

中国高等学校实验物理教学研究会第五届常务理事会2019年工作会议
暨物理实验专题研讨会

大学物理教育中 提问题能力的培养

王青

清华大学物理系

2019年8月2日

西南交通大学峨眉校区

序

做此报告的背景：

- 想不到能有什么值得分享的教学体会与物理实验教师交流
- 此题目是刚开始涉及不久，它具有一定的普遍性，因此拿来和大家一起讨论
- 我直觉认为这个题目在实验物理里更加重要，抛砖引玉
- 持续了几年的费曼物理学和电动力学课的翻转课堂实验，提问题是主角
- 对待教改的两种态度：1.以不变应万变（包装+应付差事）2.动真格 从哪儿入手如何做？
- 此题目人所共知，但多被忽视，认为是技术性相对次要的课题 做邀请报告题目选择的例子
- 为什么要单单讨论“提问题”？这是主要矛盾、牛鼻子；但万事开头难

笛卡尔（爱因斯坦）：提出问题比解决问题重要！

关于“提问题”：

- 老师→学生；学生→老师；老师→老师（自己他人）；学生→学生（自己他人）
- 不仅是学习教学中，在日常生活的所有场合都会发生
- 都说中国人腼腆，不爱提问题
- 提问题及后续的讨论是东方传统教育课堂中最最欠缺或不足的内容
- 我们未来应该把物理及科学教学作为一种对提问题最最好的训练模式
- 它是新的教育革命中在操作层面最核心和最最基础要达到的目标

在一个被泛滥信息包围的时代，每时每刻都会遇到各种问题，大到涉及世界经济发展趋势，小到个人生活的决策。面对别人兜售的观点---他们热衷于让你相信这是“事实”，你明明觉得有什么不对劲，可一时又很难找到突破口反驳，你是不是不假思索懒惰地全盘接受信息，还是**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**？面对立场和你完全相左的意见，你是只愿听价值观取向和自己相似的观点，党同异伐，还是能够**控制感情冲动，做出理想判断**？面对提问和质疑，你有能力**组织更多确凿的证据支持自己的观点**吗？还是只把声高当有理？一遇到别人提出相反的观点，就认为是没事找茬，有意和自己过不去，甚至为此恼火：他为什么横竖不肯接受我的观点？过于感情投入，最大的危险就是可能没法**识别谬误和操纵**。将难回答的问题直接枪毙掉比仔细思考后再回答要容易得多，而且这样做一定让你显得一言九鼎霸气外露，但也在无形中关闭了通往批判性思维的大门。不草率、不盲从，不为感性和无事实根据的传闻所左右，尽力理解那些价值观和我们背道而驰的分析推理方式，克服偏见对判断的影响，这样才有可能得出更为正确、理性的结论。我们需要自己去问问什么！擦亮双眼看清世界！

《Asking the right questions》中文翻译版介绍语

来自父母和师长的信息：

- 诺贝尔物理奖得主I.Rabi回忆：当我们放学时，所有的母亲都会问自己的孩子在学校里又学了些什么。我母亲不同，她总是问：“你今天在学校里又问了什么问题？” Rabi就是在这样的环境中培养出丰富的想象力的。
- 陕西省委书记胡和平，前清华党委书记：张光斗要求他每次参加国际会议必须提一个问题
- 小时坐在自行车的横梁上曾受父亲的鼓励不断“刨根问底”
- 小学曾屡被身为语文教师的班主任批判不举手回答问题
- 苏格拉底认为，教师的任务并不只是传播真理，而是要做一个新生思想的“产婆”。他在讲学或辩论时总喜欢采用对话或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的，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婆一样，虽年老不能生育，但能接生，能够育新的生命。

