

物理学及相关学科的拔尖人才培养模式的创新与实践

——清华大学基础科学班简介

一、基础科学班的建立

1997 年年底，清华大学校领导接受了理学院的四位教授的提议，决定开办“基础科学班”（以下简称基科班），以它作为学校的一个教学“试验田”，探索拔尖人材培养的新模式。

当时开办基科班的一个重要背景是：在前校长王大中和诺贝尔奖获得者杨振宁的倡导下 1997 年 6 月“清华大学高等研究中心”正式成立。杨振宁先生担任该中心名誉主任，该“中心”的目标是：加强清华大学的基础科学研究；倡导开拓性与科学首创精神；培养有创新能力的科研人才；开展高水平国际合作与学术交流，为建设世界一流的清华大学做出贡献。

清华大学生生源质量高，其中许多学生对学习数学、物理等基础科学有浓厚兴趣和强烈愿望，这为培养杰出的基础科学人才提供了丰厚的沃土。在这样的背景下，建议认为有必要也有可能设立特殊的教学计划，使这些学生在数学、物理学等基础学科上得到深造，成为我国基础科学方面富有生气的后备力量，并使他们中的佼佼者将来能成为国际科学技术舞台上的优秀人才。正是在这样的环境与思考下，基科班应运而生。

在酝酿建立基科班的过程中，开始把培养目标主要定位在为高等研究中心培养优秀的后备人才。后来学校领导认为应有更宽的面向，除了为数学、物理学等基础科学培养优秀人才外，也为与数理科密切相关的其它学科培养具有开拓精神和良好理科素养的新型人才。在 1999 年教育部理科基地检查评估时，专家组对基科班这种培养模式给予了高度的肯定，他们也提出清华大学有极强的工科，优秀理科人才要向工科辐射。这样就形成了为基础科学培养优秀人才和为学校其他院系培养有扎实理论基础的新型人才两方面的任务。

基科班办学之初就明确提出了要培养有国际竞争力的优秀人才，学校也十分肯定这一宗旨，并提出要“十年磨一剑”，哪怕每年只有三、五个好苗子，只要长期坚持办下去，就能积累一批能在国际学术舞台上显露身手的优秀人才，其中有些人还会有可能成为杰出的顶级人才。

基科班在国内首次提出了“宽口径，厚基础，强实践”的九字方针。这一方针得到了教育部理科基地检查评估专家组的充分肯定。后来在广州召开的全国物理学会教学委员会扩大会议上，北大赵凯华教授在主席报告中充分肯定了清华大学提出的九字方针，并号召其他院校借鉴这一方针。此后许多兄弟院校也进行了类似的实践。基科班几年的实践证明了这一方针是完全正确的，我们认为厚基础最重要的是数学和物理基础，在基科班的培养模式中我们特别强调了同时强化数学和物理基础。杨振宁先生也多次谈到数学和物理交叉的领域将会产生新的学科生长点。我们的学生可向全校各学科分流，体现了宽口径的培养模式。林家翘先生专门找基科班负责人谈话，他提出数学不仅要和物理结合，

而且要和 Science 结合，这将会有更广阔的发展前景。

二. 基础科学班培养过程的特色

为了实现基科班的培养目标，我们设计了从招生到毕业及推研的一整套培养模式。培养模式具有以下特色：

1. 选择优秀苗子，“择天下英才而育之”

为了培养优秀的拔尖人才，首先必须选择优秀的有培养前途的苗子。

基科班的新生来源有四部分：

- 1) 从全国四所重点中学（清华附中、北大附中、北师大实验中学和华东师大二附中）的理科试验班选拔保送生。
- 2) 从全国及国际数学和物理等竞赛获奖的中学生中选拔。
- 3) 部分学生通过高考直接录取。
- 4) 从全校各院系当年入学的新生中选拔，志愿报名，择优录取。

选拔新生的原则是“数学物理基础好，对基础学科确有兴趣、爱好或有专长”。我们不仅看考试成绩，而且要看学生的综合素质，特别是他们的兴趣爱好。从 1998 年开始每年对选择进基科班的学生，我们都要组织专家面试，对学生进行全面考察。

