



核物理与核技术国家重点实验室 内部简报

(第 18 期, 2018 年 4 月 1 日)

重要事项

实验室召开学术委员会年度会议

2017 年 3 月 27 日, 核物理与核技术国家重点实验室(北京大学) 2016 年度学术委员会会议在北京大学加速器楼 408 会议室召开。学术委员会主任沈文庆、副主任赵光达、柴之芳、郭之虞, 委员杜祥琬、刘嘉麒、关遐令、张闯、柳卫平、马伯强、孟杰, 资深顾问张焕乔、王乃彦、钱绍钧, 学校管理部门张琰等出席会议。实验室负责人和部分骨干参加了会议。

会议由学术委员会主任沈文庆院士主持。首先实验室主任叶沿林教授就实验室 2016 年度的总体情况以及 2015-2017 整改情况向学术委员会作了汇报, 包括科研情况、队伍建设、研究成果、开放课题、学术交流、BISOL 建设等方面。王宇钢副主任汇报了 2016 年获批开放课题的执行情况, 以及 2017 年开放课题的申请和批准情况。随后, 朱怡代表裴俊琛老师和杨李林作为实验室青年骨干做了近年来研究成果报告, 委员们经过投票评选出 2016 年度实验室优秀青年成果奖。

针对实验室被列入整改的情况, 委员们指出: 作为核物理与核技术领域代表性的国家重点实验室, 要更加突出“高水平”和“有特色”, 避免面面俱到, 挑选出亮点。在应用方面, 激光加速器的研究处于一流水准, 超导技术经过几十年的积累也达到国内一流水平。理论方面最好与应用紧密结合, 以给评委专家一个直观印象; 要突出领导“十三五”大科学装置 BISOL 是因为在过去多年持续积累, BISOL 的建成需要 10 年以上的时间, 在这段时间里将实验室的研究与 BISOL 需求结合, 调动实验终端使用人员的积极性, 联合开展研究工作; 作为大学的实验室, 人才培养也是实验室的成果, 可以介绍近年输出的优秀人才情况; 中美在核物理研究方面的合作以及“校所合作”都是实验室的亮点。

沈文庆院士最后做了总结发言, 指出实验室研究工作取得突出的成绩, 要坚持自己的优良传统和优势方向, 在整改过程中凝练方向, 理论与实验紧密结合, 争取整改考评和下一次评估取得好成绩。

国家重大科技基础设施十三五规划项目“北京 ISOL”第一次国内用户 会在北京召开

2017 年 3 月 18 日-19 日, 北京在线同位素分离丰中子束流装置(以下简称“北京 ISOL”)第一次国内用户会在北京大学中关村新园召开。会议聚焦该装置在核物理和核天体物理前沿研究方面的国内外需求, 推动建立广泛的国内外合作, 使“北京 ISOL”项目实验终端更有效地发挥作用。本次会议由

中国原子能科学研究所和北京大学联合主办。来自国内 35 所高校和研究院所的 140 余位科研人员参加会议，是国内核物理届覆盖广泛的一次用户合作会议。几位海外华人学者和外籍“千人计划”学者也参加了会议。

会上中国原子能科学研究所副院长柳卫平研究员介绍了“北京 ISOL”的总体方案和最新进展，北京大学核物理与核技术国家重点实验室主任叶沿林教授介绍了“北京 ISOL”的科学目标以及与国内外装置的互补特点。随后，针对分离能实验区（SEE）、低能实验区（LEE）和中能实验区（IEE）的重要物理研究目标和实验装置设想分别做了专题报告。各单位来的多位实验和理论工作者有针对性的报告了在“北京 ISOL”开展研究和设备建设的建议和设想。与会专家围绕报告内容开展了热烈的讨论，一致认为，“北京 ISOL”是国际先进的核物理大科学装置，针对未来二、三十年国际科学发展的热点前沿，是我国核科学研究在若干重要方面走向国际引领的难得机遇。同时，“北京 ISOL”建成后还能满足先进核能系统、特别是聚变堆材料的辐照测评等国家重大需求，是基础科学前沿和重大国家需求紧密结合的新型装置。18 日当晚，与会代表们又自发地聚集在一起，针对“北京 ISOL”的物理工作畅所欲言、献计献策，表达了深度合作和承担具体任务的意愿。

