个大约五周的时间段,每段都重新分一次组,并且尽量做到与上一次的分组构成错开,也就是上次在一组的同学这次尽量不再被分在同一小组。每个小组每星期确定一个新组长,首任组长由本人任命,以后由老组长任命新组长。曾经出现过老组长找不到新组长只好自己续任的情况,这时我会介入帮助遴选一个新的组长。每个班上的学生整个学期内至少要当一次组长,组长负责召集小组成员,组织课下小组讨论,安排课上代表发言,实际上课堂上发言的小组代表多是组长。

采用小组制使得课程内的学生管理工作负担大大降低,只要把担子压实在小组长身上,两门课的所有管理事宜我只抓电动课的8个组长,费曼课的4个组长就可以运行了,而且多数情况下学生十分乐意当组长,他(她)们自称因此受到了锻炼。

本学期学生在组长安排指挥下的小组讨论(例如何时何地采用什么交流平台)进行得十分顺利和成功,完全不需要我这个任课教师的任何操心。这也凸显了在这种以学生为中心的教学模式

下,学生的主动性被激发调动起来后,自己组织自己互动,教师和助教的教学管理和组织工作效率大大提高。

来自电动调查问卷中搜集到的学生的感受是:

- 担任了两周小组长,参加了两周的课堂讨论,从陌生到熟悉如何在大家面前发表看法,进行讨论;
- 当组长要做的事有些多,比较累;最不满意的事是上课时间很难集中注意力(除了当组长时)
- 最满意的事大概是第一次成功当组长,我的组员们给了我很大帮助,不然我真的说不出那么多东西;
- 我主持本组讨论那一周,把同学们的讨论录制下来反复观看,只为了整理出讨论稿。这中间的思考过程是有意义的,但是也很 demanding;
- 我觉得最满意的事就是我主持了两周的讨论,虽然似乎在课堂讨论中没有很好地表达组员和自己的意思,有些问题仍然没有想清楚,但主持讨论这件事意味着我需要投入更多的精力,需要尽量全面而深入地思考问题,这对我有很大帮助。这样额外的付出是值得的,其实基本上额外的时间都用来讨论和思考,可以让我们更好的理解电动力学的原理和其他问题的交叉。

实际上作为课上全班讨论的前期铺垫,课前的小组讨论是十分重要的,在这里学生可以通过互动交流用所提的问题来组织和梳理、筛选和评价已有的知识和观念,并在这个过程中形成自己小组的独特观点。为此本人特别重视分组,刻意在每次分组时注意把学的好、活跃有思想的学生打散相对均匀地分派到各个小组中。

来自电动调查问卷中学生的感受是这样的:课下讨论,发表观点的过程很有趣。额外的付出是值得的;小组内允许提出新的问题,因为讨论了之后,有了更进一步的思考,可能会有新的问题出现。

除了分组,我们也有把教学工作不按小组直接布置到学生个人的情况。我们安排了学生对每次课的课堂讲授和讨论进行文字记录和总结(2020年春季学期因为采用 cctalk 网络授课平台,平台具有录屏功能,记录和总结就简化成把平台生成的录音录像文字化和整理的工作),要求费曼

课上每个学生必须选三章作记录,电动课每个学生至少参与一次课的记录。

有人质询在这样的体系中,会不会有学生偷懒不干活不参与讨论?我的回答是,这样的学生无法避免,但我们可以设置一些管理的规则让这样的学生要为此付出代价。

具体地,我们的三次分组在每次将要进行新分组的前夕开展一次评分,主要是在小组的使命和工作结束前对原来小组里的成员在前五周小组讨论和全班讨论时的表现打分,满分3分,每个人必须给小组的所有成员包括自己打分,对组外成员即可以打分也可以不打分,最后平均分计入课程总成绩。如果某学生在小组里表现不好包括偷懒和不参加讨论,或讨论中不积极,那他的小组得分肯定不会好。再有我们要求每位同学整个学期内至少要当一次小组长,小组长在其任职的那一周要做不少事情,这些事都需要组员的积极配合。如果某位学生平时总是偷懒耍滑,势必影响大家对他的看法,他任组长时需要指挥组员干事时就会碰到别人以其人之道还治其人之身的不配合障碍,他会体会到人情冷暖和将心比心,因此形成压力。

