

通过无学分讨论班锻炼 低年级本科生的逻辑、抽象、物理思维

复旦大学 万义顿

缘起

笔者于2016年夏天加入复旦大学物理系，秋季便开始指导2位四年级本科生做毕业课题，翌年春季开始教授“广义相对论”这门高年级本科生与研究生共选课程。在指导学生和教学过程中，发现部分学生较缺乏逻辑思维、抽象思维、物理图像。这种思维能力的缺失主要体现在科学写作水平较差和不擅长非计算题型两个方面。经过一段时间的观察和分析，笔者认为问题的根源可能在本科教育前的阶段。我国的高考制度虽然无可替代，但应试教育的培养模式会一定程度地弱化学生的逻辑和抽象思辨能力。为了缓解这方面的问题，笔者在系里的号召下决定为学有余力的低年级本科生开展能同时加强逻辑、抽象、物理思维的无学分讨论班。自2017年秋季以来，笔者已经开展了6期无学分讨论班，涉及多个不同的物理和数学基础方面内容。通过精心设计课程内容、采用研讨式授课方式及创造趣味授课环节等，每次讨论班都吸引学生踊跃报名、深受学生们喜爱。下面着重叙述其中的两例。

实例一 群论讨论班

群论讨论班共举办了3次，讨论的内容包括群论和群表示论的基本知识、李群和李代数的基本知识以及群论在物理学中的应用，以抽象的数学知识为主，具体的物理图像为辅，一方面提升学生们的逻辑和抽象思维能力，另一方面，由于群对称性是现代物理的核心之一，也可以培养学生基于对称性的现代物理思维。

讨论班以学生自主学习参考书目，并在课上进行讲解和讨论为主，笔者适时点评讲解为辅，全程英语。每位学生均需要吃透书本中的内容，负责展示的同学自主筛选展示内容，还要结合自己的兴趣，查阅相关资料，尝试提出并解决一些书本之外的问题。每次讨论课由2—3名学生展示，每位学生需要展示1—2章节的书本内容。在学生展示的同时，笔者会进行纠错和补充，帮助学生正确地理解知识；在每次讨论的最后，笔者都会点评和总结，帮助学生改善演讲方式，并且在学生的理解和表述不恰当时，拿过粉笔，直接在黑板上补充讲授相关部分。

讨论班还设有习题课，由助教讲解群论相关的具体计算例，方便学生们理解知识并自主将理论运用于实践。这种以学生为中心的授课方式可以充分调动起学生的主观能动性，学生自己根据兴趣选择重点学习的内容，不会因为固定的教学大纲而失去学习兴趣。通过交流展示环节，学生的逻辑能力、表达能力和应变能力得到充分的锻炼。在课下，笔者鼓励学生自行分组进行讨论学习，提高自己的沟通能力团队合作能力。

该讨论班难度较高，允许自由退出，但每次举办均有6—7名学生坚持到了最后，坚持到最后的学生均对讨论班给予了很高评价。大部分学生表示，讨论班的形式新颖，内容扎实，过程虽然很艰辛，但坚持到最后收获颇丰。在常规课堂上，学生多少带着应付考试和课程论文的心理在学习，不深入挖掘一些重要的但不考的内容。在讨论班里，学生则需要深入思考并总结，最后逻辑清晰地表达出来。这样的学习是十分高效的，部分学生认为这样的讨论班可以学到比自习或传统课程更广的知识。因为不同的学生有不同的知识背景和思考方式，因此能通过交流学习不同的思路，并结合自己的知识背景，对问题产生新的理解。此外，学生们也提高了演讲能力、概括能力与自信心。数名学生反馈表示，在讨论班的最后阶段明显感觉演讲水平提高了，演讲时的心理压力变小了，在其他课程中也更乐于展示自己学到的内容。

群论讨论班学生反馈节选：

彭心越：“一学期的群论讨论课结束了，我收获的不仅仅是一些群论的知识，还有对物理学更深

刻的认识甚至英语演讲能力，非常开心这学期选修了这门课程。”

郭家祺：“首先我觉得这个讨论课是一份很特别的经历……付出了很多，但在里面也学到了很多……能在大一刚入学就体验到这么美妙的经历，要感谢万老师，也要感谢负责任的助教，还要感谢一起学习的同学们……”

覃柏霖：“首先，我觉得这种形式的学习是最高效的……自己准备讲授的时候需要把书上每一个细节弄明白，并且转化成自己的语言表达，要求极高。其次，课下需要花大量的时间准备才能把知识稳固地学好……最后，讨论班关键在于讨论与合作……我觉得讨论班的学习和自己看书自学最大的区别和亮点就在于交流，自己看书可能碰到死胡同纠结半天想不明白，但和同学一说就很快有新的灵感出来……”

实列二 广义相对论讨论班

参与广义相对论讨论班的学生同样以物理系一二年级本科生为主，在后期学习更高级内容的时候，也有部分物理系研究生加入了讨论，深入讨论了广义相对论的高级内容，如测地线汇、超曲面、拉格朗日形式和哈密顿形式，以及黑洞理论等。

每一次讨论分为两部分。第一部分，所有内容的讲授几乎完全由学生独立完成，笔者很克制地参与讨论。每一位学生需要负责一部分章节的讲授。首先，学生需要在课后阅读文献，查阅资料，为下

