

一份使我终身受益的教学计划

—从毕业后 40 年的经历反思核物理专业的教学计划

尚仁成

我是 1959 年进清华, 1965 年从清华大学工程物理系实验核物理专业毕业的学生。文革前核物理专业共毕业 7 届学生, 总计约 200 人。这些人中出了很多优秀人才。例如有三位院士、三位副部长以上的官员、两位将军。一份教学计划(后来分为培养方案和教学计划两部分)就像一个铸造的模子, 模子定型后, 产品就大体定型了。少数特别优秀的人才的出现, 固然可以用来评价一份教学计划优劣, 但这些特别优秀人才的产生不止和教学有关, 还有很多其他因素的影响。哲学上有一条原则叫, 例如, 要了解一担谷子的好坏, 不必去分析每一粒谷子, 也不要刻意地去挑少数特别饱满的或者有毛病的谷粒, 只要挑一、两粒普通的(平庸的)谷粒分析一下, 就能代表这一担谷子。虽然目前还不能从观测上找到地外文明, 正是从这平庸原则出发, 使大多数天文学家仍相信肯定有地外文明的存在, 因为太阳系只不过是宇宙中上万亿颗恒星中的一颗普通的(平庸的)恒星, 太阳系中能发生的生命产生及发展过程在别的恒星系也能发生。我想我自己也许可以算作这份教学计划培养出来的一位普通的学生, 就是所谓的平庸事例, 从我自己毕业后四十多年的经历, 也许可以来评价一下铸造我们的那个教学模具的优劣。我毕业后曾先后在若干与教学有关的岗位工作过, 例如教研组副主任(7 年, 负责教学)、教研部主任(7 年), 物理系副系主任(3 年, 负责教学), 基础科学班领导小组组长(5 年)。在这些岗位上我参与和负责制定了四、五份不同的培养方案和教学计划。回忆起这些教学计划来, 并拿来和我们当年工物系实验核物理专业的那份教学计划(为书写简单起见, 下面我称其为 H 教学计划)比较, 我觉得 H 教学计划是一个非常具有特色、非常成功的(我不知道是哪些老师参与制定的), 从长远来看, 是很有战略眼光的。当然, 要评价一份教学计划, 也许还需要更多的统计资料, 本文只能用一个例子以见一斑。

一、H 教学计划的特点

自 1952 年院系调整后, 清华就没有理科专业了, 但工物系领导认为, 与核科学有关的这样一些当时的尖端专业, 是需要理科专业的基础的。在制定教学计划时, 是考虑了这些特定要求的。例如, 实验核物理专业的那份教学计划就很有特色, 可以归纳为“坚实基础、强化专业、理工结合、重视实践”, 这里的第一条和第四条原则, 90 年代后的许多学校的教学计划都认可。而随着在本科阶段只搞通识教育的理念的普遍采纳, 本科阶段强化专业也就不再提倡了。第三条原则关于理工结合, 得到认可的确不多, 现在搞理科的总希望纯而又纯的理论课程, 甚至连物理实验都嫌时间太多, 重视实践也就谈不上了。九十年代末我们在制定清华大学基础科学班的培养方针时提出了“宽口径、厚基础、强实验”的九字方针。当时全国物理学会教学委员会主任、北京大学赵凯华教授对我们提出的这九字方针十分肯定, 他在全国物理学会教学委员会扩大会上专门提出全国物理界要学习清华这个九字方针, 特别是强实验的方针, 他说现在很多学校都忽视了加强实验训练的问题。

由于当时清华的学制很长(六年), H 计划十分强调加强基础, 当年工物系的系主任何东昌就多次说过: 培养人才就像盖高楼, 只有基础牢靠, 楼才能盖得高。这个计划中, 数学有 600 多学时, 普通物理有 400 多学时, 理论物理(四大力学)有 300 多学时。普通物理实验和近代物理实验(当时叫中级物理实验)分量都很重。现在任何一个大学的物理系基础课的学时都比这少得多。