“北京 ISOL”已经列入国家重大科技基础设施“十三五”规划。“北京 ISOL”由中国原子能科学研究所和北京大学联合提出，拟投资 35 亿元，其基本功能是：采用反应堆和强流加速器、以及在线同位素分离（ISOL）和弹核碎裂（PF）相结合的方法，产生高强度的丰中子核束；用强流氘束打靶产生能量为 1-20 MeV 强流中子。该装置对于开展原子核稳定极限区新物理、超重稳定岛核素合成、铁以上重元素的天体合成等重大基础科学前沿研究，满足先进核能系统、特别是聚变堆材料的辐照测评与考验等重大需求具有重要意义。



国家重大科技基础设施培育项目——北京激光加速器装置研讨会召开

2018年3月31日,国家重大科技基础设施培育项目(教育部)——北京激光加速器装置研讨会在北京大学物理学院成功举办。会议由北京大学和清华大学共同组织召开。

近年来高功率飞秒激光器技术飞速发展,国际上很多专家认为“21世纪是光的世纪”。高功率飞秒脉冲激光,不仅可以形成多种时间分辨光谱技术和泵浦/探测技术,也可以作为先进加速器的驱动器。将激光应用到加速器领域不仅可以提供新的极端条件,也可以提供更高的加速电场,有望提供更紧凑、更亮和更短脉冲的物理装置和新型辐射源 (THz, EUV, X/伽马等), 将为科学前沿领域及新兴交叉学科的迅猛发展带来新的机遇。北京激光加速器装置 (2017ZF22) 项目旨在将高功率飞秒激光引入到粒子加速器领域, 建设面向用户的新型大科学设施装置。项目建议人为本实验室的颜学庆教授和清华大学唐传祥教授。

会议邀请了北京大学、清华大学、中国科学技术大学、上海交通大学、西安交通大学、中山大学、国防科技大学、北京师范大学、上海师范大学、吉林大学、中国科学院上海光学精密机械研究所、中国科学院高能物理研究所、中国科学院近代物理研究所、中国科学院物理研究所、中国工程物理研究院、中国原子能科学研究院、核工业西南物理研究院、西北核技术研究所、山东淄博万杰肿瘤医院以及美国费米国家实验室等国内外单位相关领域的专家参会和讨论。本次研讨会意在集思广益, 把位于学科前沿, 有优势的成熟技术且有广泛用户需求的内容遴选出来, 为未来十四五激光加速器大科学设施的规划提供参考。



高能物理实验组应邀在第 28 届轻子光子国际会议上作大会报告

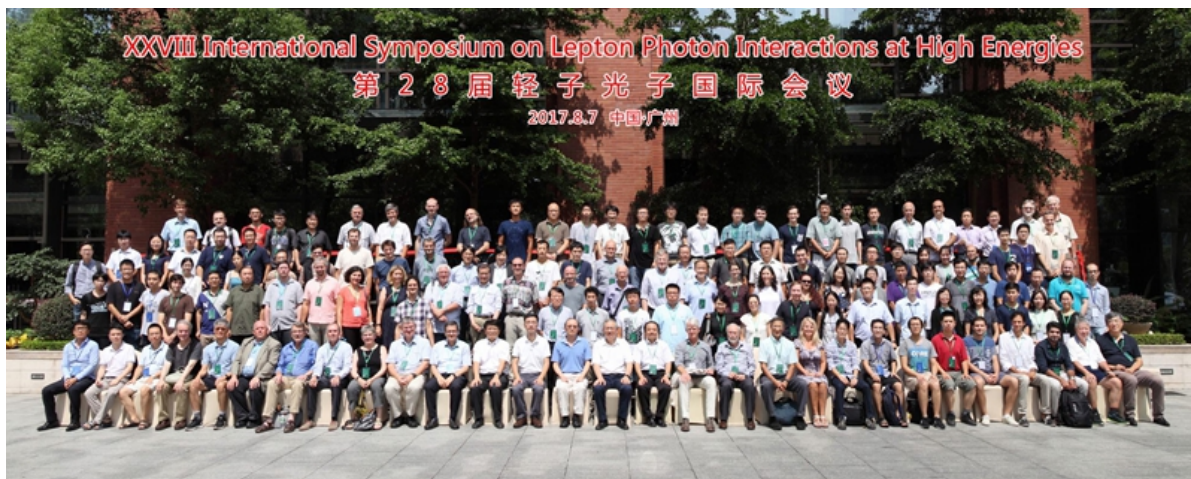
高能物理实验组李强老师应邀参加了在广州中山大学举行的第 28 届轻子光子国际会议, 并代表多个合作组 (ATLAS、CMS、LHCb、CDF、D0) 作了近期电弱物理进展的大会综述报告 “EW Measurements from LHC and Past Experiments”。

