

## 附件 1. 教学成果报告(11115):

清华大学第 25 次教育工作讨论会明确提出“践行‘三位一体’教育理念，全面建设一流人才培养模式”的主题，强调教书育人是清华最重要的“初心”，培养各学科一流人才，培养祖国建设各领域的领军人物和各类人才是清华最重要的使命。一流人才的培养应注重以人为本，因材施教，实施多元化、个性化的人才培养模式。传统的近代物理实验教学模式单一，内容固定，无法满足不同学生群体的要求，优秀学生觉得课程没有挑战性而失去兴趣，做实验只是走过场，不利于一流人才和创新人才的培养。国际一流高等学校如哈佛大学等的近代物理实验教学采用以问题为导向的课题实验，注重学生综合实验能力和创新能力的培养。清华大学近代物理实验室针对国内具体情况，借鉴国际一流大学的教学理念和做法，在 2006 年实施教学改革，改变教学模式。我们整合实验室的所有资源，建立了基础、综合与设计研究性实验相结合的分层次、多模式教学体系，满足不同学生群体的需求，注重对大量学生的基础训练和志趣激励，并同时兼顾优秀学生的能力提高。该模式实施后广受学生好评，荣获 2010 年清华大学教学成果奖。

在上述教学改革过程中，我们发现大部分学生喜欢课程有一定的挑战性，在解决问题、克服困难的过程中获得自信和成就感。因此，在 2010 年近代物理实验室进一步深化改革，实行以“自由实验、乐学创新”为主旨、学-研-创相结合的研究型近代物理实验教学模式。这种教学模式受到学生的喜爱和欢迎，效果显著，获 2014 年清华大学教

学成果一等奖和 2017 年北京市高等教育教学成果一等奖。成果完成至 2018 年 3 月有 6 年多的实践检验期，而且在不断发展中。

“自由实验、乐学创新”的研究型教学理念是以兴趣和问题为导向，给学生挑战自己的空间和施展才华的舞台，实施个性化和多样化人才培养。所谓“自由实验”，一是实验室全面开放，学生自由选择实验时间和实验项目；二是实验内容具有开放性，学生按自己的兴趣自由开展不同的实验探究方向；三是实验仪器具有开放性，学生利用自己的特长自由改造仪器或增加新功能，也可自由搭建新仪器，做新实验。“乐学创新”是以学生的兴趣和问题为导向，提高课程的挑战性和趣味性，唤醒学生学习和研究的内动力，通过学-研-创相结合的方式，达到“乐学”和“创新”的效果，使近物实验室成为学生探究和学习的乐园和教学研究基地。

教学内容从经典到现代、从基础到科研前沿，有 40 多个实验项目，分成 8 个综合研究实验平台。每个平台有不同的物理学学术方向和现代前沿技术方向。实验内容基本涵盖物理学的所有二级学科，反映近代物理学的重大发展，注意与当代科研的发展相结合，注重实验技术的先进性和时代性。实验内容和仪器都具有开放性，适合自由实验、乐学创新的教学模式。

实验室采用全方位开放的原则让学生自由选题。学生在选定实验题目后自己查阅文献和实验资料并整理总结，然后进行师生讨论。讨论时先让学生报告文献资料综述，自己对该实验原理的理解、实验方向和初步的实验方案等。教师根据学生的报告提出一些问题，引导学

生较深入地理解实验原理，针对实验方案给出建议和实验中需要注意的问题。之后学生预约时间按设计的方案完成实验。实验室定期举办组会报告会，讨论实验进展的细节，及时解决实验过程中的问题，保证自主实验的进度和质量。实验室在工作日全天开放，学生在预约实验时间或在实验设备闲置的其它时间都可以来实验室进行实验研究。有时根据学生要求，也在晚上或周末开放。此外，学生完成实验研究不限于在本实验室，可由实验室帮助联系科研实验室，让学生利用科研仪器完成部分自主实验内容。实验完成后写论文报告，并做成PPT，在期末相互交流。

教学管理采用现代信息技术进行数字化管理，通过近代物理实验网站进行教学组织和实验管理。学生的设计方案、实验预约、实验问题、研究论文、口头报告的提交；教师对各种报告的批阅及师生交流等都通过网络高效进行，同时实验网站有丰富的实验资料，包括网络教程、实验讲义，实验参考文献，网络课件等。自由设计实验的评价则全面考察实验选题、实验过程、实验报告和口头报告进行综合评价。

自由实验、乐学创新的教学模式把兴趣激励与能力培养相结合，注重唤醒学生的好奇心和学习的内动力，通过学-研-创相结合的方式，让学生在学中研，在研中创，不仅实现学校“知识传授、能力提高和价值塑造”三位一体的教学目标，而且实现实验拔尖人才培养和实验室持续发展的双赢。

在过去6年内参与本项成果所述模式的理工科学生有一千多人，较好完成小项目300多项。在此通过几个事例，对如何实施自由实验、

乐学创新的实验教学模式和如何实现“三位一体”的教学目标作具体说明。

例一 对于反映当代科学发展、与科研领域结合较密切的实验项目，如量子纠缠实验，与时俱进的开放性实验内容能有效激发学生的好奇心和探索热情，进而投入其中，实现乐学与创新的教学效果。

量子纠缠实验是物理系科研成果的转化，蕴含丰富的物理内容，也是多项现代前沿技术的综合。本实验内容与最新的科研前沿紧密呼应，选题有很强的开放性和探究性。自投入教学以来，学生已做过“非线性光学元件参数测量与标定”、“纠缠光子补偿系统设计与实现”、“双光子纠缠源搭建”、“Bell 不等式实验验证”、“纠缠源部件效率测试”、“纠缠源效率提高方案设计”、“量子密钥分发方案实验”等开放型、研究型实验题目。实验内容至今仍在不断扩展延伸，同一个实验因不同学生的兴趣点和想象力不同而焕发出不同的精彩和魅力。

例如 2013 年秋季学期张鹏飞同学做过量子纠缠实验后，提出以光谱仪代替单光子计数器，进行非线性晶体在特定波长泵浦光下 SPDC 光场的分析工作，并初步完成了实验方案。2014 年春季学期，选做量子纠缠验证 Bell 不等式的吴宇恺同学发现所选用的光谱仪在超强泵浦光照射下有强烈的高级衍射信号产生，这个噪声信号对原有设备方案造成致命打击。于是他和其他几位在该平台上做探究实验的同学共同查找文献、调研设备参数、重新规划方案，以增加长通滤波片、改 SMA905 光纤为 FC 光纤、借用灵敏度更高的高级光谱仪等方法重新完成实验，并用单光子计数器对自行完成的方案进行了验证，取得了实

