



# 核物理与核技术国家重点实验室 内部简报

(第 19 期, 2019 年 3 月 20 日)

## 重要事项

### 实验室召开学术委员会年度会议

2018 年 7 月 14 日, 核物理与核技术国家重点实验室(北京大学) 2017 年度学术委员会会议在北京大学物理楼西 113 室召开。学术委员会主任沈文庆, 副主任赵光达, 委员关遐令、刘嘉麒、杜祥琬、张闯、孟杰、柳卫平, 资深顾问王乃彦、张焕乔、陈佳洱、钱绍钧等出席会议。北京大学科研部部长蔡辉及实验室的部分骨干参加了会议。

会议首先由蔡辉部长宣读了教育部科技司同意聘任清华大学高原宁教授担任实验室主任的函件, 并代表校领导对叶沿林主任的工作表示肯定和感谢。随后叶沿林就 2017 年度实验室的整改验收情况, 年度主要学术进展和主要面临的任務做了总结。新任主任高原宁接着发表了简短的致辞, 表示将勇挑重担, 努力工作, 广泛汲取意见, 为实验室引领行业, 培养人才, 争取资源, 开创局面。学术委员会委员听取了李强、林晨、黄森林、马滢青四位优秀青年科学成果奖候选人的学术报告, 进行认真的讨论和投票, 评选出本年度优秀青年成果奖。

评审结束后, 委员会成员继续就新时期重点实验室的工作进行了讨论, 对实验室顺利通过整改验收及完成主任换届表示肯定, 希望国重在新一届班子的带领下, 结合北清两校的优势, 放眼未来技术储备人才, 加大对核技术应用和理论物理的投入, 将实验成果和技术向应用转变。继续发展国际化的国重环境, 力所能及地开展高水平国际合作, 为青年科学家提供更好的国际交流的时间和空间。继续推进激光加速、北京 ISOL、纳米核材料等方面的良好进展, 争取新的重大突破。

沈文庆院士做最后总结发言, 指出实验室在继续发扬实验室优良的学风、和谐的气氛和团队精神, 坚持小规模、高水平、有特色的同时, 要站在国家实验室的高度规划发展建设, 凝练和聚焦学术方向, 承担国家任务, 解决国家的重大问题和民生需求。做好国际合作, 解决工程技术人才问题, 争取引领行业前沿。

### 核物理学家胡济民先生诞辰 100 周年纪念会在北京大学举行

2019 年是我国著名核物理学家, 中国科学院院士, 北京大学技术物理系主要创始人, 北京大学教授胡济民诞辰一百周年。1 月 18 日下午在北京大学中关村新园科学报告厅举行了“胡济民先生诞辰一百周年纪念会”, 共同缅怀胡济民先生的光辉业绩, 学习先生热爱祖国的高尚品格, 弘扬其对科学和教育事业满腔热忱的精神。

北京大学原校长陈佳洱院士, 总装备部科技委钱绍钧院士, 中国原子能科学研究院张焕乔院士, 中科院高能物理研究所张宗桦院士, 物理学院赵光达院士, 中科院上海应物所马余刚院士, 国内核科技领域各单位的领导和来宾, 北京大学物理学院和部分兄弟院系的领导和师生, 原技术物理系历届领

导和核物理、核化学、加速器等各专业的师生，胡济民先生的家属代表、生前好友和同事等 180 余人出席会议。



中新园科学报告厅会议现场

许甫荣教授介绍胡济民先生生平和业绩

在北京大学技术物理系主任冒亚军教授主持下，首先由原技术物理系主任，胡济民先生的学生许甫荣教授介绍了胡济民先生的生平以及胡先生在学术上和教育上为祖国核科技事业所做出的卓越贡献。

为了表达对胡济民先生的纪念，原北京大学技术物理系核理论教研室主任郑春开教授，在胡先生的学生、同行、家人、及北京大学物理学院的支持下组织编写了《胡济民先生百年诞辰纪念文集》，并在纪念大会上表达了对胡先生的追思。

北京大学物理学院院长高原宁教授代表物理学院向与会代表的到来表示欢迎，并致词纪念缅怀胡济民先生。

中国核物理学会理事长、原北京大学物理学院院长叶沿林教授，对与会代表表示欢迎，且代表核物理学会介绍了“胡济民教育科学基金”。该基金资助的“胡济民教育科学奖”每三年评选一次，在全国核物理大会颁奖，至今已颁奖 6 届，共 40 位青年学者和研究生获奖，为培养和激励核科技青年人才的成长发挥了重要作用。