一次的讲课内容做充分的准备。其次，在展示的过程中，其他听讲的同学可以任意打断演讲，提出自己的疑虑和质疑，由主讲人负责回答；如果主讲人无法解决问题，那么所有同学都会参与讨论来集思广益，直到问题被解决后再继续；只有当学生们实在无法解决问题时，笔者才会介入讨论。这样的讨论方式充分调动了学生的学习主动性和积极性，提出和解决问题的授课方式也能大大增加讨论的广度和深度。每一次的讨论课上，学生们都在毫不留情的质疑批判和对每一个细节都不放过的激烈讨论中争得面红耳赤。笔者要求每一次课每一位学生都必须至少提出一个问题。有的学生甚至会提出非常“刁钻”，但非常深刻且具有物理意义的问题，能让其他同学从不同角度更好地理解所学习的内容。这正是笔者希望看到的。

第二部分，笔者会在每一次课程前准备5道与当次讨论相关的考题，以考察学生对所学知识的理解程度。这些问题大部分都蕴含着十分重要的物理本质。每道题的解答时间为2—5分钟，因此很难通过直接计算在规定时间内答出，必须要动脑子。这种考题与一般课程考试或者高考、考研的题型截然不同，非常考验并锻炼学生的物理直觉和思维。笔者将学生分成若干个二人小组，组内可以合作讨论；不同组之间则互相竞争，优先正确解决问题的学生能拿到更高的分数，在学期结束时统计总分，并对得分靠前的学生进行奖励。这种方式成功激发了学生的思考热情，培养了他们的合作能力。最终问题的解决也能给学生留下深刻的印象，从而更好地理解和记忆每一次讨论课所学到的内容。

为了进一步提高学生的参与热情，笔者设置了

“赌分”的规则：学生读完题干后，可以判断自己在规定时间内成功解答的概率，并拿出自己的一定分数进行押分，加入“赌局”。如果答对，就能拿到没有答出来的同学所押的分数，反之，则会丢掉自己的分数；学生的得失分与其所押分数成正比。这种激励机制使得整个讨论班的气氛彻底活跃了起来，学生们或是谨小慎微或是大胆投注，充分调动自己来思考问题；最终精巧的答案水落石出的时候，同学们也大呼过瘾；有时，某些学生甚至能构想出比标准答案更有意思、更直击本质的解答。另一方面，学生们也通过“预估”题目的难度，进一步锻炼了物理直觉。

事实证明，学生对这样的课程模式都兴致盎然。在学期结束的总结中，学生们纷纷赞赏了这样紧张刺激的讨论课，认为这样能寓教于乐，缓解自己对复杂物理知识的畏惧感，让困难复杂的广义相对论变得充满激情和乐趣，主动深刻的思考也有助于构建物理模型，训练物理思维，形成物理直觉。一些参加课程的本科生，在课程结束后很快就能上手研究一些相对前沿的课题，例如宇宙学中的原初微扰理论等内容。同时，许多学生也对“赌分”模式提出了微调和修改的建议，可见他们对这次讨论课的认同和参与程度。在这个讨论班之前，又有多少人认为一二年级的本科生能够学懂，又有几个学生敢于自己去尝试学习高等广义相对论呢？

广义相对论讨论班学生反馈节选：

曾杨礼：“同学讲课为我对一些知识的理解提供了新的视角，而与同学的讨论进一步加深了我对广相的理解，老师与学长的点评与思想不仅让我能

更数学，也能更“物理”地看待广相。在备课的过程中，对知识的仔细思考令我有了更深的理解；紧张刺激的赌分题既令讨论班更加欢乐，也逼迫我们大脑迅速思考，且更像一个 physicist 一样去思考……”

袁天：“讨论内容为广相的数学基础。万老师精心设计了讨论班的各个环节。同学们充分准备，且积极参与讨论，学习效果远优于自己啃书。大一同学也能学广相，刷新了认知。”

赵冠迪：“参加广义相对论讨论班极大刺激了我对物理学习的兴趣，认识到自己还存在的欠缺，并且极大提升了我们自学内容的能力。希望后续增加报告人的时长，因为值得讲的内容很多。”

曾兆诣：“讨论班激情四射，在互相对喷和互相吃分中学到了很多广义相对论的知识，相当有意思……”

总结

可见，这些讨论班的设置一定程度上模拟了科研的过程。参加讨论班的学生都得到了初步的科研训练，培养了对于理论物理和数学物理的兴趣，极大程度地锻炼了逻辑思维、抽象思维和物理思维，他们中很多人在讨论班后选择了科研的道路。如钟思威同学在本科期间先后在多位老师课题组内学习，目前在纽约州立大学石溪分校攻读博士；朱津纬同学在讨论班之后进入周洋老师课题组学习，目前在芝加哥大学留学；彭心越同学现在约翰霍普金斯大学攻读博士；参加了群论讨论班的赵雨同学和王思源同学，目前均是笔者课题组的直博生，研究理论物理方向；其他还有数名学生均在攻读理论物理方向的博士；即使是毕业后离开科研的学生，也表示自己的表达能力、写作能力、合作能力、独立思考能力都在讨论班中的得到了大幅提升。