## B 核物理与加速器物理

# 分会召集人:鲁巍、颜学庆、秦庆、王东、周小红

## 口头报告

## **B001**

Candidates for QCD exotics and threshold phenomena

#### Zhao, Qiang

Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences

Abstract: A status review of some key issues about the nature of some recently observed QCD exotic candidates will be given. Threshold phenomena and possible relevant dynamics will be emphasized.

#### 加速器驱动先进核裂变能进展

#### 何源,徐瑚珊,张军辉,张雪荧,杨磊,王志军,顾龙,王志光,秦芝,詹文龙 中国科学院近代物理研究所

核裂变能在我国能源战略的规划中,核电在一次能源消费中的占比将达到 10%-20%,核燃料的利用率和核废料处理是核裂变能可持续发展的关键问题。ADS 利用加速器产生的高能质子轰击重金属散列靶产生的广谱中子驱动次临界反应堆对高放废料进行嬗变是核废料处理的有效手段。加速器驱动的先进核能系统(ADANES)是一种新的核燃料闭式循环系统,其主要目的是提高燃料利用率、提高核能安全,成为可持续的低碳能源的千年供给。ADANES 包含类似于 ADS 装置的燃烧器和乏料再生循环系统。在中科院先导专项的支持下,已经发展了相关的关键技术和样机,如 ADS 前端直线加速器示范装置,颗粒流散裂靶原理样机,铅基零功率反应堆等。加速器驱动的嬗变研究装置(CiADS)是国家十二五重大科技基础设施装置,将是国际上第一台加速器驱动嬗变研究装置,将在广东省惠州市建设。CiADS 加速器能量 500MeV 流强 5mA,次临界系统为铅铋冷却的快中子反应堆、热功率 10MW(含散裂靶功率)。目前,CiADS 已经完成了初步设计方案和评审,装置场平正在进行中。报告将介绍装置的设计和关键样机研制进展。

## 高能核碰撞中的喷注淬火

## 张本威

## 华中师范大学

摘要: 夸克胶子等离子体新物质形态的形成和性质研究是近三十年高能核物 理最重要的前沿研究领域。为了探寻夸克胶子物质,一个关键的问题是找到夸 克胶子等离子体形成的信号,其中被国际学术界广泛关注和认同的一个重要 信号是喷注淬火。在这个报告中我汇报我们课题组近期在喷注淬火理论研究 方面的一些进展和结果

## 清华大学微型脉冲强子源 CPHS 及相关学科发展

王学武\*、邢庆子、郑曙昕、程诚、姚红娟、雷钰、关遐令、杜泰斌、 张化一、杨祎罡、王哲、邱睿、张辉 粒子技术与辐射成像教育部重点实验室(清华大学),北京100084 清华大学先进辐射源及应用实验室,北京100084 清华大学工程物理系,北京100084 \*Email: wangxuewu@tsinghua.edu.cn

摘要:为了建设多学科应用的科学研究与人才培养基地,培养一批能够胜任强子科学装置建设和应用的 科学和技术人才,清华大学于 2009 年上半年立项建设微型脉冲强子源(CPHS)。CPHS 主要包括 13 MeV /16 kW 强流质子直线加速器、中子靶站及中子谱仪与实验站。预期实现>10<sup>13</sup>n/s 的中子产额,获得热中 子、超热中子和冷中子束流;规划建设中子成像、小角中子散射、中子测试等 4 条中子应用实验束线。

CPHS 于 2013 年建成变电压射频四极(RFQ)加速器与中子靶站,实现 3 MeV 强流脉冲质子束打 铍靶产生热中子束,主要用于质子束测量、中子成像和中子探测器测试等。2019 年,CPHS 基于 Alvarez 型永磁四极 DTL 加速器、单一速调管同时驱动 RFQ 和 DTL 的方案,实现了 13 MeV / 250 W 强流脉冲 质子束打铍靶,液氦制冷的 12K 固态甲烷慢化器作为慢化器,获得冷中子束,进行了中子学性能测量、 中子掠入射聚焦镜测量等实验。后续将提升功率,建设质子与中子实验束线。

CPHS 带动了质子加速器相关学科发展:使用旋转多丝靶、基于 CT 算法实现了强流质子束流的二 维剖面测量;使用四台 BPM 开展了强流质子束的 RMS 束团长度和动量分散的在线测量;2013 年起与 美国 MSU 合作研制稀有放射性同位素束流装置(FRIB)前端的 RFQ 加速器,已通过 60kW 高功率射 频老练,并将 <sup>40</sup>Ar<sup>9+</sup>离子和 <sup>86</sup>Kr<sup>17+</sup>离子连续束加速到 500keV/u;2014 年起与西北核技术研究院共同建设 西安 200MeV 质子应用装置(XiPAF),7 MeV 负氢直线注入器中采用变电压 RFQ 和交叉指型磁模(IH) DTL 加速器、两台 4616 四极管功率源,已于 2019 年初调试出束,同步加速器正在安装和测试,准备 集成调试。2017 年起参与了国家重点研发计划"基于同步加速器的质子放疗系统研发"的"质子注入 器"(7MeV)课题,采用常电压 RFQ 和 Alvarez 型永磁四极 DTL、一台 4616 四极管功率源。

CPHS 也带动了加速器中子源及其应用相关学科发展:在基于低能核反应产生中子、靶工艺、中子 慢化等方面,可提供实验研究平台。CPHS 具有灵活特点,适合开展创新中子谱仪方法与技术及中子科 学应用研究,带动了中子探测器、中子掠入射聚焦光学、中子小角散射等研究,适合开展中子源及应用 相关人才培养。

关键词:强流质子直线加速器,小型加速器中子源,中子技术,中子散射

<sup>[1]</sup> X. W. Wang *et al.*, Delivery of 3-MeV proton and neutron beams at CPHS: a status report on accelerator and neutron activities at Tsinghua University, *Physics Procedia* 2014, 60, 186.