验的最终成功。

2015年春季学期，李昊元同学在完成II类纠缠源实验的基础上提出建设I类量子纠缠源的设想，并从理论和实验方案两个方面予以论证。2015年秋季学期，熊昊楠同学在李昊元建议的基础上优化方案，成功搭建出I类量子纠缠源实验系统，研究了I类量子纠缠源的纠缠特性在不同条件下的变化，并提出进一步的改进方案。因为对实验的强烈兴趣，熊昊楠于2016年春季学期把上学期的改进设想付诸实践。他和蒋文韬同学合作，研究出一种快速准确、行之有效的光路定位和调节方法，做出令人满意的结果。为此俩同学获得了2016年度清华大学学生实验室建设贡献奖。

纵观这个过程，同学们首次提出方案，体现了新模式给学生带来勇于创新的机会，发现问题后，进行脑力激荡、重新构建实验，并最终完成。通过质疑进而探索研究的过程使学生的质疑思想和创新意识得到强化，相信自己具有创新的潜质。学生做什么内容并不重要，重要的是实验过程中发现问题并解决问题的实践体验和能力的提高。事实上，量子纠缠实验平台一直在学生不断发现问题和质疑中丰富和完善，该平台的教学实践和发展过程始终体现师生互动、激发兴趣、激励创新的教学原则。

与量子纠缠实验类似的实验还有很多，如以激光拉曼实验为基础的光谱学研究平台、等离子体特性综合研究、扫描隧道显微镜、反常霍尔效应和磁光效应等实验内容具有开放性，可有效实施乐学创新的研究性教学。

例二 对于传统的经典实验,让学生将自己的特长融入自主实验,为学生提供发挥特长的平台,改进实验仪器,丰富实验内容,让经典实验焕发新的生命力,实现乐学创新和实验室建设的良性持续发展。

经典实验的仪器相对固化,但其与新技术、新科研成果的结合也会使经典实验焕发新的活力。自由实验、乐学创新的近物实验模式为学生提供学研结合的平台,让学生将其所学的新技术、新知识运用于经典实验,使其在学-研-创过程中发挥所长,收获研究能力和自信心的提升,同时对实验室的良性发展做出贡献。

例如电子衍射实验是经典的诺贝尔物理奖实验。目前高校普遍使用火棉胶(易燃、易爆、有毒)做基膜。刘博远和陈博轩同学在做电子衍射实验时,结合在纳米研究中心学到的知识,提出用超顺排碳纳米管(Super-Aligned Carbon Nano -Tube: SACNT)薄膜替代火棉胶基膜的方案。二位同学查阅文献,向商家咨询各种器件的功能和价格,反复细化设计方案,成功搭建出一套操作简便的SACNT薄膜铺膜装置。该实验装置不仅用清洁的碳纳米管材料取代了有毒的有机材料,而且使用SACNT膜的特征衍射斑作为测量标尺,可提高测量精度。他们将碳纳米管这种新型材料引入该实验,为后续学生开展探究碳纳米管材料相关性质的教学内容奠定基础,使经典实验焕发新的活力。两位同学由此获得2016年清华大学学生实验室建设贡献奖一等奖。

再如近物实验室利用科研淘汰的光栅光谱仪开发出一套激光拉曼实验装置,光谱仪的控制器因年代久远与计算机不兼容,操作不便。鲍亦澄同学对电子电路设计和计算机控制学有专长,他设计制作了新

的光谱仪控制器，不仅实现计算机程序控制，而且操作更为方便，控制更加精准。这一改进让该实验仪器重新焕发活力。为此鲍亦澄获 2015 年学生实验室贡献奖。这样的事例还有很多，不再一一列举。

**例三 自由实验、乐学创新的研究型实验教学鼓励学生做“DIY (Do it yourself)”实验，从零开始设计完成新的实验装置，实现实验拔尖人才培养与实验室建设的双赢。**

对于那些实验能力和实验兴趣都很强的学生，自由实验、乐学创新的教学模式能从自身兴趣出发，为学生提供施展才华的空间，鼓励学生做 DIY 实验，不仅做实验，而且“创实验”。

例如宋彭同学对超导线材临界电流随磁场的变化有很大兴趣，当时国内高校尚没有这样的实验。他通过查阅大量文献、向做超导研究的科研实验室老师请教，提出实验装置的设计方案。经实验室老师讨论审阅，认为方案可行。之后调研测量仪表、设计加工测量样品架和磁体等，自己组装与测试，经过多次改进，历时一年多，最终成功完成该实验装置的搭建，并测量出满意的实验结果。相关的实验结果发表在物理实验杂志上，宋彭同学也因此获得清华大学第 23 届学生实验室贡献奖。

这套实验装置完成后已作为近物凝聚态物理与技术综合研究平台的实验内容之一供学生选做，也成为激励后续做近物实验的学生积极参与实验室建设的典范。受此启发，曹德志同学利用自己所学设计完成对该设备进行计算机自动控制测量的改进工作。目前该实验是国内高校中独家开展对高温超导材料电性能综合测试（包括临界温度、

临界电流、 $I_c$ - $B$  特性) 的仪器, 被同行评价为“清华特色”, 对发挥清华大学国家实验物理教学中心的示范和辐射作用有着积极的意义。

此外, 近物实验室“大气等离子体物理与技术”、“稀土材料的巨磁致伸缩效应”、“半导体热电效应测量”、“石墨烯分散液的光学性能研究”等实验都是学生 DIY 实验的成果, 是近物实验教学人才培养和实验室建设双赢的典型事例。

### 结语:

从上述事例可以看出“自由实验、乐学创新”的研究型近代物理实验教学模式能充分发挥学生的积极性和探索精神, 实施以人为本、因材施教的个性化、多样化人才培养。学生在学研创结合的自主实验过程中施展个人特长, 提高综合能力, 塑造优秀品格, 不仅实现学校“三位一体”的教学目标, 而且对实验室建设做出贡献, 是人才培养和实验室建设的双赢模式。学生通过自由实验参与实验室建设的模式也是我们“自由实验、乐学创新”教学模式的成果之一, 深受同行赞誉, 值得在全国高校推广和发扬。

本成果实施期间, 有一千多名理工科学生参与受益, 在此仅举数例说明近物实验教学新模式在人才培养中所发挥的积极作用。学生们普遍反映在自主实验时一次次失败、一次次改进的过程中所收获的坚持、思考、耐心和信心, 都在潜移默化中深入内心, 在润物无声中养成严谨科学的思维方式和坚忍不拔、不轻言放弃的美好品格。这种自主学习的能力、思维的发展和美好品格的培育正是教育的目的所在。

项目实施以来深受学生欢迎，我们的教学实践也在师生的创意中不断丰富和发展。我们每学期收集教师、工程师和学生的反馈意见，不断将新思想、措施融入新体系中，使新体系成为一个接收反馈意见、不断革新自身、再次投入教学实践、再次吸收反馈并革新的与时俱进的“生命体”。当然，让新体系焕发强大的生命力，给教学以臂助，给学生更多收益，是我们的目标。学生的成长、收获、支持和希望是我们坚持初心、不断改革和努力前行的动力。