我课上的学生对提问题的看法：

1. 我认为提出问题应该是一个很自然的过程，读书、思考的过程中自然而然就会提出大量的问题，真正愿意思考的人不会缺少问题。当然，在与别人交流的过程中我会了解到别人提出的问题，而每个人的思维角度不一样，自然会提出很不同的问题，我认为这是对我帮助极大的一点，为我提供了很多不同的角度，有助于我把问题思考的更为全面。而从我个人的角度来看，刻意培养提出问题的能力是没有必要的，也是不自然的。

2. 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。

来自某优秀中学老师的回复：

首先能到北大物院的都是我们学生中的佼佼者，其中相当一部分是我们物理竞赛的学生。我从物理竞赛教师的角度谈谈我的感受。与全国很多兄弟中学相同的是我们都非常重视物理竞赛和平时的物理教学。

(1) 我们的物理竞赛课堂比较重视学生探究和阅读，学校有全科阅读计划。专业上我们会和学生一起读舒幼生和梁昆森老师的力学，读赵凯华、徐游的电磁学，秦允豪老师的热学，高文琦老师的光学等等。学生不仅读，也很善问，所以我会以组会的形式，召集学生讨论而不是仅仅做题，召集学生做课题而不是死读书。

(2) 我们的物理竞赛课堂重视实验，比如讲到碰撞、气垫导轨的实验时，学生当堂就可以分组进行，讲到杨氏模量，学生可以利用中午到实验室完成实验和实验报告。同时去年暑假穆良柱老师的物理演示实验给我也颇多启发，我也准备把它们适当引入课堂中。

海王……

张发之 敬



2019年6月20日上午国奥队培训



2019年4月8日上午国家集训队培训



报告大纲：

- 现状
- 为什么要把提问题作为教育改革的重中之重？
- 怎样让学生提问？
- 应该提什么样的问题？
- 物理教学和提问题是什么关系？
- 小结

现状

北京大学前考试研究院院长秦春华、招办副主任兼考试研究院副院长林莉在文章《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。

35位美国大学教授强调，中国留学生最需要这3种能力

https://mp.weixin.qq.com/s/94ZwXNtBFP6utUh7Tf1q_Q

中国学生需要有质疑能力，需要问问自己哪些证据可以证明或者证伪前人或者其他人提出的观点。

为什么提出问题、分析问题的能力对留学生们如此重要？这是因为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；还可以控制话题的走向；可以使交流更加明确。

你发现自当己想的跟别人不同时，恰恰应该说出来。说出自己的看法，可以帮助你理清自己的思路、加深自己的理解、并帮助你迸发新的想法。

“提问题”的屡战屡败...

- 从做科研的习惯出发总有提问题的冲动，也总想把它引入教学
- 在清华物理系教物理专业电动快30年，总试图在课堂上激发学生提问题，总不成功
- 《费曼物理学II》翻转课堂实验的早期是从要求学生提问题的不断失败的尝试开始的
- 典型的场景：一到要学生提问题的时候，同学的头就都低下去了，不敢正眼看教师
- 唯一一次成功的例子：一位精神有毛病的非选课学生在课堂提问，受到同学的斥责
- 多年实践给出的结论似乎是：让我们的学生自发主动甚至积极地提问是不太可能滴！

为什么要把“提问题”

作为教育改革中的重中之重？

The Boyer Commission
on Educating Undergraduates
in the Research University

REINVENTING UNDERGRADUATE EDUCATION:

*A Blueprint for America's
Research Universities*

Ten Ways to Change Undergraduate Education	14
I. Make Research-Based Learning the Standard	15
II. Construct an Inquiry-based Freshman Year	19
III. Build on the Freshman Foundation	21
IV. Remove Barriers to Interdisciplinary Education	23
V. Link Communication Skills and Course Work	24
VI. Use Information Technology Creatively	25
VII. Culminate with a Capstone Experience	27
VIII. Educate Graduate Students as Apprentice Teachers	28
IX. Change Faculty Reward Systems	31
X. Cultivate a Sense of Community	34

II. Construct an Inquiry-based Freshman Year

The first year of a university experience needs to provide new stimulation for intellectual growth and a firm grounding in inquiry-based learning and communication of information and ideas.