<sup>[2]</sup> S. X. Zheng et al., Overall Design and Progress of XiPAF Project, Proceedings of SAP2017, 2017, 183

<sup>[3]</sup> Q. Z. Xing *et al.*, RF-induced frequency-shift resistant design of the resonant cavity of the radio frequency quadrupole with the high average-power operation, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A*, 2018, 904, 117

基金项目: 国家自然科学基金项目(NO. 91126003, 11575098)

合肥先进光源物理方案及预研进展

#### 徐卫

## 中国科学技术大学

## HEPS 注入器设计进展

#### 彭月梅、孟才、许海生、焦毅、李京祎、段哲、王娜、郭媛媛、田赛克

中国科学院高能物理研究所,石景山区玉泉路19号乙,北京,100049

#### Email: mengc@ihep.ac.cn

**摘要:**高能同步辐射光源(HEPS)是中科院高能所承担建设的"十三五"国家重大科技基础设施,于2017年12月15日获批立项、2019年6月29日开工,建设周期6.5年。HEPS加速器[1]包括注入器及储存环两部分。注入器包括一个500MeV直线加速器、一个6GeV增强器以及三条输运线。储存环束流能量为6GeV,采用7BA lattice结构,发射度小于60pm。随着工程设计推进,储存环对注入束流有了更高的要求:束流发射度小于等于20nm及单束团电荷量大于等于5nC。基于新的参数要求,注入器进行了设计及优化。增强器束流能量从500MeV升能到6GeV,采用4折对称FODO lattice结构,每个超周期包括14个标准FODO聚焦结构和2个匹配结构,引入MOGA及PSO多目标优化算法进行lattice优化,发射度由35.0nm降低到16.5nm。通过初步的不稳定性研究及误差分析,增强器方案满足设计要求。直线加速器包含9根加速管,束流能量大于500MeV,通过提高电子枪流强及引入次谐波腔可以提供束团电荷量大于7nC的束流。本文将给出直线加速器及增强器的详细设计方案及动力学模拟结果。**关键词:**HEPS、发射度、误差分析、增强器、直线加速器

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(11705214、11805217)、中国科学院青年创新促进会(2019016)

[1] Yi Jiao et al., The HEPS project, J. Synchrotron Rad. (2018). 25.

## CiADS 超导直线加速器物理挑战和关键技术研究

王志军 中科院近代物理研究所

# 强流离子束流动力学中的共振现象研究

李超 中科院高能物理研究所

## CEPC 加速器设计的现状与挑战

## 中国科学院高能物理研究所,北京 100049 Email: wangd93@ihep.ac.cn

王逗

摘要: CEPC (Circular Electron Positron Collider) 是中国科学家自主提出的下一代大型高能正负 电子对撞机,用来研究希格斯粒子及相关高能物理前沿问题,在 CEPC 建成之后预期将在相同的隧道里 建造下一代大型强子对撞机 SPPC (Super Proton Proton Collider),所以在 CEPC 设计初期就需要考 虑两台机器兼容性问题。CEPC 的对撞质心能量为 240GeV,有两个对撞点,每个对撞点的设计亮度为 3×10<sup>34</sup>cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>。同时,我们希望 CEPC 能够兼顾 W 粒子 (质心能量 160GeV)和 Z 粒子的研究 (质心能量 91GeV),Z 能量下每个对撞点的亮度预期目标至少为 1.7×10<sup>35</sup>cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>。CEPC 的设计周长为 100km,这样的 周长可以兼顾将来的强子对撞机 SPPC 的需求。SPPC 希望采用 12Tes1a 的铁基超导磁铁技术实现质心能 量 70TeV 的质子-质子对撞 (未来可以升级到 125TeV 或更高)。图 1 是 CEPC 的概念设计图。



图 1 CEPC 设计草图

设计中的 CEPC 除了满足希格斯粒子的研究需求外,也希望一定程度兼顾 W 粒子和 Z 粒子的研究。 为了满足 W 和 Z 能量下对束团数目的更多需求,在不更改硬件设备的前提下我们对高频系统进行了特殊的设计:在希格斯能量下两个环的束流将共享高频系统,所有束团仅分布在半环的区域;在 W 和 Z 的能量下,两个环各自具有独立的高频系统,因而束团可以布满全环。

CEPC 概念设计报告(CDR)已经正式发表,下一步的优化设计、技术预研及国际合作正在积极开展,技术设计报告(TDR)预期 2022 年底完成。

关键词: CEPC 加速器设计 对撞亮度 动力学孔径 束流动力学

## 原子核的手征对称性

赵鹏巍 北京大学

# 弱束缚原子核反应机制和核结构研究

张高龙 北京航空航天大学

#### 相对论约化 R-矩阵理论及配套程序-RAC

陈振鹏 吴强华 (清华大学 物理系) 孙业英 (清华大学 材料系) (2019-08-23)

我们研制的基于'相对论约化 R-矩阵理论'的大型程序-RAC,已经被用于研制国际原子能机构(IAEA) 发布的中子标准截面<sup>6</sup>Li (n, t)  $\alpha$ , <sup>10</sup>B(n,  $\alpha$ 0)7Li, <sup>10</sup>B(n,  $\alpha$ 1)7Li<sup>\*</sup>;已经用于求得准确的<sup>12</sup>C( $\alpha$ ,  $\gamma$ )<sup>16</sup>O 的天体物理 S 因子和反应率,结果已经被分别发表在美国出版的'物理评论'与'天体物理'杂志上; 最近几年,在 IAEA 组织的国际合作项目'R-矩阵程序比对',完成了<sup>7</sup>Be 系统的综合评价,并作为合作 研究的参考结果;在 IAEA 组织的'国际中子数据评价网'中,完成了<sup>10</sup>Be 系统的综合评价,并被作为 合作研究的比对结果;这些合作研究还要继续开展多年。最近两年,又用于系统评价双核子碰撞 n+P, p+P 和 n+N,得到了有创新性的结果。