第 28 届轻子光子国际会议由国际纯粹与应用物理联合会 (IUPAP) 指定, 是高能物理及相关领域的首要系列会议, 每

A presentation slide titled "Electroweak Measurements from LHC and Past Experiments" by Qiang Li from Peking University, Beijing, China, dated 2017.08.08. The slide features logos for ATLAS, CMS, LHCb, and D0 at the top. Below the title, it lists the speaker's name and affiliation. At the bottom, there are three smaller images: a circular logo for the Lepton Photon workshop, a diagram of a particle detector cross-section, and a plot showing the UA1/UA2 ratio of cross-sections for the process $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ at various center-of-mass energies, with a value of $39/5/83$ indicated.

两年举行一次，是高能物理领域内最为重要的两个国际会议之一。大会只接受受邀报告，演讲人均是在该领域具有突出成就和影响力的专家学者，或是他们推荐的有潜力的青年学者。来自世界各地的顶尖物理学家聚集在轻子光子国际会议，讨论粒子物理、核物理、天文学、宇宙学的最新进展和未来设施计划。

高能物理实验组冒亚军教授、班勇教授及李强副教授团队，自 2010 年以来长期致力于高能对撞机上的多玻色子物理 (Multi-boson) n 研究，取得了大量有开创性贡献的成果，包括在 LHC 上第一个三规范玻色子过程的测量，LHC 上第一批矢量玻色子融合 (VBF) 及散射 (VBS) 过程的探测，以及世界最强的一批反常三/四规范玻色子耦合限制。刘帅、张冯望东、张照茹、杨大能和李晶等同学在上述工作中作出了重要的贡献。



北京大学 1%能散激光加速器辐照装置建成出束

加速器作为核科学中的核心仪器设备，对人类的生存发展和国家的地位与安全具有重要影响，成为衡量综合国力的一项重要标志。激光等离子体相互作用产生的加速电场可以比常规加速器至少高出千倍以上，加速器的尺寸可以降低成千上万倍，显著降低所需要的空间、运行和维护成本。同时激光加速器产生的离子束具有能量高、脉冲短（皮秒量级）、尺寸小（微米）、方向性好等特点，具有很高的时间和空间分辨率。



图 1 激光加速器装置照片

在国家重大仪器专项、重大科学问题导向项目(973A)、XXX 专项和协同创新等项目的支持下，激光加速团队攻克了高对比度与高光强激光技术、自支撑纳米薄膜靶制备技术、超高流强离子束传输技术和激光加速器辐照研究平台等关键技术，最终建成世界上首台超小型激光加速器辐照装置（如图 1 所示），加速参数指标为 1~15MeV 质子束，总流强 106-8 个粒子/发。2017 年激光加速器装置正式建成出束，并通过了同行专家的现场技术测试。实验中利用能谱仪、RCF 和 CR39，确认加速产生了能量 1-15 MeV 质子束（如图 2 所示），在加速稳定性测试实验中，进行了 5 发连打测试，显示质子截止能量的稳定性好于 3%（如图 3 所示）。

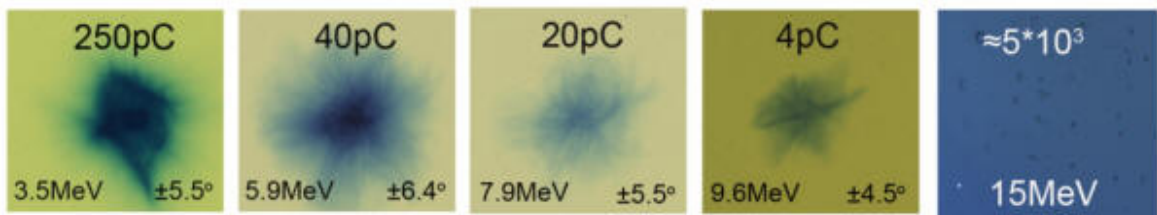


图 2 RCF 胶片和 CR39 的探测结果

激光加速直接产生的质子束通常具有较大的能散，束流能量和流强的稳定性和可靠性可以通过基于电磁铁束流传输系统进一步改进，从而提供日常运行所需要的可靠性、稳定性和重复性。北京大学首次采用了基于电四极透镜和分析磁铁等高流强离子束流传输和分析系统，并开展了 3-10MeV 能量可调的高流强、短脉冲质子束传输测试，稳定地获得了 1%能散 / 1-10pC 电量的质子束（均为国际最好指标）。