H 计划也很重视工程技术方面的课程。如工程画、机械原理与机械零件、材料力学、电工学、电子学等。对专业基础课和专业课也非常重视。如原子核物理学两学期、核电子学学

三学期、核物理实验方法学两学期，对核物理实验与核电学实验课程也很重视。此外还有加速器原理、反应堆原理及工程、剂量防护等非本专业的课程。

实践环节很多，包括金工实习、电子学工艺实习、到工厂去一个月的专业实习，一个月的核探测器课程设计以及最后半年的真刀真枪的毕业设计，还有教师与高、低年级学生一条龙搞科研。

这个计划涵盖的课程范围及分量，可以说已超过了现在物理系核物理专业从本科到硕士阶段的培养内容。

二、H计划的培养使我终身受益

1. 支撑我承担研究室主任的重任。

1965年毕业后头几年还主要是参加各种政治运动，如四清运动、文化大革命等，1969年冬天开始，才逐步恢复正常的科研与教学工作。根据工作需要，69年冬天我就被抽调到清华200号（即现在的核能技术与设计院，那时也叫试验化工厂）。为了完成一项大的国防科研任务（即国防科委820工程），将原200号的教职工与从工物系、工化系等抽调去的近千名教职工，迅速组成了四个连队，每个连分为三个排，我被安排在四连一排担任排长。第二年排就变为了研究室。从28岁开始我就担任半导体器件研究室主任，全室共有十六位教师，八、九名实验技术员，二十来位青年工人。当室主任，听起来好像挺光彩，实际上对我这样一个刚毕业不久的大学生来说，承受的压力是相当大的。那时不断地搞“五一”、“七一”“十一”“元旦”献礼，每次献礼都要各室订计划，计划定低了要被批为“保守”，定高了到献礼时完不成任务，室主任就下不了台。我又是学核物理的改行去搞半导体，开始很不适应，很多东西都不懂。

在这种压力下，H教学计划的培养帮我渡过了许多难关，特别是大学中理工结合的课程及很强的实践环节训练帮助我们白手起家建立了研究与生产基地。当时我们的任务是满足国防工程的需要，尽快生产出当时国内还没有产品的结型场效应晶体管。要生产场效应晶体管可不是容易的事，有一条半导体生产线是最基本的条件。一条半导体生产线至少需十几步工艺、几十种不同的仪器设备，可当时我们只有一台旧的镀膜机和一些破旧的变阻箱、检流计之类教学实验室淘汰出来的仪器，工程当时刚上马，又不能提供很多钱给我们买新仪器设备。这种情况怎么办？只有自力更生。首先需要的是几台扩散炉，于是我们就到城里买了几根陶瓷管和电炉丝，自己找了些铁板做成外壳，从附近农村找了些耐火的黄（白）土，自己动手做成了第一个扩散炉，用一些旧的电阻箱，检流计通过电桥的原理，用操作员手控方法可以实现扩散炉的调温和恒温控制。我们就用几台这样自制的扩散炉做成了第一批结型场效应晶体管的芯片。当时200号的军代表是8341部队的政治部主任张跃忠，他听了这个后很兴奋。利用礼拜天专程来看我们的生产线。礼拜天员工回家了，各房间都锁门了，他就一个一个房间爬到窗户上去看。

当时我还做了一件我这一辈子都觉得最有成就感的事，就是自己做分步重复照相机。生产半导体器件最重要的条件是，能生产半导体表面光刻过程中需用的掩模，要把上千个半导体元件的掩模精确地复制到一块2cm×2cm的玻璃板上。当时只有一个办法，就是用十分复杂的分步重复照相机来实现。我们到几个半导体生产厂去参观了解到，这种分布重复相机要几十万甚至上百万元一台。这在当时对我们是一个天文数字。可是，没有它又不行，我们的半导体元件生产无法进行。要自己做这样复杂的设备，可就不像扩散炉那么简单了。经过几天几夜的冥思苦想，我终于想出了一个绝妙的办法，利用我们从工物系实验室分得的一个德国Pentcon照相机和一台很便宜的测量显微镜，再加工一点其他配件，我和一位新工人（清华七零届毕业生称为新工人）王培清用了一个多星期的时间，自制的分步重复照相机就做