前面谈到小组打分,实际伴随着打分,我们还设计了二十多个问题并根据教学进程将其分解成三个互相独立的不同调查问卷,每次打分后接着填写一个调查问卷。我们通过这个调查问卷搜集所有学生对课程的各方面的意见和感受,本文中所引用的各种各样的众多学生反馈意见基本都是从这些调查问卷里搜集摘录的。

实际上费曼课我们从2016年、电动课从2018年起就开始做这样的调查问卷收集,到现在为止已经汇总收集了大量所有上这两门课学生真实的意见和建议,它们构成了学生方对课程反映和感受及其建议的最为真实的数据,为以后做更深入定量化的研究提供了数据支撑,目前它们都已被整理放在陌桥网上供有兴趣的读者查阅和研究。

为了驱动学生完成这样的打分和填写调查问卷,每次每个学生只要完成一次,我们就在总成绩里奖励他(她)1分。在这些琐碎的日常课程管理工作中,我们一方面借助小组制度利用学生的力量进行自我管理,另一方面在总成绩中调剂出很多分数,适当地设置在一些关键的进程中如打分和填写调查问卷等,利用分数驱动学生更好地配

合完成这些教学进程。

我们把两门课程各自的总分 100 分划分为两种,非过程分 45 分和过程分 55 分。2020 年春季学期,费曼课的非过程 45 分构成是:期中期末考试占 40 分,讲课 3 分,主持讨论 1.69 分,给同学讲课主持讨论打分 0.31 分;电动课的非过程分是三次考试总共占 45 分。过程分的 55 分两门课程统一设置为:平时作业 10 分,参与做课程记录和总结 1.5 分,每周(按 15 周计算,因为清华大学规定上课 16 周,而第一周是课程介绍和各种准备铺垫):预习报告 1 分、看微课(费曼)或慕课(电动)视频 0.5 分、上网课 0.5 分、参与讨论问题投票 0.1 分,分组每次(共三次):讨论评分 3 分、填写评分表和调查问卷 1 分。

这些初看起来有些凌乱不规则的分数设置并不是我们在教学改革的一开始就能拍脑袋编制出来的,是在教学实践中发现很多教学过程中的具体事学生不干或不爱干,没办法只好从总成绩中匀一些分数出来驱动学生干这些事。例如费曼课的非过程分中的给同学讲课主持讨论打分设为 0.31 分,就是从前面曾经提到过的针对学生主持讨论原来给的 2 分中硬扣出来的,学生主持讨论的分被扣后降为 1.69 分。因为本学期费曼班上有 31 位同学,同学要给他们的每次上课及随后的主持讨论(包括自己)都打分,因此要打 31 次分。为了驱动同学做这个日常繁琐的打分操作,他们每人每做了一次,我们奖励他(她)0.01 分,总共一学期合起来 0.31 分。既然分数是学生的命根,我们就应该好好发挥其在教学过程中的作用,为实现我们的能力锻炼和培养服务。

这样一轮轮的课程演化下来,分数越撒越细,对教学过程的细节也就越来越落实到位。我们也不是所有学生做的工作都给赋分,学生当组长、做演示实验直到目前我们就都未赋分,因为我们发现这两项即使不给分学生也还是愿意做的,演示实验虽然本学期由于疫情学生无法返校做不了,但在 2020 年以前的每年都做,而且学生还很高兴在助教的带领下去物理演示实验室自主做实验。上面谈的是课程标准的百分制分数设置,除此之外根据需要,我们还额外设置了一些奖励加分,包括:针对课程内容,如果同学对某个议题感兴趣,在征得本人认可的前提下可以做小论文获得加分(这样的小论文是有阈值的,本学期的电动课就有

同学提交的小论文因只停留在作业的水平,经努力还满足不了修改的要求而不得不主动放弃);在开课前,我们邀请了部分同学把去年上课同学提出的问题整理进往年的集锦,形成最新版的问题集锦,最后由我录入陌桥网(这件事现在由于建立了陌桥网的信息技术对接和支撑,以后就不需要再做了,因为陌桥网提供的网站技术支持已经能让机器协助教师在教学进程中实时地实现问题的重组和整理,不必再等课程结束后进行专门的处理),这些同学会获得一定的加分;电动课在进行期间,响应教育部的号召国际化慕课,我们征集了一部分同学把原来学堂在线上的电动力学慕课的中文字幕英文化,参与工作的同学会给予一定的加分。