上述结果表明，该装置可以像常规加速器一样稳定可靠地运行，首次实现了激光加速到加速加速器的跨越。未来激光加速器将可以广泛用于先进光源、温稠密物质产生、核医学、空间辐射环境模拟、惯性约束聚变、国际热核聚变堆等领域。

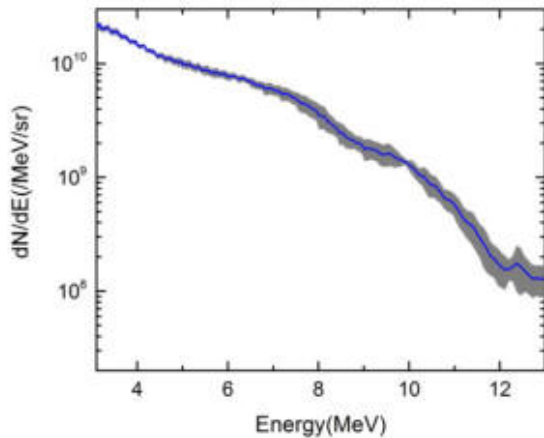


图3 五发激光加速质子束能谱的叠加图

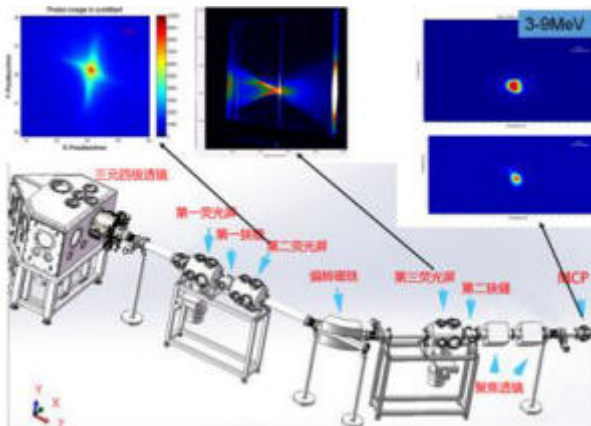


图4 束线测试与结果

“超小型激光离子加速器及关键技术研究”离子束传输系统
现场测试记录表

北京大学承担了国家重大科学仪器设备开发专项《超小型激光离子加速器及关键技术研究》项目中的《高对比度超短超强激光系统关键技术研究》任务，按照任务书要求，建立了高流强离子束传输系统，并开展了相关传输实验。基于项目任务要求，在北京大学对该项目进行现场参数测试，测试日期为2017年10月31日。

一、项目情况			
项目名称	高对比度超短超强激光系统关键技术研究	项目编号	2012YQ030142
牵头单位	北京大学	项目负责人	廖学庆
二、离子束传输系统性能			
指标	记录	项目预期指标	实际测试指标
传输效率		90%	
调节能量/MeV	3-7	3 4 5 6 7 8 9 10	
电荷/pC	0.2-16	25.4 / 0.0 7.1 4.0 3.5 / 1.3 0.9	林晨
束斑直径/mm	5-10	12.0 10.9 9.3 9.2 6.0 (2.2 / 0.6) / 1.0 11.6 11.0 8.4 (4.7 4.3 3.7)	
柱状度	5%	1%	
真空腔长度/mm	10	10	
三、配置激光参数			
参数	记录	激光参数	记录人
激光强度/TW		4.3	林晨
激光脉宽/fs		3.0	林晨

四、验收结论	
<input checked="" type="checkbox"/>	建议通过验收
<input type="checkbox"/>	建议不通过验收
五、验收小组	
验收组长:	张同
验收专家:	潘根 廖学庆 张同 王兆华