成了。我们用它做出了第一块完全符合要求的光刻掩模。此后的八年多时间，我们的半导体器件生产，就完全靠这台自制的设备。我们生产线后来已能大批量生产场效应晶体管，在国内也有了一定影响，除满足本所需要外，还卖给国内其他单位。销售有了可观的收入后，陆续购买了一些新设备替换了大部分自制的设备，但那台自制的分步重复相机却一直在为科研与生产服务。

凭借在大学期间学过的扎实的电工与电子学知识，生产线的几十台仪器，包括后来买的一些大型的较贵重的仪器设备，有的还是进口的设备，基本都是我和另一、两个新工人负责维修，从没有拿出去维修过。

作为研究室主任，承担的压力是很大的，特别是当科研和生产出了问题，又找不出原因时，更是夜不能寐。我又是学核物理出身的，对半导体理论并不熟悉。那时工作是很忙的，几乎每天都要夜里十二点才能休息。为了尽快熟悉半导体理论，晚上十二点后，别人休息了，我还要花一、两个钟头来自学半导体物理。大学期间扎实的理论基础，特别是量子力学基础，使我很快就在半导体物理方面入了门。科研中出了问题后，我逐渐地就能和在我们室工作的几位学半导体出身的同事一起进行比较深入的探讨和试验了。

八年的实践使我认识到，正是因为我所接受的那一份扎实的数理基础和理工结合的教育，以及丰富的教学实践活动，才使我能很快地适应工作，并承担起研究室主任工作的重任。

2. 扎实的数理基础支撑我们从工科转到理科

八十年代初，清华开始恢复理科。我是这一战略转变的积极支持者。其实早在 1956 年蒋南翔校长就提出“……工科和理科是有密切联系的，当代最新的技术科学都需要坚实的理论基础，美国著名的麻省理工学院就是把工科和理科办在一起的……”。

想办理科是一回事，有没有条件和能力办理科又是一回事。八十年代中，我们请校外一些专家评审一个项目时，南京大学的一位院士就写了一段话：“……我国没有一所完整的大学，现在只有一类是文理科大学，一类是工科大学，近年来，前一类大学想办工科。工科大学想办理科，在我看来，前一类目前还没有成功的先例，后一类除清华大学的理科发展较快外，也还没有其他成功的例子。……”，这段话说明，无论是工科转理科或者理科转工科都不是很容易的。

核物理专业从过去以工科为主转到理科，教学计划和教学内容都要有大的改变，当时还是以教研组（专业）为基础组织教学，我们面临的问题是要尽快组织起几门理科核物理专业的有份量的课程，特别是研究生课程。当时我们专业确定要开出“高等量子力学”、“核结构物理”、“核反应物理”等几门重头课。让我负责“核结构物理”课程，这是一门核物理理论课，要从准备教学大纲、教材开始进入这样一个全新的领域，对我这个从实验核物理毕业的学生来说，也是一个很大的挑战。这时，在本科阶段打下的数学、物理与理论物理基础又一次帮助我渡过了难关。经过一年的努力，我把这门课开出来了，上、中、下三册讲义也写出来了，连续上了八年课，历界毕业的研究生对这个课反映都很好。开始两年上课我还是诚惶诚恐的，总怕一些理论水平高的学生提出一些刁难性的问题把我难倒，不过还好，没有出现这种情况。几个考上 CASPEA 或自己联系好了准备出国的学生听过我的课后，说：“过去以为核物理只是开中药铺，罗列一堆实验结果，听了这门课后才知道核物理原来有坚实的理论基础。”一个学生说听了这个课后不止懂得了核物理，而且碰到问题还会自己建立方程来计算了。还有一个博士生毕业后到北大，很快就提教授并担任物理学院副院长了。他说我后来的工作中“尚老师的课和他的那几本讲义帮了很大忙”。“核结构物理”课和后来我独立建立体系的“原子与分子物理”课都得到了较多的好评，这两门课都要求有较好的量子力学基础。我想没在本科阶段较好地理论基础是很难完成这两门课的准备的，也就很难完成从工科实验核物理向理科核物理专业的过渡。