## 附件 2：教学成果应用及效果证明材料(11115)

著名物理学家劳厄认为“重要的不是获得知识，而是发展思维能力。教育无非是一切已经学过的东西都遗忘的时候所剩下的东西。”伟大的教育家孔子也说过“如切如磋者，道学也，如琢如磨者，自修也。”“自由实验，乐学创新”的研究型近代物理实验教学模式能切实贯彻学校“研究型教学”的教育理念，践行“教育”的深刻内涵。应试教育体制往往强调“教”而忽视“育”。教不过是手段，学生独立人格的长育、专业能力的提高必须靠学生自己的体证身修得以实现。因此教育教学不只是向学生传授知识，而应激发学生兴趣、为学生的自主成长和发展思维能力提供条件。自由实验、乐学创新的近物实验教学模式给学生自由发挥的空间，让学生展开想象力的翅膀，将所学所知融于实验设计，让学生做自己的实验，做实验的主人。本成果在应用过程中重视兴趣激励，引导学生把自由实验课题与自己的兴趣和特长相结合，将“乐学”融入自主实验过程，部分学生为了实验达到废寝忘食的境界，真正实现教学目的，达到最佳效果。本成果注重创新精神的培育，鼓励学生关注细节，发现问题，敢于质疑，从质疑中培育创新精神的生长点。本成果把实验室交给学生，鼓励他们提出原创性问题，并独立设计实验方案解决问题。提出问题必须有对问题的敏锐洞察力，这也是创新能力的核心要素之一。本项成果正是在以上诸方面做出了努力。

6年多的教学实践表明以“自由实验、乐学创新”为基调的近代物理实验教学模式能够充分利用实验室的所有资源，满足不同学生群

体的实验需求，实施“以人为本，因材施教”，为学生提供自由的自主探究氛围和开放性实验平台，在轻松的氛围中唤醒学生学习的内动力和创新潜质，在兴趣的驱动下大胆探索和创新。通过学研创相结合的自主实验破除学生在传统实验教学中被动实验、不敢探索的心理问题，提高学生的综合实验能力，增强学生的自信心，培养学生的创新意识，形成兴趣激励、自主探索、独立思考、乐学创新的良好实验氛围，有利于培养多样化、个性化、高素质创新人才。

项目实施以来广受学生好评，我们的教学实践也在师生的创意中不断丰富和发展。每学期都有新的实验内容和项目，很多项目都有延续性和拓展性，既注意上届学生成果的传承，又注意下届学生的创新意识培养。一个学生的独特创意如一粒种子，在自由实验、乐学创新的实验氛围中抽芽成长，其他学生会在其主干上发现自己新创意的生长点，探究内容和方法不断深化和发展，原来的幼苗渐渐成为一棵枝繁叶茂的大树，实验内容和方法由点到面，日益丰富和完善，在实验室落地生根，惠及更多学生，为实验室的持续建设和发展不断注入新的生命力。正是这种能够自我成长的良好机制使我们的研究型教学模式不断发展，每学期都有大批的学生以很高的热情参加新模式的自主实验探究项目。在过去6年多参与本项成果所述模式的学生有一千多名理工科学生，较好完成小项目300多项。很多学生反映通过近物实验的学习学到的不仅是知识和能力，更有品质和精神上的收获，而后者比具体知识的收获更重要。我们在2.7部分节选了部分学生对课程的评价和收获，正面效果可见一斑。

项目实施以来发表教学论文二十余篇，获得各种奖项近三十项，专利两项，实验教学研究项目六项，开发出与新模式配套的教学管理系统和网络平台，新建设实验项目十八项。多次参加全国教学会议做学术交流，并多次做大会报告和分会报告。平时经常接待众多国内高校同行的参观交流，被同行评价为“理念先进、效果显著、在国内高校具有引领作用，值得有推广和借鉴”。

具体的教学成果应用及效果证明列举如下，限于篇幅字数，其中 2.6 自由实验选题和 2.7 学生对近物课程新模式的评价部分，我们仅例举 2014 年的自主实验题目和节选部分同学对本课程的评价，希望能达到“窥一斑而知全豹”的作用。

## 2.1 本成果实施以来发表的教学论文及获得专利：

- (1) 王合英，孙文博，陈宜保等. 自由实验、乐学创新的近代物理实验教学. 《物理实验》，37（2），33-37，2017.
- (2) 王子逸（学生），王合英，孙文博. 分析 II 类自发参量下转换光场光子通量分布辅助纠缠源调节，《物理实验》，37（3），52-55，2017.
- (3) 陈宏，陈宜保，何运孝（学生）等. 法拉第效应和波长的关系. 37（5），16-20，2017.
- (4) 王合英，孙文博，陈宜保等. 实验物理教学中的留白艺术. 《物理实验》，37（5），21-27，2017.

- (5) 鲍亦澄 (学生), 陈宜保, 孙文博, 王合英. 基于微控制器的拉曼光谱仪控制系统的研发. 《物理实验》, 36 (11), 7-9, 2016.
- (6) 马聆越 (学生), 孙文博. 超声实验中迟到波成因和影响因素的探究. 《物理实验》, 36 (9), 32-36, 2016.
- (7) 王合英, 陈宜保, 孙文博等. 信息技术在大学物理实验教学中的应用. 《实验技术与管理》. 33(8), 141-144, 2016.
- (8) 孙文博, 王合英, 陈宜保等. I 类量子纠缠实验教学系统, 《物理实验》. 36 (6), 1-5, 2016.
- (9) 陈宜保, 马聆越 (学生). 石墨烯薄膜的微观结构和光电性能, 《实验技术与管理》. 33 (11), 49-53, 2016.
- (10) 孙文博, 王合英. I 类和 II 类光子偏振纠缠源的实验教学对比研究, 《实验技术与管理》. 23 (11), 75—79, 2016.
- (11) 蒋笑寒 (学生), 陈宜保, 梁昌林等. 测量  $\text{Ga}_{0.85}\text{Mn}_{0.05}\text{As}$  薄膜材料磁学性质的实验系统——基于反常霍尔效应和表面磁光克尔效应, 《物理教学》, 37 (10), 2-7, 2015.
- (12) 陈基 (学生), 孙文博, 王合英等. “看见”一种新型的二维冰结构. 《现代物理知识》. 27(2), 45-50, 2015.
- (13) 孙文博, 王子逸 (学生), 王合英等. 分析自发参量下转换光场结构辅助搭建双光子纠缠源. 《物理实验》. 34 (4), 5-10, 2014.