毕业于伦敦政治经济学院社会人类学专业的张芳圆、回忆自己在英伦的求学经历：

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。...中国学生更擅长提取重点、概括总结和摘抄，但西方学生更善于提问，并用问题来组织和梳理笔记。西方的教育体系更欣赏有思想力的学生--能够对已有的知识和观念进行筛选和评价，并在这个过程中形成自己的独特观点。要想提出好问题，需要准确地理解作者的论点，他想要对话的理论以及他论证的过程。在这个过程中，批判性地思考是贯穿始终的。...从学会提问开始，我们收获的是获取知识的能力，探索外在世界的的能力，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。

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。**” 1921年，爱因斯坦获得诺贝尔物理学奖后第一次访问美国。到达波士顿后，一个记者问他“声音的速度是多少”。他拒绝回答，说你可以在任何一本物理学教科书上找到答案，没有必要记住。随后就讲了上述这句名言。爱因斯坦这里说的事实就是知识。**知识当然重要，但是知识不是教育的全部内容。他在这里提出了有关教育价值的一个新命题，就是教育的价值不是记住很多知识，而是训练大脑的思维。**这就提出了教育价值超越知识的另一个维度——思维。**学生的思维发展正是我们教育中的短板。**思维或思考通常被称为能力。能力有别于知识。思维或思考不仅是一种能力，也是一种价值取向。

擅长记忆多少信息并不重要，能够根据真实世界中的真实问题去获取信息、协同他人、解决问题，在这个过程中真正认识自己、了解社会，并掌握终生学习的能力，这些才是教育的重点。...**在 PBL 学习中，知识的获得来源于对问题的认识 and 解决的过程。学习开始时遇到问题，问题本身推动了解决问题和推理技能的应用，同时也激发了学生自己查找信息、以学习关于此问题的知识和结构，以及解决问题的方法。**围绕问题来组织学习过程，问题是学习过程的起点...**设置一个好的问题是成功实施PBL的第一步。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。**在漫长的学校生涯里，我们从来没有给予孩子们自己做决策的机会，更没有培养他们自己做决策和独立解决问题的能力；却期待他们一毕业，到了工作场合以后接手大项目，解决大问题。**PBL 教育的真正宗旨不是使学习者记住多少，甚至也不是使他懂得了多少；而是培养他区分已知和未知的能力。教育是为了帮助人们获得学习的自由，获得思想的自由，从个人的本能中解放出来，从他人的奴役中解放出来，进而获得人生的自由。**

问题	价值与理念
1. 我们在哪儿？	人类的渺小与伟大，科学精神及其启示。
2. 星光中有什么秘密？	科学解开了看似遥不可及的恒星的秘密。
3. 天有多高？	天体距离的测量不断改变了人类的宇宙观。
4. 时间都去哪儿了？	科学家的社会责任感和对待自然的态度。
5. 我们是谁？	人类的起源和命运与宇宙有密切联系。
6. 黑洞是黑的吗？	黑洞的研究引起人类时空观的革命性变革。
7. 宇宙的命运是什么？	新的宇宙观飞跃就在不久的将来。
8. 我们是孤独的吗？	构建人类命运共同体的必要性。



问题导向

什么是宇宙？

人和宇宙的关系？

如何认识宇宙？

教育的核心是育人

最有效的面对不确定的未来的方式是：

培养认识未知的能力

能够认识世界，才有改造世界的可能

课堂的5重境界

- Silence
- Answer
- Dialogue
- Critical
- Debate

The mediocre teacher tells
The good teacher explains
The superior teacher demonstrates
The great teacher inspires