自 1998 年至 2004 年，基科班已招收了七届学生，共 417 人。其中有 7 人获得国际奥赛金牌、16 名省高考理科状元、全国奥赛总决赛一、二等奖获得者超过一百人次。2004 年，基科班首次从高考直接录取一部分学生，高考平均成绩列全校各专业之首。

2. 同时打好数学和物理学的基础。

对于九字方针中厚基础的理解，我们认为不是各科均衡发展，最重要的基础还是数学和物理，因此我们强调同时打好数学和物理学的基础。数学基础的要求与数学系相近，物理基础的要求和物理系相近。有兴趣和潜能的学生，数学和物理可以都学得很深入，其他学生则可以略有偏重。

基科班的培养方案中，毕业总学分不少于 170 分。其中课程学习 140 学分，实践环节 30 学分。

“课程学习”中包括 18 门数学和物理学主干课（共 73 学分，其中 9 门数学 35 学分、9 门物理 38 学分）。数理课的学分超过了课程总学分要求的 1/2，而且将数学和物理放在了同等重要的地位。这样同时强化数理基础教育之后，学生无论是想向数学还是向物理学方向进一步发展都是可能的，而且有一定的优势和特色；对那些想到其他学科深造的学生，良好的数理基础也会使他们受益匪浅。

3. “觅天下高士而师之”，从校内外聘请最优秀的教师授课。

要强化数学和物理学的基础教育，不仅课程设置要合理，而且要有一批特别优秀的教师，即我们所说的：“觅天下高士而师之”。我们首先在清华全校

选择最好的教师，从年近 80 学术造诣很高的张礼先生，到近年从国外引进的优秀年轻教授，都先后给基科班学生上过课，2005 年获基础物理实验国家精品课的负责人朱鹤年教授对每一届基科班学生的实验课都精心安排，对实验课优秀的学生，他总要给他们单独指导或给他们安排提高的实验。杨振宁先生始终关心基科班的成长，他几乎和每一届的学生都要座谈一次，给他们谈科学史、谈哲学、谈人生、谈学习方法。2004 年杨先生还亲自给物理系和基科班的学生讲了一学期的普通物理课。

图为杨振宁先生和基科 01 班学生座谈后的合影

1999 年以后，我们还先后从兄弟院校聘请了最有特色的优秀教师给基科班授课，如北京大学的赵凯华、曾谨言、俞允强、吴崇试、陈惟桓等，南京大学的卢德馨（教育部首届名师奖得主），中国科学技术大学的张永德，北京师范大学的裴寿镛、梁灿斌、赵铮等，北京理工大学的梅凤翔（教育部首届名师奖得主）。

这些优秀教师受到了学生的极大欢迎。有不少学生在本科毕业时留言，如

曾蓓（基科 98）：得到这么多名师的指点和关怀也许是基科 8 人最大的幸运，因为，这绝不仅仅只是知识上的巨大收益，更多的，是一种对事业的热爱和为科学献身的精神带给我们的震撼与思索。

翟荟（基科 98）：在那里，我受到了几乎是现在中国所能给予的最好的基础课教育和扎实的科研入门训练。

另一方面由于清华这些学生特别优秀，也深受教师们的喜欢，教学相长，看弟子成才，是一个老师的最大乐趣。在这里引用长期给基科班讲授电动力学和量子力学的北师大裴寿镛教授的一段话也许是最好的说明：

"如何把电动力学课教好，是我天天都在思考的问题。在教学过程中，最令我振奋的是，经常有同学向我提出非常有兴趣的问题来讨论，这些问题涉及电磁场理论、量子力学、相对论、天体物理、凝聚态物理等等方面，穷尽我的全部所知，也难以回答这些问题的百分之一。我对于陈栋，田一超，戚扬，姚嵩，陈裕，张磊，吴恺，沈一，朱迪灵，张剑，周一帆，吕理，汪源(02 级)(以及几位没有记住姓名的同学)所提出的一些问题和他们的见解印象非常深刻，一方面为一代新人的聪明、好学和优秀备受鼓舞，另一方面，痛切感到我必须在科研、教学两方面加倍努力，提高水平，才能应对所担负的任务。教，然后知不足。这是我的深切体会。"