- (14) 王合英, 孙文博, 用 X 射线衍射测量普朗克常量. 《物理实验》. 34 (10), 4-7, 2014.
- (15) 孙文博, 王合英, 陈宜保等. 量子纠缠实验中 SPDC 光谱分布的计算分析与实验研究. 《物理实验》. 34 (11), 1-5, 2014.
- (16) 宋彭(学生), 王合英. 高温超导导线  $I_c$ - $B$  特性的测量. 《物理实验》. 33 (2), 6-9, 2013.
- (17) 王合英, 陈国旭(学生)等. 低温等离子体物理实验教学研究. 《物理实验》. 33 (3), 35-38, 2013.
- (18) 曾昭明(学生), 陈宜保, 袁科亮(学生)等. 光泵磁共振实验中光抽运信号波形成因的探究. 《物理与工程》. 21 (3), 62-64, 2011.
- (19) 张国浩(学生), 陈宜保, 张晓平. 锁相放大器直流输出分析——输入占空比可调矩形波信号. 《中国测试技术》. 37 (6), 91-93, 2011.
- (20) 钱庆凯(学生), 陈宜保, 张晓平. 光抽运信号的理论分析. 《物理实验》. 31 (11), 40-42, 2011.
- (21) 孙文博, 王合英, 陈宜保等. 用光子纠缠源验证 Bell 不等式. 《物理实验》. 30 (12), 1-4, 2010.
- (22) 实用新型专利 1: 张敬涵(学生), 孙文博. 一种银丝插入溶液的深度对针尖腐蚀效果影响的测量组件. 专利号: ZL 2017 2 0579056. 6.

(23) 实用新型专利 2: 张敬涵 (学生), 孙文博. 一种扫描隧道显微镜针尖制备装置. 专利号: ZL 2017 2 0579059. X

## 2.2 本成果相关的获奖情况:

- (1) “自由实验、乐学创新的研究性近物实验教学”, 王合英、孙文博、陈宜保、张慧云、陈宏等获 2017 年北京市高等教育教学成果奖一等奖。
- (2) 王合英在 2017 年荣获清华大学 2016 年度教学优秀奖。
- (3) 孙文博在 2017 年荣获第十一届清华大学优秀实验技术人员奖。
- (4) 袁子, 石经天在 2017 年全国大学生物理实验竞赛-综合性研究性实验项目中荣获一等奖。
- (5) “铷原子磁光阱教学实验系统搭建”。陈丞, 李奕璠, 鲍亦澄, 李相良获 2017 年度清华大学学生实验室建设贡献奖二等奖。
- (6) “符合计数系统及其配套数据处理软件”。宋智获 2017 年度清华大学学生实验室建设贡献奖三等奖。
- (7) “用于电子衍射实验的超顺排碳纳米管基膜制备装置”。刘博远, 陈博轩获得 2016 年度清华大学学生实验室建设贡献奖一等奖。

- (8) “量子纠缠源中 BBO 晶体原位定轴的方法设计和实验建设”。  
熊昊楠，蒋文韬获得 2016 年度清华大学学生实验室建设贡献奖二等奖。
- (9) “Analysis of photon flus distribution of type-II SPDC for highly efficient entangled twin-photon adjustment”，王子逸（学生），孙文博获 2016（第四届）东润丘成桐科学奖（物理）铜奖。
- (10) “The Interference of a Laser Beam Traveling Through Graphene Dispersions”。马聆越（学生），陈宜保获 2016（第四届）东润丘成桐科学奖（物理）铜奖。
- (11) “数字式硅片少子寿命测量仪”，陈宜保，梁昌林，常纓，葛惟昆，获 2016 年全国高校物理实验教学自制仪器评比一等奖。
- (12) “I 类量子纠缠实验教学系统”，孙文博，王合英，陈宜保，陈宏，获清华大学第十四届实验技术成果二等奖。（2016）。
- (13) “反常霍尔及磁光效应实验教学系统”，陈宜保，梁昌林，孙文博，陈宏，王合英，获清华大学第十四届实验技术成果二等奖。（2016）。
- (14) “(Ga,Mn)As 薄膜的磁学性质及其相变点附近的磁电关联”，蒋笑寒获 2015 年第十五届“明天小小科学家”奖励活动一等奖，指导教师：陈宜保，徐乾，张留碗。

- (15) 鲍亦澄，刘明祖在 2015 年全国大学生物理实验竞赛-综合性研究性实验项目中荣获二等奖。
- (16) “532nmKTP 晶体倍频激光器的制作”，李嘉琛，鲍亦澄，获 2015 清华大学学生实验室建设贡献三等奖。
- (17) “PSD 位移敏感探测装置实验仪的搭建与特性研究”。李岳桥，汪旻臻获 2015 年清华大学学生实验室建设贡献三等奖。
- (18) “SPEX1304 拉曼光谱仪的控制器的制作与上位机的编写”，鲍亦澄，获 2015 年清华大学学生实验室建设贡献三等奖。
- (19) “自由实验、乐学创新的研究性近物实验教学”，王合英、孙文博、陈宜保、张慧云、陈宏，获 2014 年清华大学教学成果奖一等奖。
- (20) “分析 SPDC 光场辅助搭建双光子纠缠源”，孙文博、王合英、陈宜保，获清华大学第十三届清华大学实验技术成果奖二等奖。（2014 年）
- (21) “常压低温等离子体综合实验”，王合英、聂秋月、张慧云、茅卫红、陈宜保，获清华大学第十三届清华大学实验技术成果奖二等奖。（2014 年）
- (22) “石榴石材料中的磁晶各向异性及磁畴的观测实验装置”，茅卫红、张慧云，获清华大学第十三届清华大学实验技术成果奖三等奖。（2014 年）
- (23) “高温超导导线  $I_c$ - $B$  特性实验装置”。宋彭获清华大学第 23 届学生实验室建设贡献二等奖。（2013 年）

- (24) 满浩然, 王江涛在 2012 年全国大学生物理实验竞赛-综合性研究性实验项目中荣获一等奖。
- (25) “近代物理实验课程教学管理系统”. 陈宜保, 孙文博等获清华大学优秀教学软件二等奖。(2012 年)
- (26) “双光子偏振纠缠源”. 孙文博、王合英、陈宜保获清华大学第十一届清华大学实验技术成果奖一等奖。(2010 年)
- (27) “致力于拔尖人才培养的近代物理实验教学模式探索与实践”. 王合英, 陈宜保等获清华大学教学成果奖二等奖。(2010 年)

### 2.3 本成果相关的教学研究:

- (1) 教育部基础学科拔尖学生培养试验计划, “研究型实验物理教学对拔尖学生成长的影响”. 张留碗, 王合英等. 2016-2018 年.
- (2) 教育部中央高校改善基本办学条件专项资金项目, 张留碗, 王合英等. 2016-2017 年.
- (3) 清华大学教培中心实践教学类教改研究: DIY 近代物理实验教学模式对学生创新能力培养的实践与研究. 王合英, 孙文博等. 2016-2018 年.
- (4) 第三届清华大学实验室创新基金重点支持项目: 《单光子干涉教学实验系统建设》. 孙文博, 王合英等. 2016-2018 年.

- (5) 第二届清华大学实验室创新基金, 《利用纠缠源制备全同光子教学实验系统》, 孙文博, 王合英, 陈宜保. 2014-2016 年.
- (6) 国家基础科学人才培养支撑条件建设项目. 阮东, 张留碗, 王合英等. 2014-2016 年.