3. 牢固地掌握专业课程为我走上国际舞台助力

1978 年我被推荐去参加我国第一批公派出国的考试。通过国家组织的英语考试后，学校还要组织专业考试。虽然毕业后十多年没有接触过专业，但由于上大学时强化的专业课教育，使我对这些专业知识掌握较好，有的课程内容已深深刻入我的脑海中了，终生都不会忘记，所以专业考试我还是考了满分 100 分。

1980 年初我去加拿大留学，十多年没有接触过核物理，而国际上那十几年又有了飞速的发展，所以开始阶段是完全跟不上的，读论文也有很多东西读不懂。经过自己的努力，慢慢也入了门，论文也写了好几篇，国际会议也参加了好几次。但是仅有这些你会做，别人也会做的 routing 工作还不一定能得到周围人承认的，只有当你在某一方面表现出比别人高一筹的能力时，才能得到别人的尊重。有一件事我至今记忆犹新，一次做一个大型的核物理实验，几位加拿大的博士生和我一起忙了一整天，将所有加速器及各种仪器设备都调试正常了，但就是看不到核反应的信号。几个人从下午一直忙到深夜仍没有什么结果。把老板（他是加拿大皇家协会会员，解决问题能力很强）叫来，搞了一个多小时，仍找不到问题所在。这时大家坐在一起讨论，谁也说不出问题在那里。我根据对核探测器的比较好的掌握提出了我的看法，我说探测器对气体成份十分敏，气体成份微小的变化就会导致探测器不产生信号，现在肯定是探测器中气体成份发生了变化。几位博士生说他们认真地检查了供气系统，所有的供气都正常。我说当气瓶气压较低时，器壁吸附的杂质气体就会有较大的影响。几位博士生对我的分析将信将疑，老板觉得我的分析有一定道理，他第二天一大早亲自去换了新的气瓶，一切其他条件都没有变，新气瓶换上去后，立即工作正常，核反应的信号也清楚地看到了。大家欢呼，对我表示祝贺。过了几天几位博士生在实验中又碰到了另一个难以解决的物理问题，这次是他们主动来找我咨询，按照我提出的解决办法迎刃而解了。几个研究生高兴得跳起来，他们说又是这家伙第二次解决了难题。他们几个人把我抬起来高高抛起。我当时快要离开 McMaster 大学了，他们都希望我别走，留下来继续与他们一起工作。我临离开 McMaster 大学之前，实验室的二十多位研究生专为我举行了一个 Party，并请我吃饭。不久我就离开 McMaster 大学到几百公里外的 McGill 大学去了。在 McGill 工作了几个月后，因为一次出差，我回 McMaster 大学去了一个星期，就在这一个星期内，有十一组不同组合的师生请我吃了十一次饭，师生们对我非常友好。一方面是我和他们相处得很好，另一方面也是我的努力赢得了他们的尊重。

十年后，我到美国参加高能加速器 SSC 的国际合作，我参加的一个高能探测器 GEM 的合作组，此探测器计划投资 5 亿美元（探测器建成后体积比清华主楼还大），合作组有二十多个国家的二百多人参加。合作组有一个 18 人的执行委员会，我是执行委员会的成员。每个月召开一次整个合作组的大会，大会一般选出 1~2 位在该月工作做得比较突出的，取得较好进展的人在大会上做一个报告，这种报告合作者们看得很重。我刚到那里第一个月，就只身一人从美国到加拿大去做了一个重要的物理实验，高能探测器的电磁量能器要用上万根氟化钡晶体，这些晶体经大的辐照剂量照射后就会退化变质，以致失效。但是有理论认为，经过适当的激光辐照退火后，这些晶体又能恢复正常工作。这种激光退火的方法行不行，需要的激光频率、功率等都需要实验验证。我带了几块氟化钡晶体赶到加拿大麦吉尔大学，找到我原来在那里工作过的教授。我们先将晶体送到一个医院，用他们很强的放射源照射几天，使其出现严重的辐照损伤。这同时，我就和这位教授一起准备激光退火用的实验装置并调整几台激光器使其正常工作。经过一个星期的实验，证明了选择恰当的实验条件（激光功率、频率、退火时间等）是完全可以使受损伤的晶体恢复正常工作的。回到美国后，将我的实验情况向合作组的负责人汇报后，他们非常满意。几天后就让我在合作组的大会上做了个报告。能在合作组大会上做报告是很不容易的。过了几个月中科大一位长期在国外的学者研究有了