4. 让学生较早参加科研训练，在科研实践中学习。

中国传统教育主张系统和严格，学生习惯于课堂上向教师学习严格的演绎、推理；西方教育则较多跳跃式的学习，给学生一些不是十分连贯的知识点，让学生自己学会归纳，通过自己的总结、消化形成系统的知识。杨振宁先生常讲到这两种教育理念，各有优缺点，他主张两种方式结合。

基科班的培养方案头两年是比较系统地打数学和物理学基础，从第三年开

始的在第五、六和七学期特别开设了“专题研究 (Seminar)”课 (必修, 三学期, 共 9 学分)。Seminar 的目的是培养学生在教师指导下的自学研究, 综合与联想能力; 培养学生的探索与创新精神; 密切教师与学生的联系, 并有利于学生向不同方向分流和因材施教。连续三个学期, 让学生到校外他们感兴趣的科研课题组中去, 在教师指导下和那里的研究生一起参加科研实践, 实践中发现自己知识不够的地方, 根据导师的建议再选修 (或自学) 一些课程, 一边实践一边学习。我们将这种方式叫 Seminar, 并列为必修课。很多导师以他们的亲身经验告诉学生: “做学问”, 一定要动手去做一件事, 最后才能学到有用的知识, 做的过程中碰到什么问题, 再针对问题去看书, 去查资料或去听课。许多同学在这个过程中体会到了一个全新的学习方法, 收获良多。

基本做法: 在校内外聘请 Seminar 导师, 由导师提出课题, 列出必读文献, 向学生公布。学生根据自己的兴趣, 爱好, 报名选择题目和相应的导师。按 Seminar 课题内容将学生分成若干小组, 课题研究进展定期在小组内报告交流。在第三个暑期小学期进行全班性的 Seminar 进展交流, 要求每个学生汇报自己的研究工作进展并报告对所研究领域的学科前沿的理解。

教师普遍欢迎基科班学生到他们的课题组去接受 Seminar 训练, 他们认为, 基科班学生数理基础好, 思维活跃, 进入课题快。每学期都有多位教授主动同基科班领导联系, 希望学生去他们那里做 Seminar。

根据无记名问卷调查, 学生对 Seminar 课程要求和实施反映很好, 普遍认为能够通过 Seminar 尽早接触科研, 接触科学家, 了解科学研究的全过程, 学会如何在科学研究中学习新的知识, 收获很大。通过 Seminar, 学生还能寻找自己感兴趣的方向, 以利确定自己今后的发展方向。学生们对参加 Seminar 可以根据自身情况调整方向的灵活机制也很满意。

通过 Seminar, 基科班学生在科研能力方面展现出了良好素质。据不完全统计, 分流到物理方向的基科班学生 2001-2004 年在国内外著名学术刊物上发表论文 23 篇, 其中最多的一个学生在本科阶段就在 Physical Review 等国际一流杂志上发表了四篇文章。

5. 鼓励学科交叉, 经过多次选择, 使学生找到适合自己发展的方向

基科班的目标不仅仅是为数学和物理学培养优秀的后备人才, 而且也鼓励将数学与物理学去和其他学科领域交叉, 为这些交叉学科领域培养新型人才。

在清华大学各院系的研究方向中, 都有一些需要较深数理基础的方向, 基科班的学生参加到这些方向去是能发挥很好作用的。

当今高技术时代, 科学主导技术, 技术是 Science-based 的技术。把数学和物理基础打到一定程度后, 到相关学科去进一步发展是一种有效的交叉方式。

通过 Seminar 这种方式, 使本科生在不同学科之间拉开了一个交叉的窗口, 也是校内各跨学科中心或实验室联合培养学生的一种“渠道”。通过 Seminar 使学生较早地接触到许多学科领域的学科前沿, 并逐步找到适合自己发展的方向。下表为前几届学生参加 Seminar 所选择的学科方向分布