目前在国际上还没有其他程序具有 RAC 所具有的强大的综合性极强的分析能力,过去在轻核评价 领域占绝对主导地位的美国程序-EDA 只能分析低能区域的数据。与国外同类 R-矩阵程序和同类工作相 比,RAC 和该工作具有以下的特点和先进性。

A. 采用相对论的能量计算公式,可以巧妙地将 γ<sub>n</sub>+<sup>16</sup>0<sub>n</sub> (n=0, 1, 2, 3, 4)当作复合核 2 体反应道处 理,为此可以同时分析一个核系统中所有反应道的实验数据;

B. 采用多道多能级'约化 R-矩阵'模型,可以分析全能区的实验数据,为此可以同时分析一个核系统中所有可以利用的实验数据;国外的 R-矩阵程序还固守使用普通的 R-矩阵模型;

C. 采用严格的广义最小二乘公式和误差传播理论,可以严格地使用实验数据误差信息,为此可以 准确地给出所有反应道评价值的协方差矩阵; 国外的 R-矩阵程序还固守使用普通的最小二乘公式(日本的学者在尝试使用广义最小二乘公式);

D. 采用了多种精密的有特色的数值拟合方法,比如反复迭代,单参数梯度法,智能记忆路径,等 等,有可能获得最佳拟合。

E. 采用了改进型的反应道宽度和能级宽度计算公式,为此可以准确分析宽度极窄的能级数据;

实践是最好的老师。最近几年,通过国际合作与学术交流,关于如何有效地使用 R-矩阵理论,关于 如何理解 RAC,国际同行间,共识在不断增加,分歧在不断减少。比如说,对于能级信息很少的核系 统,也要使用完整的核量子态;对于能区很宽的评价,必须使用负能级本底;对于数据组数很多的实验 数据集,可以通过综合分析,确定和修正系统误差;对数据集作归一时,修正的应该是实验数据,而不 是计算值;要努力去利用'广义最小二乘'拟合实验数据,而不能固守'普通最小二乘',等等。

RAC 还需要发展与改进,比如说要设计并行运算版本,要增加同时拟合的输入道,等等。

致谢:该工作得到了国防基础科研挑战专题(NO.041802020),国家自然科学基金的支持(NO. 041502102),国家自然科学基金(NO:11775029)给予的支持。

# 对称能与超核性质

## 蒋维洲

## 东南大学物理学院, 211189

#### 摘要

We study the relationship between the properties of hypernuclei and the symmetry energy. In particular, we will extract the two-Lambda separation energy and Lambda-Lambda interaction energy of hypernuclei and examine their relations with the symmetry energy in the double Lambda hypernuclei. We find that the extremum values of the two-Lambda separation energy and Lambda-Lambda interaction energy in the symmetry energy slope profile are independent of the Lambda potential in Xi matter, and this property can be used to determine exactly the the slope parameter of the symmetry energy at saturation density.

#### 协变密度泛函理论下八极形变原子核的热激发形状相变

## 张炜 郑州大学

摘要:采用有限温相对论平均场理论及BCS 对关联方法研究了八极形变原子核<sup>224</sup>Ra,偶偶 <sup>144-154</sup>Ba,偶偶<sup>286-304</sup>Cm 核的热激发形状相变。具体研究了自由能曲面和粗快性质,包括曲 面上全局最小值的形变、对间隙、激发能量和比热。对于<sup>224</sup>Ra,在比热曲线发现了三处不 连续,表明在温度0.4MeV 的对相变,在温度0.9 和1.0MeV 的两处形状相变,即从四极-八极形状相变到四极形状的相变,和从从四极形变到球形的相变。进一步,在N=136 和 Z=88 的单粒子能级间隙稳定了低温下的全局八极形变最小值。相似地,对于偶偶<sup>144-154</sup>Ba, 在T~0.5MeV 附近有对相变,在T=0.5-2.2MeV 存在形状相变。发现了临界相变温度和零 温下的形变存在简单的比例关系 Tc =6.6 $\beta$ (0)或者写成与质量数A相关的形式Tc =44A.  $_{1/3}\beta$ (0),这个关系对于八极和四极形状相变都成立。通过本研究,八极极小的形成可以通过 定量给出来自八极驱动对 $\Omega$ [*N*,*nz*,*m*] 和  $\Omega$ [*N*+1,*nz*±3,*m*]的贡献来理解。

## 缺中子超铀核区 N=126 壳效应的研究

#### 张志远

#### 中国科学院近代物理研究所,兰州 730000 Email: <u>zhangzy@impcas.ac.cn</u>

摘要: 远离稳定线原子核的壳结构和壳演化是目前原子核物理研究的重要课题。<sup>208</sup>Pb 原子核是目前已 知的最重的球形双幻核,其具有的双闭壳结构是原子核物理中壳模型理论框架的基石之一。近年来,人 们对质子数 Z=82 附近缺中子一侧核素的壳演化、形状共存等现象的研究已经比较详细。但是,受实验 产额和短寿命条件的限制,对于极端缺中子的超铀核区(Z~126)壳效应和壳演化的研究还非常有限。 实验上,对于 Z>92 的核素中 *N*=126 壳效应是否依然存在的问题还没有相应的研究。

课题组利用兰州重离子加速器的充气反冲核谱仪 SHANS 装置,借助于先进的波形采样数字化电子 学系统,在 *N*≈126 的轻锕系核区首次观测到了 *Z*=93 的新核素 <sup>219,220,223,224</sup>Np。基于新测量的 α 衰变性 质,在 Np 同位素的 *N*=126 中子壳附近,首次建立了 α 衰变系统性规律(如图 1),得到了 *N*=126 壳效 应在 *Z*=93 Np 同位素中仍然存在的实验证据。同时,确定了 Np 同位素中质子滴线的准确位置,这一结 果是在 *Z*≥83 的奇 *Z* 核区,首次将丰质子核素的质子滴线位置扩展到了 *Z*=93 的同位素中,这也是目前 已知的质量数最大的质子滴线位置。



图 1 89≤Z≤93 缺中子核素的 α 衰变 Q 值(左)和半衰期(右)的系统性规律。

关键词: 超铀新核素、α衰变、壳效应 参考文献:

- Z.Y. Zhang, *et al.*, New Isotope 220Np: Probing the Robustness of the N=126 Shell Closure in Neptunium, *Phys. Rev. Lett.*, 2019, 122, 192503.
- [2] H.B. Yang, *et al.*, Alpha decay properties of the semi-magic nucleus 219Np, *Phys. Lett. B*, 2018, 777, 212.
- M.D. Sun, *et al.*, New short-lived isotope 223Np and the absence of the Z = 92 subshell closure near N = 126, *Phys. Lett. B*, 2017, 771, 303.