#### 2.4 本成果实施期间建设和开设的实验项目:

- (1) I 类量子纠缠源实验
- (2) 532nm KTP 晶体倍频激光器的制作与性能标定
- (3) 扫描隧道显微镜
- (4) 利用纠缠源制备全同光子实验
- (5) 常压低温等离子体综合实验
- (6) 反常霍尔及磁光效应实验
- (7) 数字式硅片少子寿命测量
- (8) 石榴石材料中的磁晶各向异性及磁畴的观测实验
- (9) 高温超导导线  $I_c$ - $B$  特性实验
- (10) 石墨烯分散液的光学性能研究
- (11) 物性测量综合实验
- (12) 高温超导带材磁场分布测量
- (13) 液晶双稳态实验
- (14) 显微激光拉曼实验
- (15) 单光子干涉实验
- (16) 铷原子的饱和吸收谱

(17) 磁光阱

(18) 金刚石 NV 色心的光探测磁共振

## 2.5 参加学术会议交流

- (1) 第九届全国高等学校物理实验教学研讨会，2016 年青海大学主办，3 篇会议论文参会。
- (2) 北京市高等学校物理实验教学交流会，2014 年北京交通大学主办，王合英在会上做“自由乐学的近代物理实验”邀请报告。
- (3) 第八届全国高等学校物理实验教学研讨会，2014 年哈尔滨工程大学主办，2 篇会议论文参会并做分会报告。
- (4) 2013 物理教育联合会议，台北市中国文化大学主办，王合英在会议上做“实验物理教学在人才培养中的作用”大会报告。
- (5) 第二届全国高等学校近代物理实验教学研讨会，2012 年复旦大学举办，王合英在会议上做题为“近代物理实验的范畴与研究型教学实践”的大会报告。
- (6) 第七届全国高等学校物理实验教学研讨会，2012 年成都四川大学主办，3 篇会议论文参会，两篇做分会报告。低温等离子体物理实验教学装置获仪器评比三等奖。

## 2.6 实验题目例举：2013 秋-2014 春季学期学生的部分自由实验选题

- (1) 张佩瑶 2011012094 2013 秋季学期  $\theta$  调制片制作及假彩色处理
- (2) 凌菲彤 2011011667 2013 秋季学期 压力对四极滤质器与残余气体检测实验的影响
- (3) 姚磊 2011011686 2013 秋季学期 利用超声波测量溶液密度实验
- (4) 李默涵 2011011597 2013 秋季学期 椭圆偏振法测定金属光学常数
- (5) 陈欣 2011011587 2013 秋季学期 影响太阳能电池工作特性的因素探究实验
- (6) 王盈 2011011582 2013 秋季学期 观测半导体薄膜的热电效应
- (7) 张华宇 2011011658 2013 秋季学期 基于 T1, T2 和质子密度加权的核磁共振成像的对比度调节
- (8) 金翔 2011012128 2013 秋季学期 准确测量半导体激光器的波长
- (9) 刘爽 2011011625 2013 秋季学期 探究硫酸铜溶液回转时间 T1、T2 与溶液浓度的关系
- (10) 肖立 2011011652 2013 秋季学期 辉光等离子体气体放电衍生实验
- (11) 康世栋 2011011670 2013 秋季学期 超声光栅现象观测

- (12) 周曼桐 2011012046 2013 秋季学期 利用 X 射线观察康普顿效应
- (13) 吴宇楠 2011012074 2013 秋季学期 利用超声进行探伤或测厚
- (14) 蔡一鸣 2011011630 2013 秋季学期 傅里叶全息成像的多重记录
- (15) 颜子昂 2011012066 2013 秋季学期 利用四极滤质器测量马修方程可求解区域
- (16) 张鹏飞 2011012108 2013 秋季学期 自发参量下转换光场测定
- (17) 李海威 2011012122 2013 秋季学期 铁磁共振 P-B 曲线的示波器测量方法
- (18) 杨俊炜 2011011581 2013 秋季学期 超声波声速与材料浓度、温度的关系
- (19) 郑诚 2011012076 2013 秋季学期 不同波长光照对太阳能电池效率的影响
- (20) 吴勇勇 2011011599 2013 秋季学期 X 射线的康普顿散射
- (21) 葛枫 2011011595 2013 秋季学期 MnSi<sub>1.7</sub> 半导体薄膜热电性能测量
- (22) 吴艳梅 2011012067 2013 秋季学期 金属薄膜的电阻率和膜厚的关系

- (23) 王宁波 2011011688 2013 秋季学期 磁控溅射镀膜不同膜厚时电阻率的测量实验
- (24) 袁媛 2011011695 2013 秋季学期 基于莱宝教具验证 X 射线的康普顿效应
- (25) 石竹均 2011012141 2013 秋季学期 基于莱宝 X 射线衍射仪的康普顿效应观测
- (26) 王刚 2011011634 2013 秋季学期 NiFe 薄膜和自旋阀各向异性磁电阻规律探究
- (27) 祝绪成 2011011653 2013 秋季学期 低场核磁共振研究食品
- (28) 刘莹 2011012140 2013 秋季学期 交流法拉第效应
- (29) 刘源 2011012111 2013 秋季学期 一种利用 X 射线衍射测量普朗克常量  $h$  的改进方案
- (30) 赵步 2011011620 2013 秋季学期 添加  $1/4$  波片后表面磁光克尔效应设计实验
- (31) 王宇佳 2011012081 2013 秋季学期 石榴石磁泡膜中三类硬磁畴的形成方法及静（动）态特征探究
- (32) 侯佳芸 2011012096 2013 秋季学期 探究不同波长滤色片对太阳能电池参数的影响
- (33) 孙嘉懿 2011012065 2013 秋季学期 微波近场辐射强度随距离关系的测定
- (34) 王秋东 2011011590 2013 秋季学期 超声空化

- (35) 李岳 2011011617 2013 秋季学期 基于 GMR 梯度传感器的  
自行车计速器
- (36) 李文雄 2011012106 2013 秋季学期 直流辉光等离子体击穿  
电压影响因素探究
- (37) 何敬涛 2012011733 2014 春季学期 PN 结对交流信号相位  
的影响
- (38) 姚亚鑫 2012011753 2014 春季学期 研究不同条件对全息成  
像的影响
- (39) 马逸昕 2012011667 2014 春季学期 摩擦压力对液晶器件电  
光性能的影响
- (40) 王逸飞 2011012126 2014 春季学期 康普顿散射验证
- (41) 王梦臻 2012011747 2014 春季学期 利用光学方法验证傅里  
叶变换的微分性质
- (42) 邹运 2012011696 2014 春季学期 摩擦强度和均匀性对液  
晶性质的影响
- (43) 李江红 2012011805 2014 春季学期 研究不同比例的氦氮气  
体的放电及光谱测量
- (44) 李卓璐 2011012124 2014 春季学期 康普顿散射
- (45) 吴籽杉 2011011627 2014 春季学期 椭圆偏振法测定金属膜  
光学常数
- (46) 陈杨 2012011672 2014 春季学期 真空的获得与进一步测  
量