学生参加 Seminar 所选择的学科方向分布

	总人数	高研中心	物理方向	数学方向	生物方向	工科方向	经管方向	首次参加的比例
98 级	53	14	6	2	4	10	2	72%
99 级	54	16	4	3	8	10	3	81%
00 级	53	14	3	7	7	13	6	94%
01 级	62	9	14+2	5+1	5	13	10	95%
02 级	60	4	14+5	6+1	3	23	3	98%
03 级	53	4	12+1	7+5	1	16	6	98%

在完成三学期 Seminar 后，基科班学生开始最后一学期的毕业论文（或毕业设计）。他们做毕设或毕业论文也分布在不同的院系或研究所。

基科班的学生在免试推研时，学校研究生院也给了他们特殊的政策，只要他们学习成绩满足一定要求，原则上他们可以根据本人的志向在校内相关院系选择专业读研。

Seminar 是对学生实行分流的一种有效渠道。学生一开始就可以挑选适合自己的导师和题目，中间还可更换。通过几次选择，若学生认为该题目和导师适合于自己，就可进一步在导师指导下做毕业论文。如果 Seminar 选择的方向仍不适，还可通过毕业论文及推研来进一步选择。

三、办学成果

基科班办学七年来，显见成效。分如下几点，简要介绍一下：

1. 在基础科学领域内已有不少优秀学生脱颖而出。

他们的数理基础和研究能力得到了校内外的 Seminar 导师、研究生导师的高度评价。他们中一部分学生本科毕业后已成为校内外优秀研究生的来源，正在得到进一步的培养。还有一些学生已进入国外名牌大学，展现出出色的才能。有些学生在本科阶段就在国际学术会议上表现不凡，受到国外学者的肯定。据不完全统计，分流到物理方向的基科班学生 2001 年—2004 年发表 SCI 论文 18 篇。）在国际会议上作报告 15 人次。下面仅列出其中几位学生的情况：

(1) 曾蓓是基科班 98 级学生。她在学量子力学课时，课程小论文写得很好，北大曾谨言老师认为她的小论文已达到硕士论文水平，同意她不必参加期末考试而直接给她 100 分。她的这篇小论文经修改后已在 *Journal of Mathematical Physics* 杂志上发表。由于她对量子力学中的对称性和量子信息、微分几何等很感兴趣，三年级进入 Seminar 阶段，选择了清华龙桂鲁教授、北大曾谨言教授、中科院理论所孙昌璞教授为其导师。她在科学研究上的探索精神和能力得到了导师们的高度评价，本科期间与导师等合作完成了 5 篇论文，其中在 *Physical Review A* 上发表 3 篇论文，在 *Journal of Mathematical Physics* 上发表 1 篇论文。曾蓓同学是一个全面发展的优秀学生，2001 年获得“清华十杰”称号、获清华

大学特等奖学金。2004年9月曾蓓从物理系硕士毕业，目前在MIT进一步深造。

(2) 翟荟和祁晓亮分别是基科班98级和99级的学生，也是高等研究中心近两年获得杨振宁奖学金的研究生。高等研究中心聂华桐主任曾经这样赞赏他们：“如首届的翟荟和二届的祁晓亮，都是对物理充满了热诚和爱好的同学，物理直感好，数学演绎力强，十分难得。从国外来访问的多位学者对他们二位都是赞不绝口。拿他们和60年代我自己在哈佛大学作研究生时前后两三届的同学来比，翟，祁二位确似有过之而无不及。到世界上什么地方去比也不会比别人差，从他们两人身上我增强了办好高等研究中心的信心。”翟荟同学在二年级学习《量子力学》课程时，就在北大曾谨言教授的指导下写了一篇论文发表在《大学物理》杂志上，北京师范大学的喀兴林教授对此文称赞有加。三年级进入Seminar阶段，他跟随徐湛教授学习和研究玻色-爱因斯坦凝聚和量子力学中的数学方法，本科阶段完成论文4篇，得到了导师们的高度评价。2002年9月翟荟本科毕业，成为杨振宁先生在国内亲自指导的唯一一名直博士生。研究生阶段撰写了较多高水平的论文，还与基科班另一个同学合作，已在*Physical Review Letter*上发表一篇论文。2004年夏天，杨先生认为翟荟的研究已达到博士水准，极力主张他毕业。翟荟已于2004年12月16日通过博士论文答辩。祁晓亮已是2005年度入选参加第55届林岛诺贝尔奖获得者大会的25名中国博士生之一。