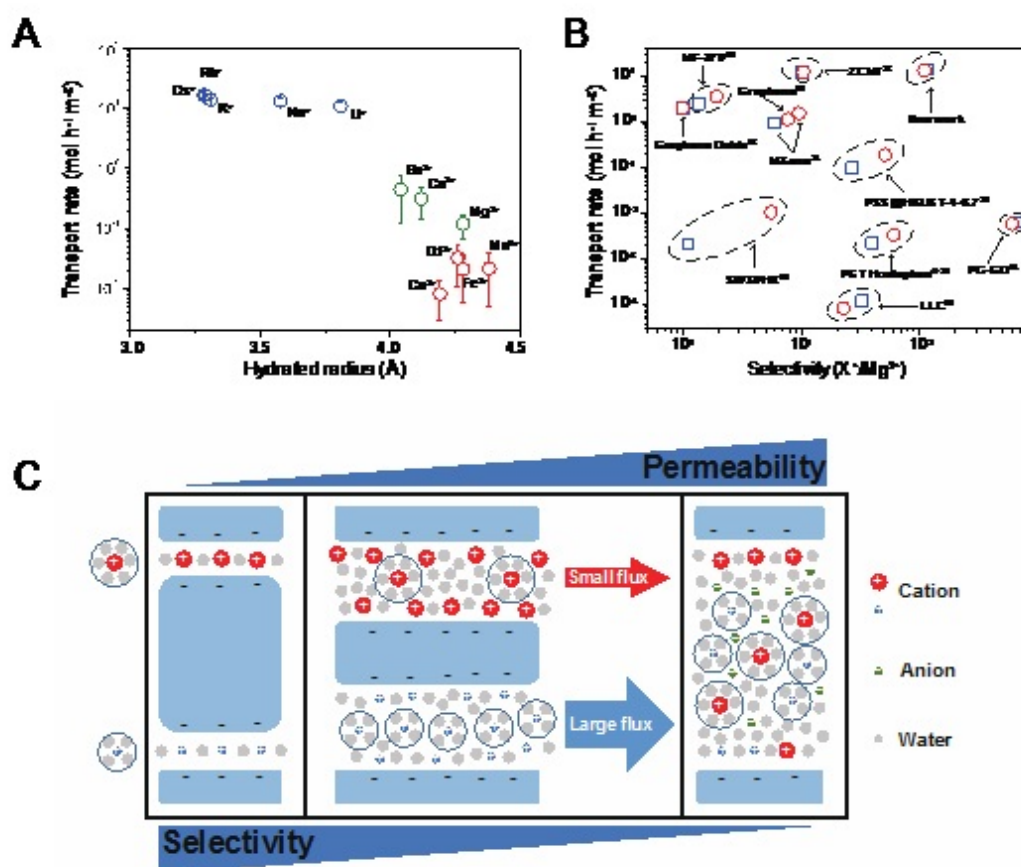
图5 专家现场测试验收表

刘峰、王宇钢课题组在《自然·通讯》上发表超高通量分离膜研究成果

基于纳米孔道的分离膜在海水淡化和污水处理等方面具有节能和高效的巨大的潜力，但它的实际应用一直受运输和选择性矛盾的制约。最近，北京大学核物理与核技术国家重点实验室刘峰、王宇钢课题组利用核技术成功制备出高密度孔径均匀的亚纳米尺度核孔膜，实现了超高通量和高选择性离子运输的完美平衡，并结合分子动力学模拟揭示了其纳流体运输机制。该研究工作以“Ultrafast ion sieving using nanoporous polymeric membranes”为题为于2018年2月8日正式发表在《自然·通

讯》上(<https://www.nature.com/articles/s41467-018-02941-6>)。

纳米孔道的离子输运现象是材料科学和生物物理等领域研究的热点。当纳米孔道的尺度达到纳米即接近分子大小时,将会出现许多奇异的输运现象。研究这些输运现象对于了解细胞膜离子通道机制,制备新型高效分离设备淡化海水、处理污水,探索新型 DNA 测序方法等都有重要意义。基于核径迹高分子膜制备的纳米孔具有结构坚韧富有柔性并且可以高效大规模制备的优点,但是由于已沿用六十多年的传统化学蚀刻制备法不便可靠控制蚀刻速率,无法达到亚纳米尺度。刘峰和王宇钢课题组基于多年来核径迹纳米孔研究工作的基础(JACS, 2008,2009; AFM, 2010,2011; EES, 2011 等),首次通过高能重离子轰击高分子膜并进行充分紫外线照射,不进行蚀刻而成功制备亚纳米尺度的核孔膜(Qi Wen, et al., *Advanced Functional Materials*, 2016, Cover Highlights)。该膜具有超高离子选择性,比如阴阳离子选择性高达 108,但导通量离实际应用尚有一定距离。事实上,选择性和通量对于所有离子分离膜都是一对难以调和的矛盾。2017 年《Science》专门就此发表题为“Maximizing the right stuff: The trade-off between membrane permeability and selectivity”的长篇评述文章,指出分离膜研究的正确方向是要同时具有高选择性和高通量。通过优选高分子膜并利用新的制备工艺,刘峰、王宇钢课题组所获得的新型纳米尺度核孔膜,在保持碱金属离子与重金属离子高选择性的同时,将离子的输运率提高了 3 个数量级(图 A)。这种纳米核孔膜的优异分离性能突破了传统的分离膜和氧化石墨烯等新型分离膜的局限(图 B)。与此同时,他们还建立了高分子纳米孔模型并通过分子动力学模拟揭示,一方面由于孔的半径在 0.5 纳米左右极大减少了脱水势垒的阻碍从而极大提高了输运量,同时由于部分脱水的离子和表面吸附的电荷之间的相互作用而保持了高选择性(图 C)。这项研究揭示了纳米孔道的离子输运新机制,并且为突破高选择性和高通量率的矛盾提供了新的思路。通过该方法所制备的高分子膜在过滤重金属元素的水净化,制备新型电池等方面也有重要应用价值。