钱绍钧院士发言

张焕乔院士发言

兄弟单位代表柳卫平研究员（中国原子能研究院）、肖国青研究员（中国科学院大学、中国科学院近代物理研究所）、马余刚院士（上海物理学会副理事长、中国科学院上海应用物理研究所/复旦大学）、张丰收教授（北京师范大学）、邹冰松研究员（中国科学院理论物理研究所）、赵强研究员（中国科学院高能物理研究所）、葛智刚研究员（中国核数据中心）、陈永寿研究员（中国原子能研究院）

分别在会上发言并表达了对胡济民先生的崇敬与缅怀之情。

钱绍钧院士、张焕乔院士怀着激动的心情回顾了胡先生与技术物理系的历史，并深切缅怀胡先生高尚的品格和对我国核科技事业做出的巨大贡献。

胡济民先生的学生代表周善贵研究员（中国科学院理论物理研究所）动情讲述了在求学期间与胡先生一起经历的过往，以此表达对恩师胡先生的纪念。青年学生代表，在读博士研究生马远卓同学在对胡先生与老一辈科学家仰慕与憧憬的同时，也表达了对从事核物理研究的志向和追求。

胡先生的女儿、北京大学化学学院胡少文教授，回忆了父亲的生平和教诲。

技术物理系主任冒亚军教授做了总结发言，并表示：各位代表的发言让我们重温了胡先生的光辉业绩，在缅怀胡先生的同时我们应该传承胡先生的精神，为祖国的核科教事业做出贡献。最后冒亚军教授代表技术物理系再次表达了对与会代表的感谢。

## 粒子物理及核物理相关问题暨高崇寿教授科研教学思想研讨会

### 成功举办，杨振宁先生出席

2018年5月26日，“粒子物理及核物理相关问题暨高崇寿教授科研教学思想研讨会”在北京大学物理学院西202召开。著名物理学家杨振宁先生出席会议，北京大学党委副书记叶静漪莅临，来自北京大学、清华大学、山东大学、南开大学，中科院理论物理研究所、中科院高能物理研究所、北京高校计算机教育研究会等单位近百名教授学者就会议主题进行了研讨。



会议由本实验室的朱守华教授、刘川教授分别主持。物理学院党委书记陈晓林教授代表物理学院致辞并表达了物理学院对于失去这样一位优秀教授的沉痛悼念之情，同时他代宣读了李政道先生及国内多家单位及个人发来的唁电。北京大学党委副书记、纪律检查委员会书记叶静漪书记代表学校出席并讲话，她希望通过缅怀高老师，把高老师至爱的科学教育事业继续推向前进。

研讨会上，著名理论物理学家杨振宁先生从1973年的一张老照片开始，展开了对高崇寿教授的回忆。杨先生追忆了高教授在美国的一些轶事以及近十几年杨先生回国后同高教授的交往，表达了对高崇寿教授的追思和怀念。



北京大学刘川教授、南开大学李学潜教授、北京大学李重生教授、中国科学院高能物理研究所胡红波研究员等分别结合各自的经历，回忆了高崇寿教授在教书、育人等诸方面的感人事迹。下午的研讨会上，北京大学刘玉鑫教授代表教指委回顾了高老师自 80 年代起为推动了全国高校物理学科的发展和进步及人才培养做出的巨大贡献。北京大学杨应昌院士、董太乾教授、赵光达院士、宋行长教授、徐仁新教授，中国科学院高能物理研究所黄涛研究员、胡红波研究员，清华大学庄鹏飞教授，山东大学梁作堂教授，华中师范大学刘峰教授，国家天文台陈学雷教授，中国科学院大学乔从丰教授，北京航空航天大学张玉洁教授等先后发言，表达了对高老师的感激和怀念。

会上来自各高校、科研机构的同仁，高崇寿教授的同事以及学生等也深情追思了他的崇高风范和杰出贡献，从不同角度回忆了与高老师相处的往事并表达了对他的深切怀念。大家一致认为，高老师为人乐观向上；科研上重视从数据出发并提出重要科学问题；在教学思想上，他的“物理还是物理，要以知识为基础，以规律为线索，以提高物理科学素质为核心”的思想对我们今天仍然有很重要的启示。

## **本实验室杨晓菲研究员荣获国际纯粹与应用物理联合会青年科学家奖**

近日，国际纯粹与应用物理联合会（简称 IUPAP）正式公布了 2019 年度青年科学家奖获奖者名单，北京大学物理学院和核物理与核技术国家重点实验室杨晓菲研究员入选核物理领域(C12)青年科学家奖，以表彰她在高精度激光核谱技术以及不稳定原子核基本性质和结构研究方面的杰出贡献。按照惯例颁奖仪式安排在每三年一次的国际核物理大会举行(INPC2019, Jul.29-Aug.2,UK)。具体内容参见 <http://iupap.org/commissions/c12-nuclear-physics/c12-awards/>。