(3) 在天体物理中心学习的40名左右研究生和高年级本科生中，胡剑（基科98）、林锦荣（基科98）、郑琛/唐素敏（基科99）和另两位研究生被称为学生中的五虎上将，他们发表论文多，每人都在国际上影响很大的APJ Letter发表了1-2篇论文。胡剑在天文学的多方面多作出了出色的工作，最近他获得了德国和瑞士联合授予的爱因斯坦奖。林锦荣的研究工作还被著名的New Scientist杂志作了专门报道。唐素敏的研究论文也被国际上有名的科普杂志SKY&Telescopes作了专题报道。林锦荣、郑琛已分别到MIT和Stanford大学去读博士学位，唐素敏最近申请出国读博，Harward, Prinston及Stanford大学都表示要给她提供奖学金。近两年几次国际会议上，他们都十分活跃。例如，2002年在西安召开的环太平洋区域恒星物理会议上，胡剑，林锦荣，郑琛在会上作了大会报告，而且频频对其它报告人提出问题。与会外国代表说，他们印象最深的是参加会议的清华本科生so active. 2004年在清华召开的第五届国际微类星体会上，基科班的学生无论是在大会报告还是提问题方面都十分活跃，北大天文系的教授说“我们十分羡慕你们有这么大一批如此优秀的学生”。

(4) 许岑柯是基科班99级学生，从大三开始的Seminar阶段，选择了理论物理方向。他不仅数理主干课的成绩优秀，而且在导师指导下，修完了研究生理论物理专业的基础课程，打下了坚实的数理基础。2003年本科毕业出国到美国U.C.Berkley，他到校后第一学期就参加了资格考试，成绩为全系第一名。到美国几个月后就与导师合作以第一作者在*Physical Review Letters*上发表一篇论文。

(5) 基科01级的张剑同学大三开始选择在高等研究中心作Seminar，本科毕业前以第一作者在*Physical Review Letters*发表一篇论文。2005年9月她留在高等研究中心继续攻读博士学位。

(6) 基科02级的扬环和周一凡只用两年就学完了基科班的全部主干课程，并分别转学到美国的加州理工学院物理系和电子工程系，经过一年的学习，两

人都分别获得两系的最高奖学金，周一凡的成绩还列年级第一名。

2. 在学科交叉领域中也出现了一些很有特色的优秀学生。

这里介绍其中的几位：

(1)基科班 98 级的周含露同学在 Seminar 阶段先是在电子系作激光方面的研究训练，其 Seminar 导师很欣赏他的学习研究能力，很想把他留下，但周含露又对汽车发生了兴趣，一学期后他转到汽车系做专题研究。由于有较扎实的物理和数学基础，他对过去已有结论的汽车助力系统设计方案提出了怀疑，并通过数学建模计算和认真的实验证明了其怀疑的正确性，得到了导师和同学的高度评价。后来导师让周含露负责该系统的设计工作。后来又把他送到德国加入中德联合培养研究生的计划。

(2)基科班 99 级的赵福同学通过在经管学院的 Seminar 训练后，参加了世界最大的投资银行之一摩根斯坦利 (Morgan-Stanley) 2003 年的招聘竞争。亚洲地区具有资格的应聘者超过三百人，经过十分严格的层层挑选，选出 5 名候选人 (三位清华经管学院的研究生、一名北大光华管理学院的研究生和基科班本科生赵福)，该银行亚洲总部的 5 位高层领导再单独对每一位候选人进行长时间的面试。赵福最终成为该公司唯一一名在亚洲地区招收的成员。他们对赵福的评价是：既有数学物理方面的基础，又有经济金融方面的学习和研究训练，思维方式有其独特性。