进展在合作组大会上做了报告，科大的代表就立即给科大校长打电话报喜。

合作组各国的代表都想争取一些项目到本国去完成，可以提高自己国家在国际高能物理界的影响。当时，GEM探测器的铜基强子量能器（投资约1600万美元）。美国的几所大学，还有欧洲几个国家，俄罗斯及中国都想争取这个项目。量能器首席科学家是移民美国的一位俄罗斯科学家。他说，虽然争得很厉害，但他说只有他回俄罗斯去领导俄罗斯的小组，和我回中国领导中国的小组才真有力量完成这项任务。但他说他自己不想回俄罗斯，因此只能由我领导的清华与中国其他单位合作的小组来承担这一任务。这项任务我们基本就能拿到了，当时制作探测器的大批材料已在费米实验室包装好（十几个大木箱）准备起运到清华，运费已从SSC实验室寄到费米实验室。但可惜的是SSC项目（大约要投资110亿美元）被美国国会砍掉了。我们的计划也就落空了。

中国各单位到SSC参加合作都是由加洲理工学院的朱人元教授负责联系并向美方推荐的。我回国后才听说他对我在GEM一年的工作很满意。他在上海时对同济大学的教授们说“参加GEM合作，各单位都派出强手，但教授和教授还不一样。清华的尚仁成教授就敢于和美国教授平起平坐的讨论问题”。李政道先生是SSC的顾问，在美国合作期间，我没有见过他。只知道很多事情他都在操控。回国后听中科大的一位朋友说“TD（美国人称李政道先生为TD）可是大大夸奖你了，说清华到GEM参加合作的代表很能干”。

在这一系列的国际合作中，我能发挥一定作用。在国内工作的经验积累固然重要，但我始终觉得大学阶段学到的牢固的专业基础知识始终伴随我，使我终身受益。

三、H 教学计划的缺点和不足

H 教学计划是工物系建系后的第一批教学计划，很有特色，使受教育者终身受益。但当时毕竟建系不久，经验不足，这份教学计划也有它的缺点和不足之处。我个人感觉有以下几点不足：

1. 对数学、物理等基础学科的最新发展涵盖不够。由于当时清华已没有理科，数学、物理等基础课的教材和教学内容都是多年前留下来的东西。教师基本都是专教基础课的，不参加科研，教学中对于相关领域的新发展基本没有体现出来。例如数学课虽然学时很多，但对于一些已在物理学和其他领域中有广泛应用的数学分析如微分几何、拓扑学、群论等完全没有涉及到，物理学除核物理外，其他近代发展也没有涉及。

学校全力保证工物系的教学，尽量派最好的教师到工物系上课，但由于理科被调整出清华，基础课教学力量也受到很大影响，国内公认的优秀基础课教师留下来的已不多了。

2. 有些涉及较小分枝学科的工科课程不适于安排进核物理这样一个偏理的学科。如金属工艺学、焊接技术等。专业实习到工厂基本上是参观性的，学生基本不能动手，这样就达不到实践的目的。

尽管有这样那样的缺点，但在当时的条件下，能够制定出这样一个有战略眼光、有特色，能使学生终身受益的教学计划，确实是一件很了不起的事，很值得后来者参考。