William Arthur Ward



费曼传记里谈教书时涉及了学生问问题：

在任何思考过程中，当一切进行顺利、灵感源源不绝时，教书确实是一种妨碍，十分讨厌。但有更多的时候是脑袋空空的，如果既想不出什么、又没做什么，那真会教人疯狂！

学生问的问题，有时也能提供新的研究方向。他们经常提出一些我曾经思考过、但暂时放弃、却都是些意义很深远的问题，重新想想这些问题，看看能否有所突破，也很有意思。

怎样让学生开口提问？

- 提问题的前提是对内容的深度学习与思考，必须逼学生进行有效的课程内容预习！
- 泛泛要求学生预习是没效果的，要利用学生习惯做作业把预习当成作业布置下去
- 必须在课前按时提交有提问题栏目的“预习报告”，并且计入课程成绩
- 能提出问题的预习是高水平实质性的预习，敷衍了事的预习是提不出像样问题的
- 在远超过10个人的课堂或小组里，没预习的学生可以缩在一角，不引人注目
想像：在更小的组进行讨论时没预习的学生不参与讨论，会很扎眼，脸上会挂不住
实行5-6人的小组讨论逼学生做出选择：①有效预习②忍受课堂上的难堪③退课
- 在小于6个人的小组里，出现领头人的几率太小，容易形成面面相觑的恶性循环
- 一旦实现有效的课程预习，就在课前达到了原来传统教学的效果，并且是“主动的”

“提问题”的屡败屡战

- 可以把比较难的开口提问题分解为：先练 **纸面提问题**，再试开口提问题
- 把提问题作为“作业”翻转成预习报告，可以有效地缓解和降低提问题的难度
- 而以提问题作为牵引的课前自学和预习一定是实打实高质量的
- 当习惯了预习报告里提问题，以后就只差过开口的关了
- 针对已有问题谈自己的看法比原创的提问题的难度小
- 在课堂上在小组里谈看法比在全班谈的难度要小
- 课堂上要制造一种问错说错不受鄙视批判的氛围
- 费曼课的早期提问的“失败”尝试确受到学生的欢迎
- 电动课在费曼课翻转积累和慕课的基础上也翻转成功

电动课结束后2019年1月21日

班级上两个女生之一发朋友圈

朋友圈

由于这学期上的课过于异彩纷呈，我觉得还是小结一下比较好。.....
这个形式这学期工作得挺好，王老师每周的课前准备也非常用心，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。

2018费曼II课同学说：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。

应该提什么样的问题？

Paul Steinhardt (email 2018):

“There were rules that Dick imposed from the outset: No questions about coursework. No questions about so-and-so's paper. No questions to explain what so-and-so's equation meant or so-and-so's theorem meant. **Questions had to be about trying to understand something.** And they could be about literally ANYTHING. And the discussion could go ANYWHERE. I remember asking him a question about the color of shadows, and they brought us to shadows of all kinds, earthshine, etc. On and on. Part of the fun is that, every now and then, a question would spark him to tell us one of the famous stories eventually recounted in his books, such as all about safe-cracking techniques. Actually, much more than appeared in his books.

“**The important thing for me was that everything was considered interesting -- every corner of science.** And that was a huge influence on my outlook on physics and on my career.”

John Preskill 在2018年4月16日的APS四月会议上回忆费曼

不同层次的学生可以提和选择不同的问题！

对待无知:

Feynman recalled by a Caltech undergrad

Michael Turner (email 2018):

学生的问題像初生婴儿看世界

I was an UG at Caltech from Fall 1967 to June 1971. Everyone took the Feynman course — for 2 years. It was inspiring to all but frustrating to many when it came to doing problems ... I like to say that all the physics I learned was from the Feynman lectures — an exaggeration to be sure, but **it wouldn't be an exaggeration to say that those lectures taught me how to think about physics.**

如果说所有我学的物理都来自费曼书肯定是夸大了, 但说这些书教我如何思考物理则一点都不夸大

My sophomore year I did a one-on-one, hour/week tutorial with Feynman ... It was an adventure ... By a series of games he had me play on my own (no books). The moment I most remember was when Feynman told me he was envious of my ignorance! I believe he meant knowing too much makes you less open to new ideas.