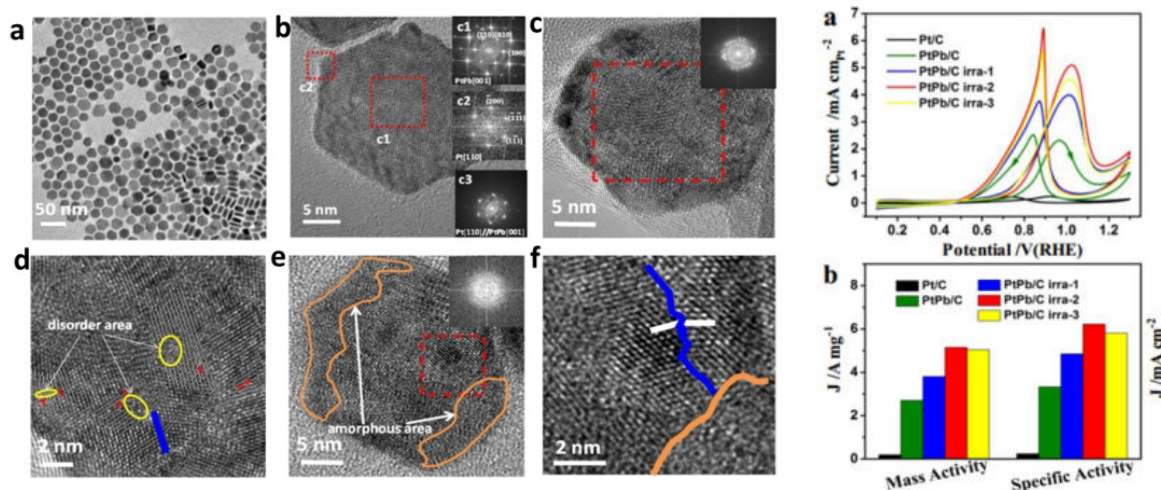


付恩刚课题组及合作者采用离子辐照增强 PtPb/Pt 二维纳米片

电化学催化活性的研究取得重要进展

燃料电池是继水力、火力、核电之后的第四代发电技术，可以直接将燃料化学能转化为电能，具有发电效率高、环境污染小、比能量高等优点。在燃料电池能量转化过程中，催化剂活性是影响电池质量及其发展应用的关键问题，已成为国际前沿领域的研究热点。近年来，许多研究者通过化学合成的方法调控催化剂的形貌、尺寸和结构，以提高电化学催化活性。其中，具有核壳结构的 PtPb/Pt 二维纳米片是一种具有较高催化性能的电化学催化剂。

付恩刚课题组与工学院郭少军课题组合作，首次采用核技术方法，利用高能离子束辐照，对 PtPb/Pt 二维纳米片进行了原子尺度结构调控和修饰，极大地提高了纳米片的催化活性。在线辐照和原位透射电子显微镜 (TEM) 结果表明：通过入射高能离子与纳米片中靶原子相互作用，精确地控制纳米片微观结构的变化，利用键长变化和电子轨道杂化等机制来修饰表面原子的电子结构，从而增加催化反应活性位点，增强催化性能。同时，通过调节入射离子的剂量大小，可以有效地控制缺陷产生的数量及演化，得到具有不同催化活性的 PtPb/Pt 二维纳米片材料。通过将离子束辐照应用于电化学催化领域，付恩刚课题组及其合作者首次提出了一种新的增强催化活性的方法，有望进一步提高现有的纳米晶催化剂的催化活性，对燃料电池的应用和催化领域发展有着重要作用。该研究工作发表于近期《Small》(DOI: 10.1002/smll.201702259) 上。本实验室的付恩刚研究员和郭少军研究员是本文的通讯作者，博士生孙英俊和博士生梁艳霞为文章的共同第一作者。