(3)基科班 99 级的万征与其队友组成“星空”团队所完成的“星空排序 (SheenkSort)”在 2003 年 4 月结束的 PennySort 世界排序比赛中荣获该项比赛专用组冠军。他们取得的成绩是 42GB，相当于前一年该组冠军成绩的 3.5 倍，打破了过去每年大约翻一番的经验规律。(注：PennySort 比赛是由美国著名计算机科学家、美国三院院士、数据库事务处理理论的奠基人，98 年图灵奖获得者 Jim Gray 先生于 1998 年发起和推动的)。

(4)基科班 01 级的邬可遥同学选择经管学院朱武祥教授为其 Seminar 导师，2004 年 2 月他申请全球第三大银行德意志银行 (Deutsche Bank) 的暑期实习项目。该项目的招收对象主要是亚洲地区重点大学的研究生，这次在中国大陆只招收 8 人。经过笔试和多层次面试后，邬可遥同学脱颖而出，成为唯一被录取的本科生，其余 7 位都是经管专业的研究生。

(5)基科班 02 级的张家琳同学在计算机系作 Seminar。一学期后，她与队友参加了第 28 届 ACM 国际大学生程序设计竞赛 (ACM/ICPC)。经过拼搏，他们进入了最后的总决赛，虽然没有获得满意的成绩，但他们是 ACM-ICPC 历史上第一次自然出线的全女子队，成了这届 ICPC 最引人瞩目的焦点之一。(注：第 28 届 ACM/ICPC，有来自 75 个国家和地区、1411 所大学的 3150 支队伍先参与区域角逐，其中成绩最好的 73 支队伍参加于 2004 年 03 月 28 日-31 日在捷克共和国的布拉格进行的总决赛。) 2005 年推荐免试研究生时，图灵奖获得者姚期智亲自面试挑选自己的研究生，经过严格的挑选，姚先生最后挑选了张家琳同学作他的博士生。

3. 基科班的培养模式及培养的学生的质量得到了国内外的好评。

每年物理和数学全国奥林匹克竞赛期间，很多考生、学生家长及带队教师读罢学生能进清华大学基础科学班作为首选目标。近几年已有近百名全国决赛一、二等奖获得者及七名国际奥赛金牌获得者直接保送进如基科班学习。在全国奥林匹克竞赛现场一些兄弟院校的招生老师感慨地说，你们基科班对学生的吸引力真是太强了。

清华基科班也引起了国内外舆论界的广泛关注，《中国日报》、《人民日报》的《市场报》、《中国青年报》、《北京青年报》、《北京晚报》、《华夏时报》、《京华时报》、《晨报》、台湾的《中国时报》、韩国的《经济新闻》先后对基科班进行了专访，并做了专题报道。韩国高等科技大学物理系主任还表示要送学生到清华基科班来学习。

北京电视台、中央电视台教育频道、韩国汉城电视台、韩国 Q 频道电视台先后对基科班进行了采访，并作了专题报道。

在出国深造上，清华物理系/基科班学生已越来越受到国外名校的青睐，以 2005 届毕业生为例，美国哈佛大学（2 人）、麻省理工（2 人）、斯坦福大学（6 人）、加州伯克利大学（5 人）、普林斯顿大学（2 人），加州理工（1 人）等。美国排名前十的超一流名校发往清华大学物理系/基科班的全奖 offer 数目几乎相当于国内其他几所名校物理系的总和。另外还有低一年级的 2 人转学去加州理工读本科三年级。但是这并不意味着清华物理系/基科班最好的学生们都出国了，事实上很多代表着物理系/基科班最高水平的学生因为清华日渐强大的师资而留在校内深造了。其中有的在国内读完硕士再出国读博士，2005-2006 硕士毕业到国外读博的 5 人，一人去了哈佛大学，2 人去了麻省理工，2 人去了普林斯顿大学。

从以上几方面可以看出，清华大学基础科学班在培养拔尖人才方面已取得了初步成功。但清华大学领导一直告诫我们，要“十年磨一剑”，要达到我们预期的目标还有很长的路要走。

。