**基金项目:** 国家重点研发计划项目(NO. 2018YFA0404402)、中国科学院 B 类先导科技专项培育项目(NO. XDPB09)、国家自然科学基金项目(NO. 11475226, 11661131003, U1732270等)

## 近垒奇特核反应研究进展

杨磊、林承键、贾会明、杨峰、徐新星、马南茹、温培威、王东玺、

#### 钟福鹏、张焕乔

中国原子能科学研究院,北京 275 信箱 10 信箱, 102413 Email: yanglei@ciae.ac.cn

摘要: 近库仑势垒能区的奇特核反应机制是当前核物理领域研究的热点问题。而其中,光学势性质是反应机制研究中的根本问题。但是由于受到放射性束流流强弱、品质差的限制,使我们很难利用放射性束的弹性散射抽取可靠的奇特核体系光学势参数。有鉴于此,本课题组原创性地提出了利用转移反应研究出射道奇特核体系光学势的方法。该方法能够利用高品质的稳定束的转移反应作为探针,抽取高精度的奇特核体系光学势。利用该方法,我们系统性地研究了中子晕核 <sup>6</sup>He 体系的光学势,并在 <sup>6</sup>He+<sup>209</sup>Bi 体系中首次得到了该晕核体系光学势随能量变化的完整图像,并发现基于因果律的色散关系并不适用于该晕核体系<sup>III</sup>。我们讨论了造成这种反常现象的可能的原因,但其深层次的物理原因还需要进一步的探索。

在光学势研究的基础上,本课题组对丰质子奇特核所诱导的反应机制进行了深入考察。为了能够高效率地对反应产物进行探测,本课题组分别针对 Z < 5 和 5 < Z < 10 的核区的反应体系设计了两套探测 器阵列: 硅望远镜阵列和基于电离室的望远镜阵列<sup>[2]</sup>。基于这两套阵列,本课题组分别在中国原子能科学研究院的 HI-13 串列加速器上、兰州近代物理研究所的 RIBLL1 终端上和日本东京大学原子核研究中 心的 CRIB 的终端上完成了 <sup>6,7</sup>Li+<sup>209</sup>Bi、<sup>7</sup>Be+<sup>208</sup>Pb、<sup>8</sup>B+<sup>120</sup>Sn、<sup>17</sup>F+<sup>58</sup>Ni 和 <sup>17</sup>F+<sup>208</sup>Pb 体系的实验测量。 这些实验结果将使我们深入理解丰质子奇特核体系的反应机制,弥补当前的空白,并为核反应理论的发 展提供关键的实验数据。

关键词: 奇特核 光学势 反应机制

- L. Yang *et al.*, Is the Dispersion Relation Applicable for Exotic Nuclear Systems? The Abnormal Threshold Anomaly in the <sup>6</sup>He + <sup>209</sup>Bi System, *Phys. Rev. Lett.* 2017, (119), 042503.
- [2] N. R. Ma *et al.*, MITA: A Multilayer Ionization-chamber Telescope Array for low-energy reactions with exotic nuclei, *Eur. Phys. J. A.* 2019, (55), 87.

**基金项目:**国家重点研发计划(2018YFA0404404),国家自然科学基金(11635015,U1867212,U1732145,11705285,11805280,11811530071),中国博士后科学基金(2017M621035),中核集团菁英项目(12YF18000201)和龙腾项目(15FA18000201)

## 强相互作用核物质相结构的格点量子色动力学研究

#### 丁亨通

#### 华中师范大学粒子物理研究所,教育部夸克与轻子重点实验室,武汉 430079 Email: <u>hengtong.ding@mail.ccnu.edu.cn</u>

研究强相互作用核物质在极端条件下新的物质形态的性质及相结构是当前高能核物理领域的重大 前沿课题之一。课题的难点涉及到了量子色动力学(QCD)长程、非微扰的物理,而格点量子色动力 学(Lattice QCD)是从第一性原理出发,可以系统地得到连续极限下 QCD 结果的、包含了强相互作用所 有微扰及非微扰性质的、适用于研究高温高密极端条件下强相互作用核物质性质及其相结构的重要的 理论方法。格点量子色动力学首先对验证量子色动力学本身作为一个描述强相互作用的理论有很重要 的价值,其次它能预言和发现量子色动力学在强耦合长程区域内新的物理现象。

通过格点量子色动力学研究,人们确认了从强子相到夸克胶子等离子体相是一个平滑过渡而不是一个真正意义上的相变。我们通过计算手征变量,得到了在零重子化学势能下手征平滑过渡的一个精确值,即为156.5(1.5) MeV【1】。我们亦得到了在小重子化学势能下手征平滑过渡的相变曲线的曲率。这对理解在实验上是否有能力探测到 QCD 临界点有着重要的理论指导意义。

强相互作用核物质的手征相变温度是量子色动力学理论一个基本的物理量。确定手征相变的温度 对理解量子色动力学理论本身有重要意义,同时也对当前国际重离子碰撞实验中寻找量子色动力学临 界点(QCD critical point)有着重要的理论指导作用——手征相变温度应该是 QCD 临界点温度的上限 值。我们亦将宣讲我们最近的结果——通过格点量子色动力学第一次确定了 2+1 味的 QCD 的手征相变 温度【2】。这个温度比手征平滑过渡温度要低 25 个 MeV。

关键词: 格点量子色动力学, 强相互作用, 核物质, 相结构

[1] A. Bazavov, H-T. Ding, P. Hegde et al., "Chiral crossover in QCD at zero and non-zero chemical potentials," Phys.Lett. B795 (2019) 15.