- (47) 陈墨 2013211464 2014 春季学期 基于绝缘衬底的电子束光刻
- (48) 肖婷 2012011800 2014 春季学期 半导体薄膜的电学性质测量实验
- (49) 贾川 2012011742 2014 春季学期 硅太阳能电池对不同波长光利用率曲线的测量
- (50) 董斯祺 2012011728 2014 春季学期 北京地磁场测量实验方案
- (51) 蒋楠 2011012054 2014 春季学期 复合光栅的制备
- (52) 李奕璠 2012011815 2014 春季学期 半导体薄膜的制备及温差电阻测量
- (53) 李瑞奇 2012011697 2014 春季学期 修正 X 射线谱截止频率法测定普朗克常数
- (54) 孙一松 2012011670 2014 春季学期 取向剂对液晶盒电光性能的影响
- (55) 朱莸 2012011746 2014 春季学期 北京地磁场测量
- (56) 张鸿泽 2012011669 2014 春季学期 制备工艺对液晶盒物理性能的影响
- (57) 张涛 2012011664 2014 春季学期 线性振子的参考信号对于其速度变化的影响
- (58) 柳嘉阳 2012011683 2014 春季学期 磁隧道结样品的制备及其隧道磁电阻效应的测量

- (59) 陆文卓 2012011718 2014 春季学期 溶液中超声性能分析及  
相关应用
- (60) 李森 2011012086 2014 春季学期 探究法拉第效应和自然  
旋光两种效应的差异
- (61) 侯静远 2012011692 2014 春季学期 用莱宝 X 射线衍射仪验  
证康普顿效应
- (62) 王炼 2012011801 2014 春季学期 探究光路条件对傅里叶  
变换全息存储成像效果的影响
- (63) 王向兵 2012011822 2014 春季学期 氮气光谱研究
- (64) 郝嘉俊 2012011695 2014 春季学期 利用 X 射线观察康普顿  
效应
- (65) 宁笑楠 2012011709 2014 春季学期 探究自旋回波序列成像  
中相关参数对成像的影响
- (66) 朱垣洹 2012011729 2014 春季学期 研究相位差值与频率的  
关系
- (67) 唐明嘉 2011012090 2014 春季学期 量子纠缠
- (68) 于于越 2012011789 2014 春季学期 激光拉曼散射信噪比
- (69) 王平远 2012011693 2014 春季学期 氮氦激光器等功率曲线  
的研究
- (70) 李星河 2011012133 2014 春季学期 磁致伸缩相关实验中材  
料阻抗相位和频率的关系

- (71) 杨秋南 2012011771 2014 春季学期 四氯化碳的拉曼光谱的偏振特性探究
- (72) 姜仑 2012011698 2014 春季学期 利用超声光栅清除与测量水体杂质
- (73) 朱炳聿 2012011741 2014 春季学期 北京地磁场垂直分量、水平分量和地磁倾角的测量
- (74) 周冰燕 2012011766 2014 春季学期 核物理实验-能量色散 X 射线荧光分析
- (75) 张方才 2012011791 2014 春季学期 研究超磁致伸缩材料在磁场中的相对摆放位置对其性能参数的影响
- (76) 陈星雨 2012011761 2014 春季学期 光泵磁共振中的扫频-扫场方法以及射频场对信号影响的研究
- (77) 郭娟娟 2012011756 2014 春季学期 液晶器件制作与物性测量
- (78) 李文雄 2011012106 2014 春季学期 磁致伸缩研究性实验
- (79) 彭波 2012011821 2014 春季学期 探究弛豫时间与溶液浓度的关系
- (80) 沈奇舱 2012011748 2014 春季学期 光泵磁共振设计性试验
- (81) 王宗直 2012011688 2014 春季学期 液晶器件的双折射效应研究
- (82) 梁一凡 2012011673 2014 春季学期 液晶双稳态性质研究

- (83) 王鹏程 2012011780 2014 春季学期 法拉第磁光效应法测量  
低频交变磁场
- (84) 常叶笛 2012011823 2014 春季学期 半导体薄膜热电性能测  
量
- (85) 徐林杰 2012011809 2014 春季学期 PN 结阻容特性对交流  
小信号相位影响的研究
- (86) 孙启明 2012011759 2014 春季学期 液晶器件制作与物性测  
量
- (87) 赵宇丹 2013311015 2014 春季学期 基于碳纳米管薄膜晶体  
管的柔性器件及性能研究
- (88) 刘鸿博 2012011797 2014 春季学期 探究电子自旋共振实验  
中共振波形的影响因素
- (89) 陆芳珂 2012011725 2014 春季学期 彩虹全息
- (90) 郑奕 2012011734 2014 春季学期 真空抽气速率测量与气  
体放电光谱分析实验
- (91) 吴炜东 2012011737 2014 春季学期 磁隧道结样品的制备与  
磁电阻效应的测量
- (92) 张成龙 2012011763 2014 春季学期 PN 结电容与正向直流  
偏压关系设计性实验方案
- (93) 程大宇 2012011723 2014 春季学期 探究用超声测量不同液  
体浓度的方法

(94) 吴宇恺 2011012144 2014 春季学期 量子纠缠实验下转换光场空间分布测量

(95) 张鹏飞 2011012108 2014 春季学期 BBO 晶体下转换光场分布的测量

(96) 宋璟 2012011820 2014 春季学期 液体介质中超声声速的探究

.....

## 2.7 学生评价例举：节选部分学生对近物实验教学新模式的评价

激发兴趣，乐学其中，创新实践，增强自信，提高能力，受益匪浅

.....

**王思达 工物系 从畏惧实验到喜欢实验，进而探究设计，提高能力**

我是一个工科女生，过去是畏惧做实验的，而且丝毫没有体会过实验的乐趣。但是这次做了几个近物实验，由于几乎一切都是自己思考自己完成，探究性的程度很大，所以我找到了实验的乐趣。特别值得一说的是设计性实验。我本来是一个不太会创新的人，但是逼着自己思考，却发现了一个实验竟然有这么多可以挖掘的东西，这个思考的过程真的很有收获。.....

本学期的近物实验并不是给了我多少知识，而是从思想上为我打开了一扇窗。我重视并喜欢上了实验，而且从设计实验的过程中我知道了一个问题的引出和解决的过程大致是怎么样的，为以后的科研之路做了一个比较好的铺垫。.....