IUPAP 是国际最权威涵盖最广泛的物理学术联合体(中国物理学会 1984 年加入)。自 2006 年起，IUPAP 设立青年科学家奖，平均每年在每个二级学科领域评选和奖励 1 名杰出青年科学家。核物理领域每三年操作一届，每届评选 3 人，在每三年一次的国际核物理大会（INPC）上颁奖。这是国际物理学界最具权威和影响力的青年科学家奖项。评选过程历时近一年，由世界范围三名以上科学家联名可推荐候选人（要求候选人获得博士学位不超过 8 年），由 IUPAP 设立的委员会经过多轮投票选举产生最终三位获奖人。杨晓菲是首位在中国工作的核物理学者获此奖项。

杨晓菲于 2009 年毕业于兰州大学原子核物理本科专业，于 2014 年在北京大学物理学院获得博士

学位。研究生期间（2011-2014）在日本理化学研究所（RIKEN）联合培养，建成了独特的可应用于 PF 型放射性束装置的激光核谱设备（OROCHI）并完成了首次物理实验。2014 年-2017 年期间，她在比利时鲁汶大学和欧洲核子中心 CERN-ISOLDE 从事博士后研究，为 ISOLDE-COLLAPS/CRIS 上国际领先的激光核谱技术的持续发展做出了重要贡献，并取得一系列有重要影响的研究成果，例如在丰中子双幻核  $78\text{Ni}$  附近核区的工作发表在物理评论快报（Physical Review Letters）并被选为编辑推荐亮点。她多次在大型国际学术会议做大会邀请报告，比如已被邀请在每三年一次的国际核物理大会（INPC2019）上做大会特邀报告（获奖演讲另行安排）。2017 年底杨晓菲入职北京大学实验核物理团队，并已入选国家青年海外高层次人才引进计划。针对我国下一代核物理大科学装置的建设目标，杨晓菲正在国内逐步创建激光核谱实验室，同时带领团队在国际著名的激光核谱装置上提出和开展系列物理实验研究。

## 国家十二五重大基础设施 HIAF 项目合作研讨会

### 在北京大学加速器楼召开

2019 年 3 月 2 日上午九点，在北京大学加速器楼，中国科学院近代物理研究所所长徐珊珊研究员、党委书记兼副所长赵红卫研究员、党委副书记兼纪委书记袁平研究员、副所长胡正国正研级高级工程师、HIAF 总工程师杨建成研究员、CiADS 总工程师何源研究员等 7 人来到北京大学物理学院重离子物理研究所，就国家十二五重大基础设施“强流重离子加速器（HIAF）”项目的合作进行深入交流和探讨。北京大学陈佳洱院士、北京大学设备部部长刘克新教授、物理学院重离子物理研究所所长颜学庆教授、超导实验

室主任全胜文教授高级正高工、重离子物理研究所党支部书记郝建奎副教授、朱凤高级工程师参加了这次合作研讨会。

HIAF 项目由中科院近代物理研究所承担，北京大学为共建合作单位。项目自 2009 年立项以来，经过近十年的时间，该大科学工程于



2018 年 12 月 23 日正式开工，建设周期 7 年。经过双方讨论，北京大学射频超导实验室主要参与 HIAF 直线加速器的工作，包括超导腔样机研制、超导腔低温性能测试、超导腔低电平控制、铜铌镀膜技术研究等方面进行合作。

双方领导对科学院和大学的合作模式提出了诸多建议，期望今后有更多深入、实质性的合作(如怀柔科学城激光加速创新交叉平台和未来大科学装置的立项与建设等)，更好培养人才，探索新的合作模式等，促进双方科学研究的发展。

## 取得系列重要进展

研究强子（比如质子、中子）的内部结构，对理解强相互作用规律以及我们现实世界的物质构成至关重要。但是对强子结构的理论研究极其困难，在强相互作用基本理论量子色动力学（QCD）提出约 40 年后的今天，人们依然未能利用 QCD 计算得到夸克和胶子在质子内部的动量分布函数(PDFs)。近些年，PDFs 的第一原理计算方法上有了巨大的突破。