在分数安排里的重头是考试分数,虽说是重头,相比传统教学的占比百分之百已经大幅降低了一多半,这凸显了未来教学对考试越来越淡化,对教学过程越来越重视的思想。

对费曼课,我们采用标准的期中期末两次考试模式,每次考试出 10 道试题,每题占总成绩 2 分。这十道题是两个助教根据考试范围(期中期末各自覆盖教材前后各一半)各自独立出 10 道共 20 道题,再由我从中筛选出 10 道,由助教做出答案,组成考题。实际考试每次用时 200 分钟(也就是每道考题平均用时 20 分钟),考完由助教判各自出的题,成绩最后汇总提交给本人。

费曼课采用这样的考试,特别是考题的内容选择还不能算与课程的教改完全契合,需要在以后的教改进程中探索更合适的做法。

对电动课,我们从教改一开始,对课程学习内容顺序进行了调整。把原来排序第二章的静电场和静磁场,和排序第五章的狭义相对论进行了对调,并配套对其它章的个别小节进行了调整。调整后电动课内容被分为了如下与问题驱动的课程理念及分组相协调的三个模块:

① 电磁作用基本规律是什么?(包括原第一章电磁场的基本规律和第五章狭义相对论)

② 电磁作用的迅变行为是什么?(包括原第三章电磁波的传播和第四章电磁波的辐射)

③ 电磁作用的稳态行为及电磁作用在物质上的体现是什么?(包括原第二章静电场和稳恒电流的电磁场和第六章带电粒子和电磁场的相互作用)

这样的调整把电动力学课的最精华也是最难的理论构架部分被放在学期的开始,学生最有空闲、精力最旺盛的时间段,以增强课程对学生的吸引力,而把最繁琐复杂、计算量大不太有趣、学生又相对熟悉的静态电磁场推迟到学期最后的第三个模块。近三年三轮课的实践证明学生是很欢迎这样新的内容顺序安排的。

配合电动课教学内容重构的三个模块,我们把传统的期中期末两次考试改成了三次考试,每次只考一个模块的内容。这一是为降低每次考试的风险(电动考试都是大题,很容易一错就不及格),二是使考试覆盖面更宽,三是配合课程的内容重构和分组。我们采用每次考试考三道大题,每题占总成绩5分(因此一学期下来总共要考9道大题共计45分)的设置。考试题全由我出,卷子也由我判,每次考试的时间设置是4个小时。

2020年春季学期的前两次考试都正常地按4小时完成后收卷,在2020年6月9日进行的第三次也是期末考试由于试题计算量大,多延长了一个小时。期末考试在疫情期间按学校要求被安排在了晚上,为使收卷时间不至于过晚,我们把考试开始的时间提前到了18:30,结果最后就演变成了一个18:30—23:30的电动之夜。

以往在学校进行线下考试时,由于教室楼22:30就要打扫卫生关门,我们晚上的考试最多只能考到22点出头,这次的线上开卷考试历史性地突破了这个时间边界的限制,形成了真正的电动考试之夜。

考试前后同学们在班级微信群和朋友圈里发表了各种诙谐幽默的议论真实地再现了我们考试的情况,它们被以“昨晚(6月9日),清华电动力学期末考试”为题发表在了《物理与工程》期刊的微信公众号上,加上本人在物理系系友中历年流传下来的电动考试时间超长的传说,在国内引起轩然大波,四天的时间阅读量达到了4万。有人评论说原来世界排名前15的学校是这么虐学生的!又有人评论这是高校考试新航标。还有人评论说这在99%的普通高校里绝对是个教学事故……。鉴于这次考试只占总成绩的15%,虽然考试时间超长,但各方并未对这次考试给出太过负面的评价。

实际上2020年的春季学期的电动课的三次考试在本人三十年的电动力学教学历史上,已经在考题内容上实现了质的改变和飞跃。以往多少

年的期中期末两次考试,都是在有限的几道题里打转转,改来改去。偶尔出一道新的考题,要费老劲。主要是新题极其难出,难有新的思路。

为了确保旧题的有效重复或改进使用,每次考试我都把考试试题纸回收。但聪明的学生总是凭记忆在考试后把试题恢复出来,流传给学弟学妹。极端情形在清华大礼堂上演的某年物理系学生节目中,作为节目的一项表演内容,演员纷纷把我用过若干次的某个题目卷成纸团从台上抛洒给台下的观众,让坐在观众席上的本人羞愧难当。