**余羽宣 核物理**      由最初的排斥到最后收获颇丰，创新精神陪伴一生

……唯有近代物理，还保留实验的最根本的东西，自己动手，自己思考，自己创新。我认为这才是实验科学的精神所在。因此近代物理实验对于我们实验精神的培养有很大的作用。……创新性实验的方式希望近物实验的老师传承下去，使得后面的同学都能在这样的环境中得到洗礼。

……在初期我对近物实验还有一点排斥，觉得很难很花费时间。但真正当它结束时，觉得这学期的时间没有白费，……也许这当中很多知识和实验内容我会慢慢忘掉，但在这个过程中我学会的独立创新精神和实验方法，却能陪伴我一生，成为我日后学习工作的珍贵的礼物。

**吴益鹏 工物系**      从害怕实验到喜欢实验 乐学体验

……想感谢这一学期的近物实验，让我各方面能力都得到了很大的提高，从一个一直害怕实验的小孩成长为了一个喜欢实验的人。

……我觉得，读书期间，找到自己喜欢的事，或者喜欢的课（比如近物实验），不需要太多的顾虑，好好学，或者也可以说好好

“玩”，特别是实验，不妨就以一种“玩”的心态来对待，从玩中可以领略到物理的神奇魅力，这种感觉相当的棒！

**胡丕丕 工物系**      乐思乐学

……第一次做近代物理实验，感觉非常好玩，特别是自主性比较强，在实验中可以有更多的思考，……近物实验与普物实验有着很

大的不同，区别不在于内容，而在于教学模式，近物实验是一个可以给人很多思考的课程。

### **夏嘉伟 工物系 发现问题，付诸实践，增加自信**

……但是和之前做过的实验相比，近物实验无疑是非常独特的。……近物实验自由度很高，在一个学期中我们几乎可以选择在任何时间去进行自己想做的实验，而不是按照学校的统一安排，这样我们就能根据自己的兴趣做出选择。还有，近物实验非常有助于培养自主创新能力。和原来的实验课上学生们做已有实验不同，近物实验非常鼓励学生多思考多提问，并且就一些问题提出自己的想法甚至付诸实践，探究一些之前没有研究过的问题。……在这个过程中我发现自己更有耐心也更有自信了。

### **郑逸凡 工物系 自主探索，能力提升**

……个人认为，近代物理实验是我们进入大学后所做的各种实验的巅峰。在近物实验中，没有了普物实验中老师在实验前原理的讲解，操作步骤的说明，在这里老师是我们的实验伙伴，他们会给我们提出建议，一起讨论实验原理部分及实验要如何完成，但不会将现成的实验步骤演示给你看，在这里一切都要靠自己获取。因此近物实验极大地培养了我们的学习能力，实验操作能力，数据分析能力，以及思考及创新的能力。……

**沈奇舱 工物系 战胜困难，享受过程**

……这种与困难作战的感觉，我很享受。这次自主实验、独立解决问题的经历，我可能大学期间不会忘记。

**党仁亮 核物理 感悟、思考、实践、创新**

……一个学期学到的物理知识可能有限，但这门课程所承载的记忆和智慧却是无限的。

……一学期的近物实验带给我们的，远非我们所接触到的那些实验技巧，也不仅仅是几个实验中所蕴含的理论知识，更多的则需要我们每个人在实验中根据自己的情况去感悟，去思考，去实践，去创新！勤时自勉，有所收获，并将这种感悟运用到我们生活和学习中去，学以致用，这才是近物实验的真正目的所在！

**张先文 工物系 近物获益，人生的财富**

……设计性实验更是一个锻炼学生的创新能力的平台，设计实验的过程中，可以更好的理解实验原理，挖掘创新性思维……相信，近物实验教给我的东西，不仅会让我在学术的道路上获益，在人生的道路上，也是一笔财富。……

……

**吴宇恺 物理系 播下质疑的种子，收获研究的乐趣**

……这学期对选做的量子纠缠设计实验印象特别深刻。……在我看来，这个实验中我收获最大的地方，是自己设计实验方案。……在实验中

会发现一些预期之外的现象，这时也需要提出猜想并设计方案验证。例如，基础实验时我们发现测量到的光场分布与理论预期不符，就猜想这个信号可能不是我们要测的，而是由其他非线性效应引起的，并用不同波段的滤光片验证了我们的想法。……类似这样的经历让我体会到了做研究的乐趣，既能学到新知识，又有验证自己猜想时的成就感。……实验中质疑的精神也很重要。比如我们在基础实验中并没有测到预期的信号，这时如果完全相信讲义，认为是自己没有调好而反复调节，将会白白浪费很多时间。但是也不能盲目的怀疑，还是需要用实验的方法来证实自己的假设才能有说服力。……

#### **柳嘉阳 工物系 失败的历练，最美的结果—品格意志的提升**

……设计性实验给了我完全不一样的体会。……总体来说，设计性实验耗时耗力，但收获也是与付出成正比的。在实验中我体会到了科研的艰辛与坎坷，任何成功都需要在一次次的失败中吸取教训，不断的坚持，不断的思考，沉稳耐心的对待实验中的每个问题，也只有这样，才能收获最美的成果。

……

#### **曹德志 工物系 迎难而上，愈挫愈勇，成功喜乐—品格塑造**

……

通过设计性实验使自己在认知、能力和创新方面都有所收获，特别是在此过程中所经历的开始时痛苦坚持，程序调不通时一度心

灰意冷，在老师鼓励下迎难而上，愈挫愈勇，到最后程序运行成功时的平静喜乐，这个过程中的心理变化和成长是最大的收获。

### 简丽君 工物系 不放弃，会成功—品格塑造

……我感受最深的是近物自由设计实验。我设计的几个实验中前几个还是比较常规的，但最后一个起初完全是自己查阅资料时突发奇想想出的。我认为设计性实验重要的是创意，当然前期的预测和准备也十分关键。我的主要思路是让水在管道中以恒定流速流动起来，再根据水流同向与反向时两侧发射和接受超声的时间差计算流速，也就是试图模拟超声流量计。当时错误地预计了实验室中小水泵的大小，买了个一米长的粗管道，导致超声发出的声波一段在空气中传播，几乎接收不到信号。所以我就找到一把剪刀把管道裁成 30cm 长，这样管道就基本可以淹没在实验室的大烧杯中。然而两侧超声的相对位置无法准确固定，我思考了很久最后将一把 20cm 长的钢尺插入管道，两端分别用透明胶带绑上两个超声探头。本来有几次都打算放弃了，没想到最终竟然能够将这些问题一一解决。从实验过程中体会到失败的挫折、探究的乐趣，也收获了不少不放弃、从失败走向成功的喜悦。这些都给我留下了深刻的印象……

### 付伟 工物系 严谨、求实、创新、永不放弃—品格意志的提升

……

近物实验采用的是自由选课模式，我觉得十分贴合学生的实际情况。这种选课模式下，我们的时间更加灵活机动，而且还为我们提供了自由设计实验模式和其他科技前沿实验的机会，这是普通物理实验课程所没有的。……

我想，设计性实验的目的就是要锻炼我们查阅文献，分析综合，自主设计的能力。设计性实验的路不是一帆风顺的，这也是做科研的常态。在自主设计实验模式下，我不仅学到了实验方法，也学到了实验态度——严谨、求实、创新和永不放弃的决心。我相信，选择科技前沿实验模式的同学肯定会收获更多的东西，这也许就是近物实验所希望达到的效果：同学们能根据自己的兴趣进行科学性的研究。……