[2] H.-T. Ding, P. Hegde, O. Kaczmarek et al., "The chiral phase transition temperature in (2+1)-flavor QCD," Phys.Rev.Lett.
 123 (2019) 062002.

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 11535012, 11775096)

# (Pseudo)spin symmetry in the single-particle resonant states with Green's function method

<u> 钱龙</u>、孙亭亭、陈程 郑州大学物理学院,郑州 450002 Email: <u>phyqianl@163.com</u>

Abstract: Symmetries in the single-particle (s.p.) spectrum of atomic nuclei are of great importance on nuclear structure and have been extensively discussed in the literature [1,2]. The breaking of spin symmetry (SS) lays the foundation to explain the traditional magic numbers in nuclear physics, and the conservation of pseudospin symmetry (PSS) has been used to explain a number of phenomena in nuclear structures, including deformation, superdeformation, magnetic moment, identical rotational bands and so on.

In recent years, the study of s.p. resonant states has attracted great attentions due to the essential roles in the exotic nuclei with unusual N/Z ratios. In exotic nuclei, the neutron or the proton Fermi surface is very close to the continuum threshold and the valence nucleons can be easily scattered to the s.p.~resonant states in the continuum due to the pairing correlations and the couplings between the bound states and the continuum become very important.

In this work, taking the double-magic nucleus <sup>208</sup>Pb as an example, the spin symmetry and pseudospin symmetry in the single-particle resonant states are investigated as a function of the parameters for the nuclear potential in a Woods-Saxon type. The mean-field potential of a Woods-Saxon form can well reproduce the traditional magic numbers and is realistic enough to study the splittings of pseudospin partners. Here have four spin doublets 3d, 2g, 2h and 1j and three pseudospin doublets  $2\tilde{f}$ ,  $1\tilde{i}$  and  $1\tilde{j}$  are observed for the single-particle resonant states.

Keyword: Spin symmetry Pseudospin symmetry The single-particle resonant states Green's function method

References

[1] J. N. Ginocchio, Relativistic symmetries in nuclei and hadrons, Phys. Rep. 414, 165 (2005).

[2] H.-Z. Liang, J. Meng, and S.-G. Zhou, Hidden pseudospin and spin symmetries and their origins in atomic nuclei, Phys.
 Rep. 570, 1 (2015).

基金项目: 国家自然科学基金项目(NO. 11505157)

#### **B018**

## 南京明故宫遗址出土琉璃瓦制作工艺信息与原料来源的研究

#### 赵丹

#### 郑州大学物理学院, 郑州 450052

**摘要:**琉璃瓦是一种表面施铅釉,采用特殊工艺烧制的建筑材料。在宋代以来相当长的时间内,琉璃建 材代表着皇帝的权威,大量的琉璃建材被用在皇家的建筑上。近年来,随着我国对文化遗产保护力度的 加大,大批的古建筑得以修缮保护。

明故宫遗址是南京的重要的象征,是中国古代都城宫殿建筑的集大成者,是中世纪世界上最大的宫殿,被称为"世界第一宫殿"。然而,历经自然及人为损害,各处遗址、构筑物散落分布,大部分建筑以遭破坏,但是其整体格局基本尚在,且有部分遗迹有待进一步探察与发掘。

为了配合南京明故宫遗址建筑的复建工作,详细了解当时琉璃瓦胎釉的原料来源和施釉技术等, 2016年12月至2017年6月,南京市考古研究院联合北京联合大学、郑州大学等单位组成考古团队, 对南京明故宫皇城遗址西南片区进行考古发掘。

通过分析明故宫出土的琉璃瓦的物理性能、烧成温度、物相组成、化学组成、色度分析等研究,主 要得出以下结论: 1.明故宫琉璃瓦样品的胎体在吸水率、显气孔率、烧成温度、物相组成等方面具有差 异性,由多元统计分析结果显示,明故宫琉璃瓦胎体的化学组成具有明显的分散性,说明其工艺方面具 有差异。2.通过色度数值可以将红、黄等肉眼不易区别的釉色分辨出来。

探析明故宫琉璃瓦的制作工艺对了解明初琉璃瓦的烧制水平有着重要意义,并尝试对明故宫琉璃 瓦进行科技分析,以探讨其工艺及原料的来源等问题。

# Experimental studies on the isospin transport and the asymmetric nuclear equation of state in heavy ion collisions

Zhigang Xiao

Department of Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China

#### Abstract

Nuclear equation of state (EOS) describes the relationship among various macroscopic quantities of nuclear matter, like binding energy, pressure, temperature and neutron-to-proton ratio. It has been one of the major goals of the studies of heavy ion reactions based on modern accelerator facility. When the number of neutrons differs largely with that of protons in a nucleus or a nuclear system, the symmetry energy depending on density contributes largely to the EOS of the nuclear system. The nuclear symmetry energy influences not only the boundary of the nuclear chart, the thermodynamic properties and the collective motion of finite hot nuclei, but also the structural properties of neutron stars and the neutron star merger etc. We study the isospin transport in heavy ion to seek an experimental constraint of the density dependence of the symmetry energy.

In this talk, I will present some recent results of our researches.

1) From the angular dependence of the neutron richness of the produced light charged particles in heavy ion reactions near Fermi energies, an isospin dependent hierarchy of particle emission is observed, suggesting that the relaxation of isospin degree of freedom in heavy ion collisions may not be so fast as what we have learnt for experience. Comparison with transport model calculations allows us to constrain stringently the nuclear symmetry energy below saturation density. Despite of this progress, the quantitative assessment of the time scale of the isospin transport relies on other fine-designed technology like Hanbury Brown Twiss method. I will also introduce the progress on the experimental measurement of the small angle correlation of particle pairs with different N/Z.