2020年的春季学期,由于前面介绍的问题驱动的课堂讨论的深入,激发了本人很多新的灵感,我从课堂讨论的内容出发设计了很多全新的试题。说这次的试题不同以往,一是大部分试题完全是新编的,二是所有新编的题都和课上讨论过的问题有密切关系,很多就是讨论问题的定量化、深化和细化,这样的试题紧密联系课堂讨论的内容,真正实现了考试和课堂讨论的无缝衔接。

从这个角度说,我们通过互动实现的问题驱动式的教育教学不仅锻炼提高了师生的应对未知的能力,也为教师编制与课程教学相衔接的试题开辟了新的思路 and 空间。从本学期电动课调查问卷收集到的学生如下反馈也体现了这些:

- 考察内容与课程讨论有关,第一次遇到这样的考试形式,考察的内容有助于我们对问题进行更深入的思考;
- 感觉题目出的还是和讨论有关系的,就是小问题越来越多,希望老师能忍住啊;
- 感觉老师真的出题的时候是深入结合了我们平时探讨的内容,根本不是对祖传试卷的简单套用,感觉一方面这样可以检验我们平时到底是否认真讨论和思考了,而另一方面确实可以帮助我们加深对上课很多问题的理解和认识,而且这样也确实使得我们平时在复习的时候也可以有的放矢,抓住重点;
- 考前都有详细的提示,考题切合所学又有提高。建议继续秉持从同学讨论中选取考试材料的做法:一是可以监督同学上课听讲,二是对课堂讨论有延伸,便于同学对一些问题的继续思考,三是这样的话无法通过其他资料短期恶补,需要在学期开始时对同学说好,以便投机取巧者知难而退,避免浪费时间;
- 由于老师关于考试的事情已经说的很到位了,

所以复习的压力和其他的科相比不那么大,更关键的是占分比小,而且一学期考三次,所以像电动力学本来应该有的巨大压力给分批瓦解了;

- 电动之夜真美妙。

在课程总成绩的计算中,还涉及占 10 分的平时作业。目前这两门课的作业都还是按照传统教学中所选取的作业让同学每星期做,由助教判阅并给分。

与作业相关的习题课,在 2020 年春季学期,对费曼课是由两位助教在考试前的一个星期联合上(以往线下教学时是分四次隔大约四周上一次,每个助教讲两次),每位助教讲一小时,讲解他们负责判阅的那部份作业中出现的問題,同时对考试进行有针对性的指导;对电动课则是本人在考试前一周,把原本应该大课讲解的作业中问题的 ppt 直接发给同学复习(以往线下教学时是本人直接在大课上讲授,这次不讲主要是为了把大课时间留出来做课堂讨论)。

另外由于同学在疫情期间都未返校,原本费曼课上安排的演示实验直接取消了。像作业、习题课和演示实验这些内容,目前因为精力有限未作教改,在这两门课里都还按照传统教学模式的做法安排,期望在未来的教学改革进程中,本人能够有精力去触及他们,探索出更好地服务于课程中心目标的改进方法。

作为整个教学过程的汇总浓缩,我们把本学期开设的两门课程的主要步骤罗列如下。

《费曼物理学 II》教学流程:

- 开课前一准备好并发布微课视频,整理好历届学生的提出的问题及其讨论清单发布;
- 开课第一周一介绍课程的梗概、教学设计与安排,进行第一轮分组,指定小组长;
- 从第二周起每周第一次课前一学生看微课视频,做预习报告,对整理出的问题清单投票,小组讨论每周三章中每章得票最高的 3 个问题;授课学生发布讲课 PPT;教师要整理预习报告里的问题发布投票,在班级微信群和网络学堂提供本周学习内容的参考材料;
- 每周的每次课上一主讲学生(开始几周是教师示范)讲课和讲解得票高但未到前三的问题,然后主持全班讨论,每章(每周学三章)讨论票选出得票最高的 3 个问题;