### **刘圣沿 物理系 21岁生日在实验室熬夜度过，难忘的记忆**

我本学期选修了近代物理实验的建设类实验 NV 色心的光探测磁共振。这是一个比较新的实验，也是一个很接近科研前端的实验，各方面还都不成熟，很高兴今年能够加入这个团队。上个学期同学们采购好了仪器，但是我们这学期也是几乎从零开始。我们通过每两周一次的组会沟通过去两周的进展，讨论遇到的问题，搭建了几乎完整可用的实验平台。

我的科研方向是量子计算理论方向，所以我实验里负责弄清 NV 色心实验的原理。这并不是像看起来这么容易，我和理论组的另一位同学陈宇韶阅读了很多关于 NV 色心结构、能级的文章，但大部分不是很易懂。通过几个小时的讨论，我们逐渐地弄清楚了 NV 色心的结构

和能级结构，初始化和读出的原理，并且在之后的组会上给大家比较清楚地讲解了我们实验中需要用到的理论原理。

另外，我也很希望能够接触光路调节，尤其是接近真实科研的光路调节。在本学期的 NV 实验中，我在光机组中几乎参与了调节光路的全程。通过整个学期的学习和实践，我掌握了很多调节光路的方法，包括 BEAM WALKING 等等技术。

在这个学期的实验中，我感受到了实验进展不成功时候的挫败感，也感受到了调通光路，各组良好搭配、快速推进实验进度时候的成就感，这对我是一个非常宝贵的体验。二十一岁的生日在近代物理实验室熬夜度过，这也是难忘的回忆。……

### **蔡正阳 物理系 团队合作，展现特长，收获良多**

在 NV 色心的实验团队中，我所在的是光机组。主要是做机械控制和光路调节的部分。我们首先学习了 NV 色心的能级理论，之后学习实验光路。我在实验中做了一次关于 inventor 软件的使用方法的报告，介绍了 inventor 软件中如何创建平面，设计尺寸、打孔等，之后如何设计将零件组合成完整的部件。之后，我们光机组将实验的光路、透镜都调节了一遍，发现光路的高度与扫描振镜的入射光孔的高度并不相匹配，之后就设计制作了一个扫描振镜底座。实验证明该底座为光路调整提供了方便。……

这种分工协作的综合探究实验能够很好的锻炼我们的团队能力。我们的明确分工使得实验效率提高了很多，同时各组的相互协作也

使得整个实验做起来相对比较顺利。我在这次实验中学习到了理论知识，并且在与同学协作时锻炼了我们的动手能力。另外老师强调我们要学习有用的东西，所以我们一起学习了 inventor, labview 等软件，为以后的科研也打下了一定的基础。总而言之，在这次实验中收获良多。感谢实验室为我们提供了团队合作完成一个大实验的机会，希望下学期继续参与这种团队协作的建设性大实验。……

### **陈宇韶 物理系 体验团队合作、研究氛围，提高综合能力**

本学期我选修了近物实验中的建设性大实验——NVC 的 ODMR。

实验模式并不像我往常参与的普物实验的模式，即实验-报告-讨论的结构，反而更像是实际科研中的安排，即实验-组会报告模式。这样的大实验让我更加容易地感受到未来做科研时候的节奏和环境，而众多的一起完成实验的小伙伴让我提前体验到了将来学术合作的氛围是什么样子。

至于实验的具体内容，我们六个人在本次 NVC 实验中各有分工，而我自己主要负责电路控制方面，此外还参与了理论组同学前期的调研讨论。我在电路控制的工作中，初次学习到了 Labview 软件的使用，利用 Labview 完成了对扫描振镜、微波源以及单光子计数器和符合计数器的综合协同控制。最终也与万周全、雷鳌同学共同完成了整体控制软件的开发。在完成自己的本职工作之外，我还时常围观了光学组同学的工作，与他们共同分析最终实验样品出现的问题。

在我们的数次实验之中，随着实验进度的推进，各种目标不断完成的过程中也出现了各种意料之外的问题，比如各种小型设备的缺乏、样品的意外损坏等等。我们一边分析问题一边解决问题，抛弃了以往传统实验中遇到问题找老师的被动态度，而是转向具体问题的针对性解决办法。经历了一学期的磨合，积累了许许多多的宝贵经验。

这学期的实验内容虽然可能不如参加普通实验时候的内容丰富多样，但是实验涉及内容的深度和细节程度却是普通实验无法比拟的。在普通实验中，我们虽然能够直接、顺利地整个预期实验（只要投入足够时间），但是却缺少了从零开始建设原始实验的那种深入分析和细节把控。我认为，在已经对基础实验有了一定了解的情况下，如果个人的时间允许，参与到建设性大实验才能够真正体验到物理实验中蕴含的无穷乐趣，而不仅仅是为了既定的实验结果目标而按部就班地进行操作。

最后，关于对于近物实验室的建议，我认为可以尽量多开设此类大实验，尤其是多人合作的大实验，此类实验确实能够极大地丰富学生体验、培养实验技能、提高综合能力……

因篇幅所限，我们仅节选部分同学对近物实验课程新教学模式的评价。学生对近物实验课教学模式的认可和从中获得的成长可见一斑。虽然我们实施自由实验、乐学创新的研究型近物实验教学已有6年多的时间，但具体的内容、方式一直在学生的建议与反馈中不断改进。近两年，除了学生的自由选题实验，我们把科研的方式方法应用于近

物实验教学，如上面总结的最后几位学生，他们以团队方式共同完成一个综合实验项目，以科研的方式做教学实验，把科研团队中的分工协作和组会报告讨论作为研究型近物实验教学模式的一种，每个学生既有明确的分工，又必须和同组同学密切合作，才能共同完成实验。除了定期组会的报告讨论，团队中的学生还通过微信群随时讨论遇到的问题、解决方案及实验进展，大家群策群力，乐于分享，形成一个很活跃的讨论研究氛围。这种团队合作交流让学生在个体自主探索的基础上，互通独立见解，展示个性思维方法与过程，通过小组讨论、分析与交流，在交流中反思，对知识和问题的理解更加丰富与全面，并相互激发灵感。学生既发挥个人的特长，认识自我价值，增加个人成就感，更重要的是培养了学生的合作意识、参与意识及竞争意识，体验到团队合作的乐趣和重要性。参加此类实验的学生反映团队合作研究比个人研究有更好的研究氛围，有问题志同道合的伙伴可随时讨论，相互促进，优势互补，收获更大，建议扩大这类实验的学生受益面。

总之，自由实验、乐学创新的研究型近代物理实验教学一直在师生的创意和努力中不断丰富和发展，学生对新教学模式的喜爱、支持、热情投入和丰盈的收获是我们坚持初心、不断改革和努力前行的动力。