2) The constraint of symmetry energy at high density is confronted with model dependent and observable dependent difficulties. Further experimental searches for stringent probes are required. For the studies of the nuclear EOS at supra-saturation density, an experiment based on HIRFL, further on HIAF, has been proposed. In this talk, the recent progress on the research and development of the CSR external-target experiment (CEE) will be introduced.

#### References

- [1] Y. Zhang et al., Physical Review C 95, 041602R. (2017)
- [2] R. S. Wang, Physical Review C 89, 064613 (2014).
- [3] L. Ou et al., Physical Review Letters, 115, 212501 (2015)
- [4] L. M. Lv et al., Science China: Phys. Mech. & Astro. 60, 012021 (2017)

## 重离子治疗癌症的应用基础及临床研究

#### 张红

中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000

#### Email: zhangh@impcas.ac.cn

摘要:恶性肿瘤(癌症)是严重威胁人类生命健康的常见病、多发病,而且其发病率和病死率仍在逐年 增高。放射治疗是恶性肿瘤的重要治疗手段之一,其中60-70%的患者均不同程度地接受了放射治疗。 但目前医疗单位使用的放射治疗主要采用γ射线、X射线和电子束等,这些常规射线与物质相互作用的 机制决定了其对机体表面的影响要强于对深层肿瘤所在部位的影响,因此在治疗时会对肿瘤周围正常 组织造成严重损伤。重离子束治癌是一种先进的放射治疗手段,由于具有优越的物理、生物和医疗三 大特性,可以保证对肿瘤杀伤最大,而对健康组织损伤小。

科研团队依托国家大科学研究装置-兰州重离子加速器研究装置,利用重离子独特的物理和生物特性, 开展了核物理与生物医学的交叉研究--重离子束治疗癌症关键科学技术问题研究。在国内率先完成了从 分子、细胞和动物整体层面对重离子治癌有效性和安全性的整体评价,并证实了重离子束治癌高效且不 易复发的机理,为开展肿瘤重离子临床治疗试验奠定了基础。在临床研究方面,完成了 213 例肿瘤患者 重离子临床治疗试验,特别是成功治疗了许多位于脑、肝、肺等重要脏器的恶性肿瘤,取得明显效果; 确定了恶性黑色素瘤、肉瘤等射线抗拒及常规方法治疗无效且易复发的难治性肿瘤为新的重离子治疗 适应症,并建立了 10-12 次的短疗程治疗法,为在临床推广应用中提高设备利用率、降低病人治疗成本 提供了依据。

关键词: 重离子治癌

基金项目:科技部重点基础研究发展计划(973)项目 (2010CB834200);国家自然科学基金重点项目 (10835011)等。

## 太赫兹驱动电子加速及相空间操控

#### 向导

#### 上海交通大学

摘要:

太赫兹的波长介于微波和可见光之间,利用太赫兹加速电子既可以获得比微波加速更 高的梯度,又解决了激光介质加速中面临的电子比激光波长长导致加速的电子能散较大的 问题。此外,当处于合适的相位时,电子也可以被太赫兹场压缩;当介质管中激励起偏转 模式时,电子也可以被太赫兹偏转,进而可测量电子束脉宽和相对于激光的时间抖动,类 似于太赫兹波段的偏转腔。本报告将讨论近期利用激光在铌酸锂晶体中产生的太赫兹对相 对论电子束进行加速、脉宽压缩和偏转等相空间操控的工作。

## 原子核的对称性及其破缺

## 刘玉鑫

#### 北京大学物理学院理论物理研究所

对称性是物理学的基本原理,她决定系统的动力学行为,与之相应,物理系统出现各种相。对称性破缺解除系统状态的简并,从而出现更丰富多彩的相。因此,相变过程即对称性破缺(或恢复)过程。作为量子多体束缚系统的原子核自然具有对称性,其破缺(或恢复)相应于原子核集体运动模式的演化(相变,亦称核形状相变)。该报告简要介绍描述原子核的对称性的基本原理以及描述原子核形状相变的方案和一些结果。

## x 波段高梯度加速结构研究

## 施嘉儒

## 清华大学工程物理系

摘要: X 波段高梯度加速结构可以工作在 100MV/m 的加速梯度,是下一代紧凑型加速器、包括紧凑型 对撞机和光源装置的关键技术。清华大学加速器实验室开展高梯度加速管研制以及带高阶模抑制的高 梯度加速结构的研究,其中研制的 T24-THU#1 获得了 110MV/m 的加速梯度,基于 choke-mode 结构抑 制高阶模的单腔测试结构达到了 130MV/m. 高梯度加速技术将用于清华大学汤姆逊散射平台,新研制 的两支 0.6m 长加速管将提供 80MV/m 的加速梯度并将电子束能量提升到 150MeV. 报告将汇报清华大 学加速器实验室 X 波段高梯度结构的研制和高功率测试平台的搭建及运行。

## 基于飞秒超强激光的台面粒子加速器及其应用

马燕云\*1,2,张国博1,杨晓虎1,葛哲屹1,田立朝1,姜静1,彭猛1,

赵子甲', 吕中良', 甘龙飞', 王尚武'

 1 国防科技大学文理学院 长沙 410073;
 2 上海交通大学 IFSA 协同创新中心 上海 200240 Email: <u>yanyunma@126.com</u>