PRC 亮点文章报导黄森林等阿秒 XFEL 新进展

黄森林副教授与美国 SLAC 国家加速器实验室合作，在国际上首次产生了 200 阿秒的高亮度 X 射线脉冲 (此前 XFEL 的最短脉冲长度为几个飞秒)。这一工作近日作为亮点文章发表在《物理评论快报》上 [S. Huang et al., Physical Review Letters 119, 154801 (2017)], 同时被 Physics 的编辑选为特别关注并进行了报道。

自由电子激光是一种具有广泛用途的全相干光源，波长可覆盖太赫兹至硬 X 射线波段。X 射线 FEL 采用大型射频直线加速器将电子能量加速至 10 GeV 左右，并通过色散结构压缩电子束团，压缩后的电子束团在波荡器的周期性磁场中作扭摆运动从而辐射出 X 射线。X 射线脉冲长度一般由电子束团长度决定，而将电子束团压缩到阿秒十分困难。2014 年，黄森林和 SLAC 及劳伦斯伯克利国家实验室 (LBNL) 的同事共同提出了获得更短脉冲的新方案。在这一方案中，电子束团在时间-能量的相空间内形成角状分布，具有强而窄的电流尖峰和较长的低电流拖尾，只有尖峰部分有足够的强度产生自由电子激光，

从而可获得几百阿秒的 X 射线脉冲。最近在 LCLS 的实验中成功实现了这一方案，通过优化加速器参数及电子束团电荷量，产生了 200 阿秒、光子能量为 5.6 千电子伏和 9 千电子伏的 X 射线激光脉冲。这一方案不需对现有 XFEL 装置进行任何复杂的升级改造，因此也可在国际上其它类似的 XFEL 装置上实现阿秒 X 射线脉冲。阿秒时间尺度的 X 射线对研究原子及分子尺度上的电子动力学具有重要作用。

本实验室射频超导与自由电子激光课题组黄森林副教授为论文第一作者，SLAC 合作者中丁原涛研究员为北京大学校友、黄志戎教授为北京大学客座教授。在 LCLS 上的实验工作由丁原涛研究员负责。国家重点研发专项（批准号：2016YFA0401904）部分资助了该项研究。

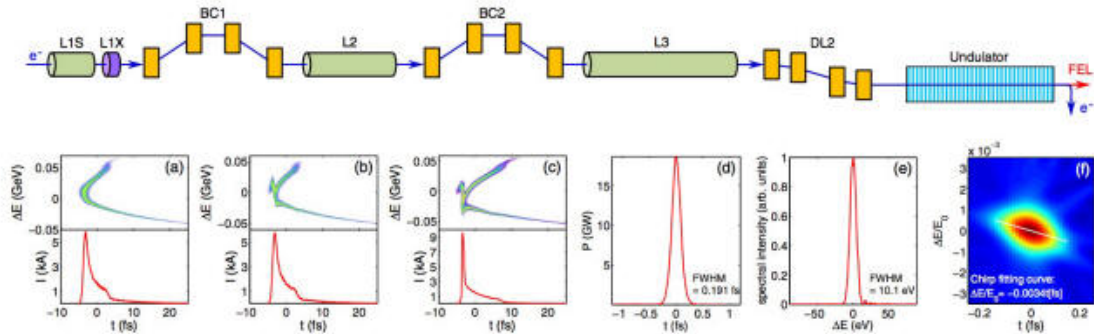


FIG. 1. A sketch of nonlinear bunch compression at the LCLS. At the top is a layout of the LCLS, with main linac S-band sections (L1S, L2, L3), one X-band linac section (L1X), two bunch compressor chicanes (BC1 and BC2), a dog-leg beam line (DL2), and an undulator. The bottom plots show simulated longitudinal phase space and current profile after BC2 (a), L3 exit (b), and undulator entrance (c), and FEL simulation results, including power profile (d), spectrum (e) and Wigner transformation of the FEL field (f). The FEL photon energy in this simulation is 5.6 keV. Bunch head is to the left.