In those days Feynman was everyone's hero: the students and the faculty. I am not sure who worshipped him more.



为什么我们总是让美国悬崖勒马，让他们掉下悬崖不是更好吗

这都是哪来的倒霉孩子，提的都是什么破问题

提问后随之而来的经常是胡扯和夸夸奇谈，如何对待？



20世纪40年代后期在普林斯顿有一位做博士后的同事，叫布鲁克纳。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。

提问题和物理教学

是什么关系？

- 物理学是人类对大自然的好奇与质询下发展起来的
- 一部物理学的历史就是不断提问题继而解答题（或叫建立有效认知）的历史
- 物理教学非常自然地就是一个训练提问题过程，也就是完整认知过程的训练过程
- 但传统的本科教学把它异化了，只强调直奔结果，丢弃了更为重要的中间过程
- 新模式应恢复物理的本来面目，这实际是用做研究的模式进行本科教学

物理文化的核心是建立有效认知，物理教学与研究实际上都是完整认知过程的训练，需要经历实验物理、理论物理、应用物理，这个过程中不仅能学习有效的物理方法，还能养成物理精神。从这个角度说，物理教育实际上代表了自然科学教育.....一旦学生通过物理教育具备了认知能力，就可以对世界认知，形成世界观，对人生认知，形成人生观，对什么是重要的认知，形成价值观。一旦有了独立的认知，就不再会轻信他人，这时就具备了怀疑和批判的能力，会了解自己想做什么，能做什么，会独立选择该做什么，不该做什么，只有这样才能称为有独立的人格。...因为这些认知能力，人才具备了基本尊严。为什么要用物理的认知方式？因为这是迄今为止人类最有效的认知方式。

---摘自《物理是种文化》的最后总结部分 北京大学物理学院穆良柱

问题举例：为什么麦克斯韦方程组取这样的形式？

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad \nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\vec{B} = \nabla \times \vec{A}$$

$$\vec{E} = -\nabla \phi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$$

只要引入了标量势和矢量势，就会自动产生无源麦克斯韦方程组！

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{j} = 0$$

协变性和电荷守恒都要求位移电流项！

有源的麦克斯韦方程组可以看成是电荷电流源的定义！

为什么物理最后是用电场强度和磁感应强度来描写？

规范对称性要求场用场强表达！

为什么要出现标量势和矢量势？

协变性要求场只能是四维张量！

10

物理与工程 Vol.28 No.3 2018

理解经典电磁学理论

王青
(清华大学物理系, 北京 100084)

摘要 本文先回顾和评述传统对经典麦克斯韦方程组及洛伦兹力公式通过实验定律和作用量的两种理解方式, 再给出一种以四度电磁势 A_μ 及规范对称为基础的另类理解方式。

关键词 麦克斯韦方程组; 洛伦兹力; 四度电磁势

麦克斯韦方程和规范理论的观念起源*

杨振宁^{1,2} 著 汪忠^{1,†} 译

(1 清华大学高等研究院 北京 100084)

(2 香港中文大学物理系 香港沙田)

2014-11-12收到

† email: wangzhongemail@gmail.com

DOI: 10.7693/wl20141201

小结：

- 传统本科教学中对提问训练的很少，学生不想问，也不会问
- 教育的真正目的是让人们不断地提出问题、思考和讨论问题
- 实行预习报告制度和课堂小组讨论可以促进和锻炼学生提问题
- 提问题不是目的，是思考和主动及有效学习的最好引领，也是教改的牛鼻子
- 不要怕低级的问题、玄学胡诌混乱的问题，只需去粗取精去伪存真
- 物理教学提供了一个最好的训练提问题的手段

谢谢