在 2013 年，季向东教授提出了时间无依赖可用格点 QCD 计算的 quasi-PDFs，并发现，当动量非常大的时候 quasi-PDFs 可以近似为 PDFs。近期，马滢青研究员与合作者把季向东教授的方法进行推广，提出了最一般的方法“格点散射截面”。在该方法中，保留了时间无依赖这一要求，但是与 PDFs 之间的联系是通过证明因子化定理来保证。马滢青研究员与合作者构造出了一系列便于格点 QCD 计算的“格点散射截面”，并量子场论框架下严格证明了它们与 PDFs 之间联系的因子化定理，从而能够利用格点 QCD 计算得到 PDFs。结果已发表在《物理评论快报》上【Phys. Rev. Lett. 120 (2018) 022003】，马滢青研究员是第一作者。

此外，在量子场论框架下，quasi-PDFs 要想能够用于计算 PDFs，它们必须满足紫外发散的重整性质。马滢青研究员与合作者严格证明了这一性质，这为 quasi-PDFs 的应用奠定了坚实的理论基础。结果已发表在《物理评论快报》上【Phys. Rev. Lett. 122 (2019) 062002】，物理学院理论所的李正阳博士生是第一作者、马滢青研究员是通讯作者。

本实验室在揭示  $Mn+1AX_n$  相材料抗辐照损伤机制上取得重要进展

材料的抗辐照性能是影响先进裂变/聚变反应堆安全性和经济性的关键因素之一。著名科学家费米曾预言，核技术的成败将强烈地取决于材料在反应堆中强辐射场下的行为。最近，核物理与核技术国家重点实验室离子束物理与应用课题组和国内外合作团队利用北京大学的 2\*1.7MV 串列静电加速器系统辐照了纳米层状金属陶瓷- $Mn+1AX_n$  相材料，并通过高分辨透射电镜和原子形貌探针等观测方法，在原子尺度上揭示了这类材料的抗辐照损伤机制。该研究工作以“Disorder in  $Mn+1AX_n$  phases at the atomic scale”为题于 2019 年 2 月 7 日正式发表在《自然·通讯》上。

$Mn+1AX_n$  相材料因其晶胞内具有的特殊周期性层状结构和元素组成，兼具有某些金属和陶瓷所特有的优异性能，例如高强度、优良的抗热震能力等金属特性，以及耐高温、抗氧化、易烧结加工等陶瓷特性。因此， $Mn+1AX_n$  相材料在极端条件下的应用得到了广泛研究，例如用于核反应堆第一壁材料以及燃料包壳材料或涂层。然而，目前对于  $Mn+1AX_n$  相材料在辐照条件下结构变化机理存在争论，主要分歧在于辐照诱导材料从初始结构六方结构转变为面心立方结构的过程是因 A 层原子逃逸造成的相分解为 MX 二元相还是因辐照引入的缺陷而造成的相变。

这项研究工作利用扫描透射电子显微镜（STEM）模式下的高角环形暗场像（HAADF）技术成功地直接表征出一种典型的  $Mn+1AX_n$  相材料  $Ti_3AlC_2$ ，晶胞中 Ti 原子和 Al 原子的衬度差异（图 1-g），并利用环形明场像（ABF）技术直接观测到 C 原子在阴离子位置上的排列方式（图 1-p）。通过这两种实验方法，研究发现在 1MeV 的  $Au^+$  离子低剂量辐照条件下，Ti 原子和 Al 原子通过无序化混合，以 3:1 的占位率共同占据阳离子位置，而 C 原子则均匀占据阴离子位置，从而形成了同样是六

方结构的  $\gamma$ -(Ti<sub>3</sub>Al)C<sub>2</sub> 相 (图 1-c)。随着剂量增加, 辐照引入的缺陷 (堆垛层错等) 增多, 材料发生相变, 最终形成 fcc-(Ti<sub>3</sub>Al)C<sub>2</sub> 相 (图 1-e)。同时, XRD 和第一性原理计算等也证实了在 7 种不同 Mn+1AX<sub>n</sub> 相材料中发生的这种由辐照引起的材料中发生相变机制。该研究从多个角度利用多项实验及计算方法印证了材料中 M、A 阳离子及 X 阴离子各自的无序化过程, 推翻了此前国际上争论已久的相分解假说, 对于研究 Mn+1AX<sub>n</sub> 相材料的辐照损伤效应及其在核能领域的应用具有重要的作用。