乔宾课题组在《物理评论快报》发表文章提出

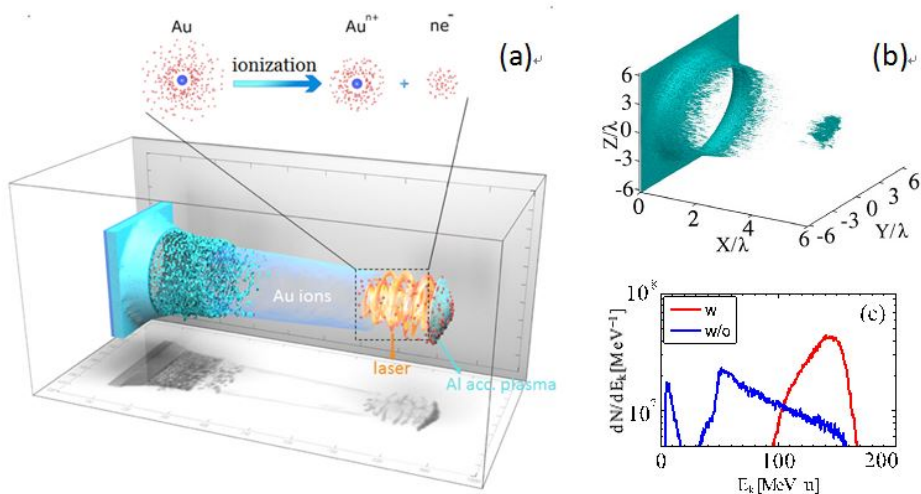
激光光压离子加速动态致稳新方案

强激光驱动的高品质离子源在聚变能源、医疗、核物理和粒子物理等领域都有重要应用。实验室的乔宾研究员课题组在《物理评论快报》[Physical Review Letters 118, 204802 (2017)] 上发表文章，提出一种实现稳定激光光压离子加速的动态致稳新方案，解决了困扰激光光压离子加速多年的不稳定性导致加速被过早破坏的难题，获得国际同行关注。

强激光与物质相互作用中，其电荷分离场高达 100 GV/m，比传统射频加速器高 3 个数量级，能够在厘米量级的距离内将带电粒子加速到 GeV 能量，因此利用激光加速器取代传统加速器引起了科学界的广泛兴趣。在诸多激光离子加速机制中，光压加速（Radiation Pressure Acceleration, RPA）理论上获得的离子束具有能散小、束流密度大、能量转化效率高等特点，是目前研究的前沿和热点。虽然 RPA 理论及一维模拟结果极具吸引力，但目前实验上难以获得预期的好结果。究其根源，除去目前实验上激光靶参数不够理想外，最关键的原因就是高维条件下不稳定性的剧烈发展，目前主流认为是类瑞利-泰勒（RT）不稳定性。这种不稳定性发展最终会引发同步加速等离子体片中电子的加热和大量损失，从而导致等离子体片发生库仑爆炸，加速被破坏，获得的离子束品质差。如何抑制不稳定性的发生是目前 RPA 研究最具挑战性的问题之一，诸多方法被提出和研究，但实际效果一直都不理想。

经过数年的深入研究，乔宾课题组，另辟蹊径，按照完全不同的思路，考虑如何动态地弥补光压加速中 RT 等不稳定性带来的破坏作用而非仅仅抑制不稳定性发生这一想法，首次提出利用高 Z 涂层的电离效应在激光光压加速过程中动态补充电子，弥补 RT 不稳定性带来的加速等离子体片的电子损失，从而实现动态致稳 RPA。这一全新方案非常皮实，三维粒子模拟显示在目前真实的激光和靶参数条件下，此方案可实现稳定的离子光压加速，并且可以应用于加速高 Z 重离子源。PRL 审稿人对该方

案给出了高度评价，认为该工作为激光光压加速研究领域做出了重要贡献，揭示了动态电离在强激光与重离子相互作用中的重要意义。



图形说明：(a) 光压加速动态致稳方案示意图；(b) 和 (c) 三维粒子模拟结果：带有 Au 涂层的 Al 靶加速后 Al 离子密度分布和能谱

乔宾课题组博士研究生沈晓飞为该论文第一作者，乔宾研究员为通讯作者，合作者包括周沧涛研究员和贺贤士院士等。该工作得到了国家自然科学基金委、国家重点研发计划、千人计划和挑战计划的大力支持。