摘要: 自从上世纪七十年代末期,美国物理学家提出激光等离子体粒子加速器(Laser plasma Accelerator)的概念以来,经过几十年的研究,激光粒子加速无论是在理论还是在实验方面都取得了巨大的进展。在理论上,发现了有质动力电子加速、激光尾波场电子加速、靶后鞘层离子加速、辐射压离子加速等多种激光粒子加速的物理机制和物理规律:在实验上,已经可以把电子在 20 厘米的加速距离内加速到 8GeV,可以把质子加速到接近 100MeV,此外还可以产生正电子、中子、X 射线等各种次级辐射。激光粒子加速器具有体积小、造价低、加速梯度大(比传统加速器高 3-4 个量级)、运行成本低、可以同时产生多种粒子和辐射等优点,在核聚变诊断、成像与无损检测等许多方面有巨大的应用价值。最近的实验显示激光粒子加速器可以产生与空间辐射环境接近的电子能谱,这极大地激发了人们研究利用激光粒子加速器来实现空间辐射环境模拟和抗辐射加固物兴趣。本文总结了激光粒子加速的特点和研究进展,分析了激光粒子加速器用于空间辐射环境地面模拟的可行性,为抗辐射加固地面模拟源的研究提供了新的思路。



图 1 超强激光与固体靶产生超高电荷量电子实验布局图

关键词: 激光等离子体相互作用 激光粒子加速 空间辐射环境模拟 参考文献:

 Yong Ma, Jiarui Zhao, Yifei Li, Dazhang Li, Liming Chen, Jianxun Liu, Stephen J. D. Dann, Yanyun Ma\*, et.al., Ultrahigh-charge electron beams from laser-irradiated solid surface, PNAS, 2018.115(27): 6980-6985.

基金项目:国家自然科学基金项目(No. 11475260)等

**B025** 

## Bright electron sources and beams for ultrafast science

Renkai Li Tsinghua University

High brightness electron beams with femtosecond-level pulse durations and picometer-scale wavelengths are extremely powerful tools for scientific discoveries, by visualizing atomic motions on fundamental time and length scales in quantum materials, chemistry, biology, material sciences, and high energy density physics, etc. The new capabilities of these ultrafast electron scattering instruments are enabled by advances in the generation, control, and characterization of bright electron beams. In this talk, we will discuss some of the relevant developments of electron sources and manipulations of bright electron beams in both space and time. Highlights of select scientific achievements using ultrafast electron scattering and future opportunities and challenges will also be discussed.

#### **B026**

## 超短电子束脉冲序列及其相干太赫兹辐射

颜立新 yanlx@mail.tsinghua.edu.cn 清华大学加速器实验室

1~10THz 可调相干太赫兹辐射在基础科学及应用研究中有非常重要的应 用前景,但由于传统电子学和光子学方法均难以在此频谱范围产生可调高功 率辐射而被称为"THz Gap"。由亚皮秒间隔微束团组成的高峰值流强电子束脉 冲序列,因其可在子脉冲重复频率及其谐波频率处产生高能谱强度的窄带相 干 THz 辐射,有可能为解决"THz Gap"提供基于紧凑加速结构的实现方案。 报告介绍的方法利用具有 THz 调制强度分布的激光在波荡器中调制电子束能 散包络,并用磁压缩器将该调制转换为电子束密度调制,从而实现一种新型的 1~10THz 范围连续可调高峰值流强电子束脉冲序列的产生方案,这种电子束可 进一步产生可调窄带高能谱强度 THz 辐射。本研究将可能实现 1~10THz 范围 聚束因子接近 0.4 的电子束脉冲序列,并通过多种辐射机制,有望获得 1~10THz 范围连续可调高能谱强度的窄带相干 THz 辐射,为解决"THz Gap"提供一种 基于紧凑加速结构的可行方案。

#### "伽马光子对撞机及其应用开拓"

### 伽玛光子对撞机项目组

#### 摘要:

粒子加速器和对撞机是二十世纪的一大发明。在过去几十年间,人们建造了数以万计的电子/质子/ 离子加速器和几十台对撞机,应用在科研,社会和日常生活中。但伽马光子对撞机与目前世界上已有或 曾有的这些加速器和对撞机不同,是一种新型的粒子对撞机。它是基于逆康普顿散射的原理(Inverse Compton Scattering),利用激光和电子的相互作用,产生高能量伽马光子,并进行对撞。兆伏能级(MeV) 的光子对撞机可在国际上首次开展实光子与实光子之间的散射,以及能量到物质的直接转化等实验研 充。千兆伏能级(GeV)的光子对撞机则可用于研究 η(b), η(c), τ(g-2),作为新型的 tau-charm 工厂, 或希格斯工厂(Higgs Factory)。这台对撞机同时还能提供多个实验平台,包括两个高强度伽马光源,两 个高频率高功率激光源,以及两个高亮度电子源。它们在高能物理,核物理,凝聚态物理,等离子体物 理,激光,材料科学,结构生物学,工程技术等领域有广泛的应用。这个报告将介绍伽马光子对撞机的 工作原理,基本设计,以及对各个技术系统的要求。同时也将介绍国际上对伽马光子对撞机的研究现状, 以及在中国建造世界上第一台伽马光子对撞机的可行性,包括技术基础,经济能力和国家需求等。

## 超短超强激光驱动的 GeV 重离子加速

## 王鹏杰、马文君

#### 北京大学物理学院, 核物理与核技术国家重点实验室, 北京 10087 Center for Relativistic Laser Science, Institute for Basic Science, Gwangju 61005, Korea Email: wenjun.ma@pku.edu.cn

摘要: 啁啾光脉冲放大技术<sup>[1]</sup>(CPA)提出以来,激光功率得到飞速的提升,这为激光驱动的粒子加速 器的产生创造了条件。超短超强激光驱动的离子加速与传统加速器相比具有加速梯度高(TV/m)、发射 度小等优点,重离子束流在惯性约束核聚变快点火、核天体物理、重离子治癌<sup>[2]</sup>、材料改性和微孔膜等 领域有重要的应用前景。在加速器领域,为了提高束流强度,一种方法就是多电荷态束流同时加速<sup>[3]</sup>, 而传统加速器做到这点有困难。而激光驱动的重离子束具有脉宽短、亮度高和电荷态丰富等优点,可同 时产生高瞬态流强的多电荷态重离子。目前激光驱动的质子最高能量接近 100MeV/u<sup>[4]</sup>,重离子的最高 能量仍在 MeV/u 量级,原因在于相比于质子和碳、氧等轻离子重离子的加速效率更低。