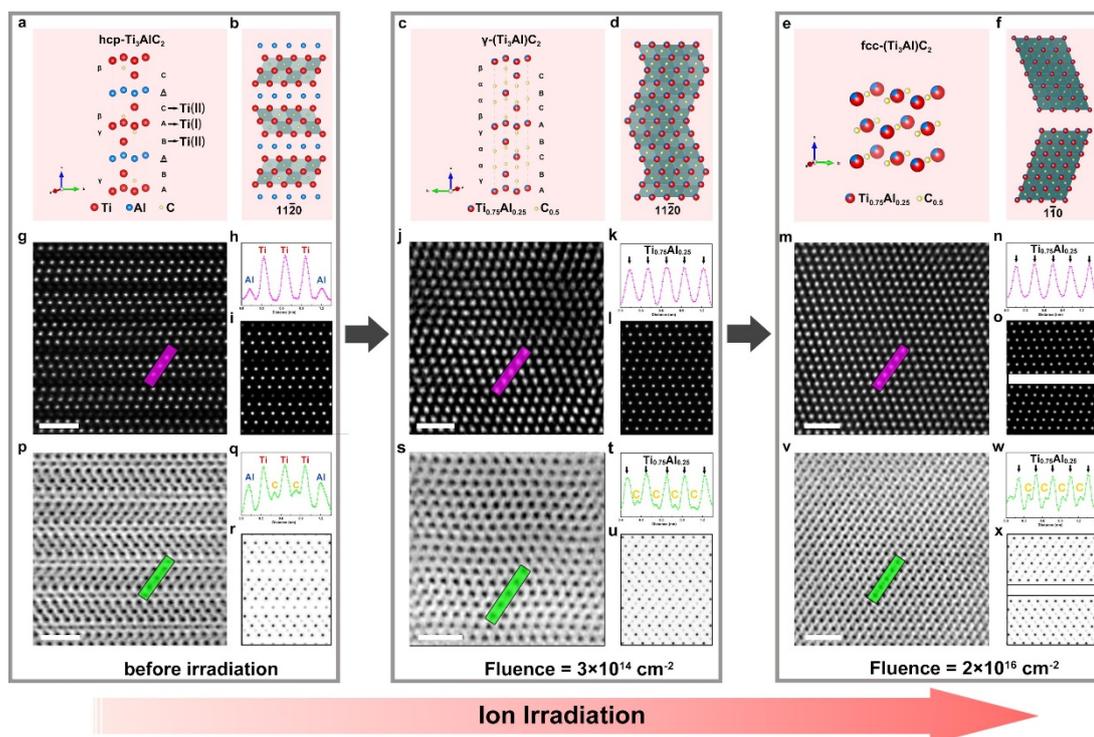


图 1. Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub> 材料辐照前后的结构及 STEM HAADF/ABF 像。(a-f) 原始 hex-Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub> 相、 $\gamma$ -(Ti<sub>3</sub>Al)C<sub>2</sub> 相、fcc-(Ti<sub>3</sub>Al)C<sub>2</sub> 相的原子结构及沿方向的原子分布。(g-o) 三种结构的 STEMHAADF 像、相应的衬度变化曲线及模拟图像。(p-x) 三种结构的 STEMABF 像、相应的衬度变化曲线及模拟图像。

这项研究成果是该课题组多年来针对 MAX 相材料开展辐照损伤机理研究的积累和深化, 其中主要实验结果源于该文第一作者王晨旭的博士论文“MAX 相金属陶瓷离子辐照致相变过程及氦泡形成机理研究”(获 2016 年度北京大学优秀博士论文。目前在斯坦福大学从事博士后研究)。其导师、北京大学物理学院王宇钢教授和斯坦福大学 Rodney C. Ewing 作为共同通讯作者。这项工作得到中科院宁波材料所黄庆研究员团队和中科院沈阳金属所王京阳研究员团队在 MAX 相材料方面的鼎力支持, 并获得科技部“ITER 专项团队项目”和国家自然科学基金委面上项目及北京大学核物理与核技术国家重点实验室开放课题的资助。

## 《物理评论快报》报道

### 高能物理课题组粲重子衰变绝对分支比首次测量

重子，如质子、中子，是组成物质的基本单元，由三个夸克组成。粲重子含一个粲夸克和两个轻夸克，是重子家族的重要成员，对粲重子的研究是理解强相互作用和电弱相互作用的重要手段。然而实验上对粲重子弱衰变研究相对较少，尽管最基础的 SU(3)反三重态粲重子之一的  $\Xi^0$  已被发现近 30 年，其绝对衰变分支比依旧未知，从而限制了粲重子相关的能谱、产生和衰变等诸多研究。