- 每周课后一学生给上课并主持讨论的学生打分,在班级微信群里继续课上未尽的讨论;看课堂讨论视频回放复习,整理课堂讨论记录发布、做作业;周末小组长任命下周的新组长;直播(包括所有课程的回放)平台 cctalk 网址: https://www.cctalk.com/v/15814684472954?xh_preshareid=48b34df4-7fa7-48ae-bb0b-e7ecf3b83953&xh_fshareuid=124041905&xh_preshareuid=124041905
- 第六周末、第十一周末各重新分一次组,教师重新任命首任小组长,在第六、十一、十六周末所有学生填写针对过去的五周中的学生参与讨论评分表和调查问卷;
- 在第八周、和第十七或十八周分别进行中期末和期末考试,在考试前一周占用大课时间,各讲一次三学时的习题课。学生每周交一次作业。《电动力学》教学流程:
- 开课前一准备好并发布慕课视频,整理好历届学生的提出的问题及其讨论清单发布;
- 开课第一周一介绍课程的梗概、教学设计与安排,进行第一轮分组,指定小组长;
- 每周第一次课前一学生看慕课视频,做预习报告,对整理出的问题清单投票,小组讨论每周得票最高的 3 个问题;教师整理预习报告中的问题清单并发布投票,发布本周的课程教案 ppt,在班级微信群和网络学堂提供本周学习内容的参考材料
- 每周的每次课上一第一个学时教师讲解得票高但未到前三的问题,剩下主持全班讨论,票选出得票最高的 3 个问题,每个学时讨论一个问题;
- 每周课后一学生在班级微信群内继续课上未尽的讨论;看课堂讨论视频回放复习,整理课堂讨论记录发布,做作业;周末小组长任命下周的新组长;直播(包括所有课程的回放)平台 cctalk 网址: https://www.cctalk.com/v/15814878821363?xh_preshareid=c88ebcde-2d69-43af-b053-154e3cc1d7a1&xh_fshareuid=124041905&xh_preshareuid=124041905
- 第六周末、第十一周末各重新分一次组,教师重新任命首任小组长。在第六、十一、十六周教师利用大课上一次习题课,周末进行一次考

试(最后一次考试会由学校安排到考试周考),所有学生填写针对过去的五周中的学生参与讨论评分表和调查问卷。

8 问题驱动式教育的普适性和推广性

我们要特别强调一下,本文所讨论的在互动中实现的问题驱动式教育虽然是在清华大学这样中国最好的大学里探索实验诞生的,它的应用和推广确不限于清华大学,可以适用于所有的高校,适用于所有的中小学校,就本人所知中小学里很多真正学的好的学生不仅善学善读,而且善问。这里面的核心关键在于,对不同的学生只要选取不同的适合他(她)们的问题通过互动来驱动整个教育教学过程即可。

因为人从小到大,成长的过程就是不断地通过提出问题和解决问题来应对未知的过程。小孩就提小孩的问题,大人提大人的问题,低年级提低年级的问题,高年级提高年级的问题,笨人提笨人的问题,聪明人提聪明人的问题,虽然提问题是站在已知的基础上去触碰未知,是一件不容易的事情,但每个人只要提超越自己原有思维一点点的问题以驱动自己提高,应对未知进步一点点就可以了,这样不断地坚持下去,日积月累,积少成多,最后就会成长为能在社会里生存,对社会有用的人。

这种教育方式的普适性还体现在2020年的新冠疫情对传统的线下教学形成了重大的冲击,很多学校和老师为把线下的课堂转到线上花费巨大的人力物力,而我们的教学除了多使用一个通用的cctalk网络平台(换其他平台也是一样的)直播之外,其他没有什么变化也没受什么影响,与线下教学在操作上没有不一样的地方。我们的这种教学模式对在线上,还是线下,或是线上线下混合进行并不敏感,因此可以逃避那些对究竟需要线上,还是线下,或是混合的质疑和纠结。

也正是因为要凸显这种普适性和可推广性,我们在本文中刻意没有放入涉及课程物理内容的比较深度的专业细节,或即使物理相关也是相对泛泛或只提一下名词,只把教育教学的理念和做法提炼出来加以介绍。

实际这两门课里那些涉及物理讨论的内容对学物理和教物理的人可能更具刺激性和吸引力,

关注这部分内容的读者可以直接上本文结尾所给出的陌桥网的课程网址,那里开放了课程所有的视频(包括费曼课的微课、电动课的慕课视频及2020年春季学期的网课视频)和问答(包括搜集整理的历年对这两门课的教学内容所提的各种问题汇集及近两轮课的课程讨论记录)及评价栏目,从这些栏目里读者可以一窥和欣赏这两门课程的更深度的物理内涵。