为了测量  $\Xi^0$  衰变绝对分支比，班勇教授课题组与北京航空航天大学、复旦大学、中科院高能物理研究所合作，利用位于日本筑波市的 Belle 实验收集的 772 兆 B 介子对样本，对  $B^- \rightarrow \bar{\Lambda} \Xi^0$  衰变进行了单举和遍举测量。数据分析中，利用 Belle 实验中 B 介子总是成对产生的特性，在单举过程中，利用神经网络的方法使用了 1042 个衰变道首先进行一个  $B^+$  介子标记，然后再通过  $\bar{\Lambda} \rightarrow \bar{p} K^- \pi^+$  重建一个  $\bar{\Lambda}$  粒子。在标记的  $B^+$  介子和  $\bar{\Lambda}$  粒子的反冲质量谱上观测到了清楚的  $\Xi^0$  的信号，从而确定  $B^- \rightarrow \bar{\Lambda} \Xi^0$  过程的存在并测量其衰变分支比  $\mathcal{B}(B^- \rightarrow \bar{\Lambda} \Xi^0)$ 。在遍举过程中，不再标记信号  $B^+$  介子，而是在重建  $\bar{\Lambda}$  后，直接通过  $\Xi^0 \rightarrow \Xi^- \pi^+$ ， $\Lambda K^- \pi^+$  和  $p K^- K^- \pi^+$  重建  $\Xi^0$  粒子，测量得到以下三个连乘分支比： $\mathcal{B}(B^- \rightarrow \bar{\Lambda} \Xi^0) \mathcal{B}(\Xi^0 \rightarrow \Xi^- \pi^+)$ ， $\mathcal{B}(B^- \rightarrow \bar{\Lambda} \Xi^0) \mathcal{B}(\Xi^0 \rightarrow \Lambda K^- \pi^+)$  和  $\mathcal{B}(B^- \rightarrow \bar{\Lambda} \Xi^0) \mathcal{B}(\Xi^0 \rightarrow p K^- K^- \pi^+)$ 。结合单举和遍举的测量结果，首次给出了  $\Xi^0$  衰变绝对分支比： $\mathcal{B}(\Xi^0 \rightarrow \Xi^- \pi^+) = (1.80 \pm 0.50 \pm 0.14)\%$ ， $\mathcal{B}(\Xi^0 \rightarrow \Lambda K^- \pi^+) = (1.17 \pm 0.37 \pm 0.09)\%$  和  $\mathcal{B}(\Xi^0 \rightarrow p K^- K^- \pi^+) = (0.58 \pm 0.23 \pm 0.05)\%$ 。实验测量的结果将会被广泛应用到和  $\Xi^0$  衰变相关的测量中去。

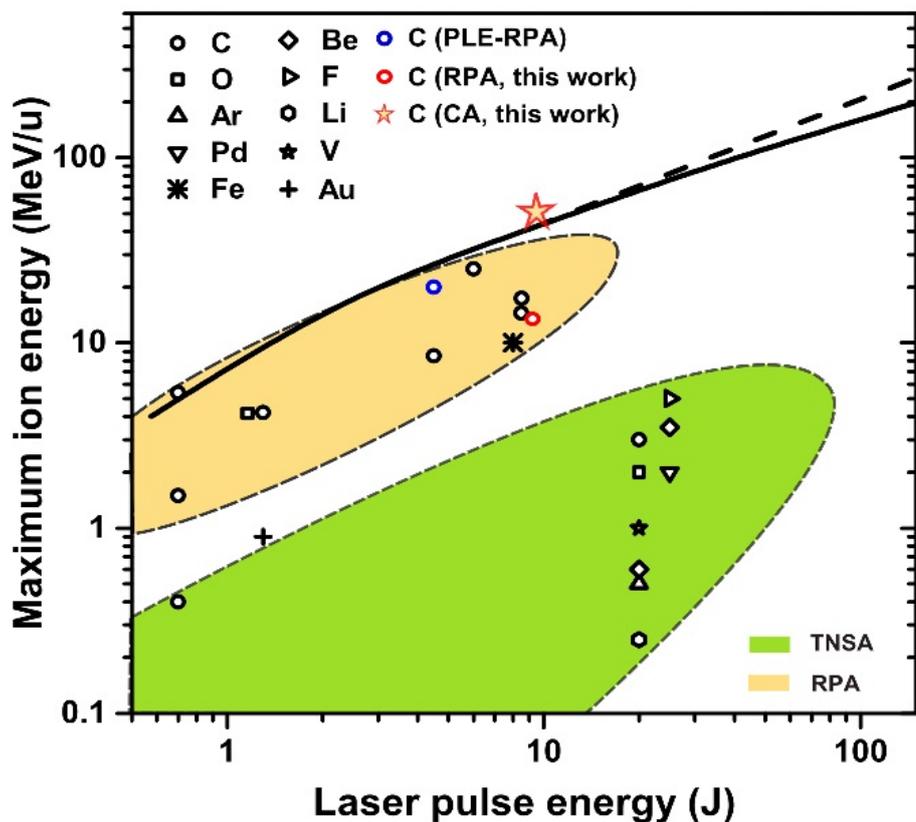
上述测量结果近期以“First Measurements of Absolute Branching Fractions of the  $\Xi^0$  Baryon at Belle”为题在线发表在《物理评论快报》上【Phys. Rev. Lett. 122, 082001 (2019)】，物理学院技术物理系博士生李郁博为该论文的第一作者、北京航空航天大学/复旦大学沈成平教授为通讯作者。