上面谈及的通过互动实现的问题驱动式教育的可推广性,是说所有的课程都可以也能够采用这种教学模式,但是不是就意味着所有的教师都应该或必须按这种方式教学?所有学生都应该或必须按照这种方式学习?显然不是!教无定法,学无定式。在教与学的进程中,每个人只需按照适合自己并喜欢的方式教和学就好。我们所展示的是一种本人经过自己的教学实践认为最有效地激发学生的主观能动性,培养和锻炼教师和学生的应对未知能力的教育模式。这种模式的实行,相比其它教育模式来说师生要付出的更多,也会收获的更多。是否愿意做对应的投入因而获得相应的收益,因人而异,完全不需要也不可能强求。

行文至最后,需要介绍一下我们为什么选择跟陌桥网合作。通过与陌桥网的合作,我们的教学改革从过去的摸着石头过河,进入到一个有明确的学习科学和教育技术理论辅助和支持下的规划发展阶段。我们对技术扮演的角色,及其在教学实践中将会发挥的作用,以及将信息技术与教育教学深度融合的内涵,有了更深入的认识和理解,为进一步的改进指明了方向,更加坚定了教学改革信心。

从陌桥网的角度看,我们的教学活动属于社会构建主义者的活动,与陌桥网学习管理系统一起,是建立在探究社区(Community of Inquiry)理论框架之上的、能够发生深度且有意义学习的一种教育体验。两门课的教学策略(Instructional Strategy)都涉及小组合作式与基于探究式的学习,而教学方法(Instructional Method)则与基于团队式学习(TBL—Team Based Learning)类似。一切都通过翻转课堂的混合式学习教学方式得以实现。

教学模型(Instructional Model)是指导教学方法的指导方针或策略集。有效的教学模型是建立在学习理论之上的。学习理论是基础的教育理

论,目的是解释、描述学习是如何发生的,哪些因素会影响学习的发生,记忆在学习中起什么作用等。跟医学领域的基础研究只能解释、描述基本原理不能用于治病一样,教育领域的学习理论也不能用于解决教学中的实际问题,只能给予基本原则性指导。基于教学模型,教师们可以选择或制定教学策略,从应用教育研究角度来说,教学策略是最高层次的抽象,最后需要通过具体的教学方法才能真正进入课堂。

探究社区这个理论框架是一个教学模型,从2000年建立至今,是教育行业里研究较为广泛和深入的一个领域。按照该模型的描述,只有通过社交存在、认知存在和教学存在的相互作用和交互融合而产生的教育经历,一组个体学习者的学习才会深度发生。我们借助于陌桥网建立的教学环境,具有强大的社交存在和教学存在,最后促进了极强的认知存在的发生。认知存在是深度且有意义学习结果的外在表现,通过实际探究模型(Practical Inquiry Model)这种批判性思维模型才具有可操作性。实际探究模型包含的触发事件、探究、集成和解决四个阶段,与我们的教学设计十分吻合。

小组合作或协作式学习以及探究式学习等也许是许多人耳熟能详的概念,但这些只是教学策略,除此之外还有很多诸如基于任务式、基于项目式等策略,这样的策略需要具体的教学方法才能真正应用于具体的学科教学。如果只是泛泛地谈论教学策略,没有具体的教学方法,教育理论及教育研究成果是很难与教学实践相结合的,各种社交媒体上那些分不清教育基础研究和教育应用研究的言论更是只是夸夸其谈而已。许多一线教师感觉一堆高大上的理论没什么用,很重要的原因就在于此。只是教学策略层面的理论对一线教师来说是不够的,教师们需要的是能够进入课堂的教学方法理论。

基于团队式学习的教学方法是一种小组学习的结构化形式,强调学生在课外准备和在课堂上运用知识,是实现某种教学策略的具体教学方法之一。基于团队式学习的教学方法由学习准备、iRA(individual Readiness Assurance)、tRA(team Readiness Assurance)、问题申诉、迷你讲座、应用练习及同行评价(peer evaluation)等环节组成,结合 ICAP(Interactive Constructive Active Pas-

sive)主动学习理论的主动操作、构建生成以及交互会话等活动的应用,学生可跟随个人的答案,加入团队并解决问题,并在其没理解或不正确的地方提出申诉。这样的过程激励学生,使他们对自己和彼此负责,同时也向他们介绍致力于单个问题的各种思维过程。为了增加动力并引入有趣的的游戏环境,教师经常让学生以小组为单位在各种课堂学习任务中竞争。陌桥网提供很好的 TBL 支持,今后我们的教学方法也会考虑更有效地遵循这样的过程,以便能将更多基于团队式学习的教育研究成果更实在地应用于教学实践。

混合式学习是当下很热门的话题,是将线上学习与传统教学结合起来的一种教学方式。在这样的教学方式下,教师们可以将各种教学策略进行组合,并通过具体的教学方法来创新学习方式和教育模式。实施混合式学习不是简单地把教学内容录制成微课(慕课)放到一个网站上就行了,更不是教师作为 18 线主播把传统教学方式搬到线上。混合式学习需要教师将平常在课堂上通过言语讲解的 PPT 录制成微课(慕课),并根据学习目标的需要选择、组织相应的其他学习资源,采用微课(慕课)+围绕微课(慕课)的学习任务,以学习目标引领,教学任务驱动,才能代替教师讲课+提问互动的传统教学方式。教师讲课+提问只是教师与部分学生的单向交互,或者部分好的或性格开朗的学生与教师的双向交互,而学习较差或性格内向的学生就会越来越差。只有通过微课(慕课)+围绕微课(慕课)的学习任务才能实现教师与学生,学生与学生以及学生与学习内容的全方位交互。

为了有效地开展混合式学习,教师需要对技术知识、教法知识和内容知识有深入的了解,或者能够得到切实有效的指导和帮助,这是 TPACK(Technological Pedagogical Content Knowledge)这个教育技术理论框架的核心思想,该理论为教师专业发展指明了方向。而具体的学习评估和教学评价,一方面需要对教育测量理论,尤其是考试理论等有深入的理解,另一方面还需要更好地利用教育设计研究这种研究方法论下的研究。没有坚实的研究能力和对世界最前沿的研究成果的跟踪,学习创新将永远只会停留在口号上。

我们这学期的两门课之所以采用陌桥网,主要是为了能够借助信息技术工具更轻松自然地开

展教学。除了陌桥网本身的学习管理方面的功能之外,我们更多的是要求陌桥网按照一线的教学需要提供我们额外想要的一些功能,这方面陌桥网团队做得非常出色到位,除了能及时改进和解决技术问题之外,技术在教学中几乎是隐身的,既发挥了重要作用,极大地帮助了教学,又几乎感觉不到其存在。这推动了这两门课向本人期待的以学生为中心的理想教育教学场景的靠近:教师隐身,技术也隐身,学生作为主体在上课下课看似自由、自主兴奋地开展各种教育教学活动。

人类教育史上最具颠覆性的一次系统性变革正在呼之欲出,变革的动力在于创新,创新的源泉来自融合。在技术增强的世界中,学习创新的基础是人类学习和认知理论以及教学设计的原理。高校教师的教和学生学习方式的发展不仅是由于新的教学方法和新的数字技术的兴起,而且还因为人们对高等教育在发展终身学习和专业技能中的作用产生了复杂而不断变化的期望。将技术应用于课堂在这两门课上还只是刚刚起步,未来还有很长的路要走。不过,我们坚信,只有信息技术与教育教学深度融合才能催生教学方式变革,引领教育理念转变。沿着这样的发展思路,在今后的教学中我们会更加努力、务实。

致谢:感谢陌桥网的几位大咖对本学期两门课程的技术支撑,多少次半夜时分,突然提出解决技术问题的需求,每次都反应那么快速,问题解决

的那么完美;特别感谢陌桥网的老总郭应寿先生对课程与网站相关各项工作的鼎力支持、参谋与配合,及对本文内容的补充。感谢费曼课的助教郑浩、马肖冰同学,电动课的助教涂凯勋、耿子侃同学。这两门课的很多细节工作全靠他们;特别是两位随堂上课的助教郑浩和耿子侃,除了上课占用很多时间外,当网络出现问题时,全靠他们顶替教师上场主持教学;涂凯勋负责组织安排学堂在线的电动慕课字幕英文化,十分成功。

附:《费曼物理学II》《电动力学》课程网址和二维码

(《费曼物理学II》课的网址:

<https://www.ahamojo.com/org/lms/curriculum/1427/course>

《电动力学》课的网址:

<https://www.ahamojo.com/org/lms/curriculum/1426/course>)