上述研究工作得到了国家自然科学基金委、国家留学基金委和中国科学院的资助。

### 颜学庆/马文君团队利用级联加速新机制 打破飞秒激光驱动碳离子能量记录

2019 年 1 月，实验室颜学庆教授/马文君研究员团队近期在激光加速重离子领域获得重要进展。他们利用人工设计的双层纳米靶材，获得了能量高达 580 兆电子伏特 (MeV) 的碳离子，将飞秒激光加速重离子能量记录提高了两倍。相关结果以“Laser Acceleration of Highly Energetic Carbon Ions Using a Double-Layer Target Composed of Slightly Underdense Plasma and Ultrathin Foil”为题发表在物理评论快报上 (Physical Review Letters 122, 014803 (2019))。

他们的理论与数值模拟工作表明，这种高效的加速方案也适用于金、钽、铀等重离子。在现有激



光条件下，可产生能量为数十兆电子伏特每核子、密度为传统束流  $10^9$  倍的高能高密度重离子束流。这种高能高密度重离子束团将为超重元素合成、短寿命核素加速、温稠密物质等温加热等重要物理难题的解决提供新的方案。，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。

马文君研究员为论文第一作者与通讯作者。颜学庆教授与韩国基础科学研究所的 Nam, Chang Hee 教授为共同通讯作者。论文主要作者还包括陈佳洱院士、贺贤土院士、M. Zepf 教授, J. Schreiber 教授, Kim, I Jong 教授、林晨研究员、卢海洋研究员和余金清博士等。该项目得到国家重大科技基础设施培育项目（2017ZF22）、科技部重大仪器专项、自然科学基金重点项目、核物理与核技术国家重点实验室和北京市卓越青年科学家等项目的支持。

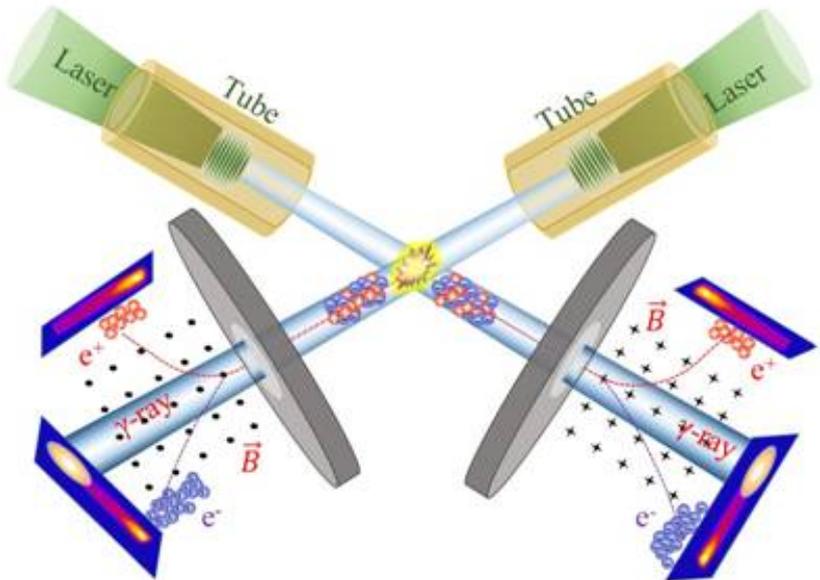
### 颜学庆/卢海洋团队提出激光驱动光子对撞机的新方案

颜学庆教授和卢海洋研究员领导的课题组提出了激光驱动光子对撞机的新方案，该方案每脉冲可以产生 3 亿个 Breit-Wheeler 事件，并且所产生的正负电子对发散角只有 7 度，具有非常好的准直性。同时，背景噪声可以得到有效抑制，信噪比高达 1000:1。研究成果以“Creation of electron-positron pairs in photon-photon collisions driven by 10-PW laser pulses”为题在线发表在《物理评论快报》（Physical Review Letters）。

根据爱因斯坦质能方程和量子电动力学理论，在一定条件下光子（能量）可以转化成物质，这对研究物质的起因有重要的作用。相关的理论研究始于上世纪 30 年代，直到 1997 年美国 SLAC 实验室才首次在实验中观测到多光子碰撞产生正负电子对的过程。然而，对于两个高能光子的相互作用过程，也就是常说的光子对撞机，到目前为止还未能能在实验中观测到。在光子对撞机中，光子的相互作用的次数与光子数目和光子相互作用截面成正比，与光子束的脉冲宽度、两束光子束的交叠面积成反比。在过去实验中不能观测到光子的相互作用过程是因为已有伽马射线源的流强和亮度还达不到要求。

近年来，随着激光技术的发展，特别是 10 拍瓦(1 拍瓦=1e15 瓦)激光器的建成，激光光强将可以达到  $1e23\text{W}/\text{cm}^3$  以上。当如此高强度的激光与物质相互作用时，大部分激光能量被吸收并转化成伽马射线辐射源，如果可以有效控制伽马射线的发散角，辐射的伽马射线将会达到前所未有的流强和亮度。

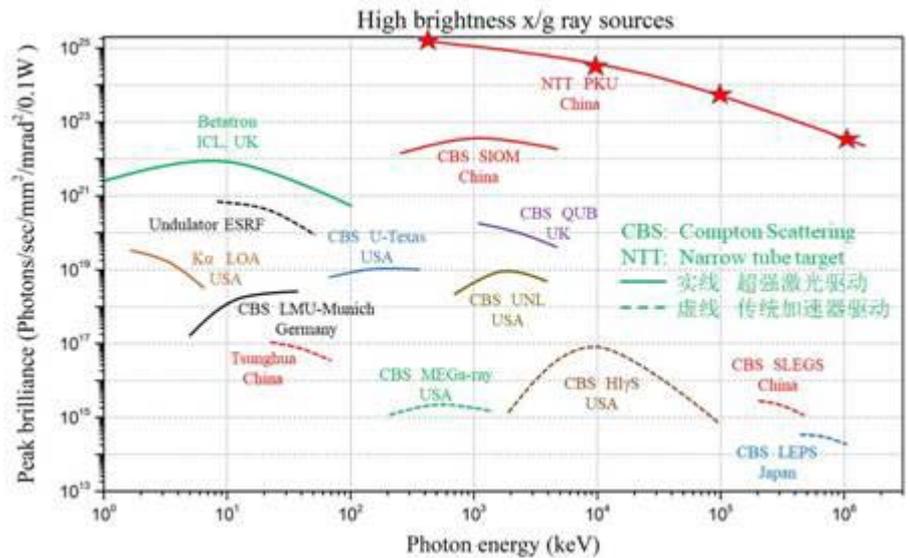
团队研究人员在前期的工作中对产生超高亮度伽马光源进行了深入的研究，首次从理论上系统阐明了微通道结构靶中，纵向电场主导了电子的加速过程，同时电子的横向加速可以得到有效的抑制，因此可以获得高准直性的电子束，当这些电子束在横向场中的相位发生反转时，电子就会在管道边界处产生强伽马辐射。由于电子的发散角决定了伽马辐射的发散角，因此可以获得准直性非常好的  $\gamma$ -ray 辐射源。数值模拟中 10PW 激光所能获得的发散角小于 3 度，亮度比之前研究报道结果高出两个数量级的伽马辐射源。



激光驱动光子对撞机产生正负电子对的方案设计

本工作即基于以上研究成果，将该超高亮度的伽马射线应用于光子对撞机。理论计算结果表明，该方案可以获得超高信噪比 ( $>1000:1$ )，且每一发正负电子对信号 ( $>1e8$ ) 远高于现有测量技术的探测极限。因此，通过该方案可以在实验室中验证光子相互作用过程中由能量到物质的转换过程，将提供激光驱动光子对撞机研究的新途径，也将极大的促进双光子 BW 物理的发展。未来有望依据本方案建设基于重频拍瓦飞秒激光的高亮度伽马源及其应用装置。

博士后余金清为论文第一作者。颜学庆教授和卢海洋研究员为通讯作者。论文合作者还包括北京大学的陈佳洱院士、马文君研究员，广岛大学的 T. Takahashi 教授，高能物理研究所的黄永盛研究员。该研究工作得到国家自然科学基金、科技部重点研发专项、挑战计划和中国博士后科学基金的联合资助。相关模拟工作得到北京大学高性能计算平台的支持。



本方案可以获得高出之前 2-3 量级的伽马光源亮度

编辑： 何花 王宇钢

电话： 62755407

电邮： huahe@pku.edu.cn