我们开展了基于 PW 激光的重离子加速实验, 靶材包括超薄的金靶、银、铜、铝靶以及对 应的碳纳米管泡沫与金属薄膜双层靶,采用靶后激光烧蚀的方法去除靶后表面的沾污层, 获得了大于 51 价、1.1GeV(~5.6MeV/u)的高能、多电荷态金离子束流。

关键词: 重离子加速 激光离子加速 新型加速器

- [1] Mourou G A et al. Optics in the relativistic regime[J]. Reviews of modern physics, 2006, 78(2): 309.
- [2] Kraft S D et al. Dose-dependent biological damage of tumour cells by laser-accelerated proton beams[J]. New Journal of Physics, 2010, 12(8): 085003.
- [3] Ostroumov P N et al. Multiple-charge beam dynamics in an ion linac[J]. Physical review special topics-accelerators and beams, 2000, 3(3): 030101.
- [4] Kim I J et al. Radiation pressure acceleration of protons to 93 MeV with circularly polarized petawatt laser pulses[J]. Physics of Plasmas, 2016, 23(7): 070701.

## 逆康普顿散射 X/γ射线源研究及应用

#### 杜应超,颜立新,黄文会,唐传祥

#### 清华大学

关键词:加速器、激光、逆康普顿(汤姆逊)散射、Χ/γ射线源

基于高亮度电子束和短脉冲强激光的逆康普顿(汤姆逊)散射 X/γ射线源能产生亮度高、能量联系可 调、偏振可控的准单能高品质 X/γ射线,在先进辐射成像、核医学、核结构研究、核材料分析和成像等 领域具有广泛的应用前景。近年来清华大学工物系致力于基于高亮度电子束与超短 TW 激光相互作用的 逆康普顿散射 X/γ射线源的研究,掌握了高亮度电子束产生及控制、100 飞秒精确同步等关键技术,成 功研制清华汤姆逊散射 X 射线源并开展应用研究,在此基础上正在进行能量达 5MeV 单能伽马射线源 的研究。在本报告中,将给出近年来清华大学在本领域研究所取得的进展以及后续研究计划。

#### 伽玛光核物理的一些研究进展

罗文<sup>1</sup>、朱志超<sup>1</sup>、蓝浩洋<sup>1</sup>、马志国<sup>1</sup>、武少栋<sup>1</sup>、龚伟婷<sup>1</sup>、孙向阳<sup>1</sup>、潘琬婷<sup>1</sup>、 颜卓鑫<sup>1</sup>、徐智怡<sup>2</sup>、卢海洋<sup>2</sup>、颜学庆<sup>2</sup>、范功涛<sup>3</sup>、Yi Xu<sup>4</sup>、Dimiter L. Balabanski<sup>4</sup>

1南华大学 核科学技术学院, 中国衡阳 421001

2北京大学 物理学院,中国北京 100871

3中国科学院上海高等研究院,中国上海,201800

<sup>4</sup>欧洲极端光设施-核物理部(ELI-NP),罗马尼亚,077125

#### Email: wenluo-ok@163.com

摘要:利用强激光驱动产生超亮、高能伽玛辐射是激光粒子加速应用领域的研究热点。当前,高能伽 玛辐射机制主要包括:激光康普顿散射以及激光加速电子一轫致辐射。与射频电子加速器驱动的传统 的轫致辐射源相比,这种高能伽玛辐射具有装置紧凑、点状源尺寸以及潜在的更高空间和时间分辨等 关键特征,可直接应用于辐射成像、核材料无损检测、光核截面测量和医学同位素产生等一系列重要 领域。本报告简要介绍近年来团队在激光辐射源研究方面的一些工作,重点介绍高能伽玛辐射在光核 物理研究领域的几个应用。

关键词: 激光辐射源; 光核反应; 核废物嬗变; 医用同位素产生; 核共振荧光

参考文献:

[1] H. Utsunomiya, T. Renstrøm, G. M. Tveten, S. Goriely, T. Ari-izumi, D. Filipescu, J. Kaur, Y.-W. Lui, W. Luo, S. Miyamoto, A. C. Larsen, S. Hilaire, S. Péru, and A. J. Koning.  $\gamma$ -ray strength function for thallium isotopes relevant to the <sup>205</sup>Pb-<sup>205</sup>Tl chronometry. *Physical Review C* 99 (2019) 024609

[2] H. Y. Lan, Y. Xu\*, W. Luo\*, D. L. Balabanski, S. Goriely, M. La Cognata, C. Matei, A. Anzalone, S. Chesnevskaya, G. L. Guardo, D. Lattuada, R. G. Pizzone, S. Romano, C. Spitaleri, A. Taffara, A. Tumino, and Z. C. Zhu. Determination of the photodisintegration reaction rates involving charged particles: Systematic calculations and proposed measurements based on the facility for Extreme Light Infrastructure–Nuclear Physics, *Physical Review C* 98 (2018) 054601

[3] X. L. Wang, Z. Y. Xu, W. Luo\*, H. Y. Lu\*, Z. C. Zhu, and X. Q. Yan. Transmutation prospect of long-lived nuclear waste induced by high-charge electron beam from laser plasma accelerator. *Physics of Plasmas* 24 (2017) 093105

[4] Wen Luo\*, Hao-yang Lan, Yi Xu, and Dimiter. L. Balabanski. Implementation of the n-body Monte-Carlo

event generator into the Geant4 toolkit for photonuclear studies. Nucl. Instr. and Meth. A 849 (2017) 49-54

[5] Wen Luo\*, Mariana Bobeica\*, Ioana Gheorghe, Dan Filipescu, Dana Niculae, Dimiter L. Balabanski. Estimates for production of radioisotopes of medical interest at Extreme Light Infrastructure – Nuclear Physics facility. *Applied Physics B* 122 (2016) 8

[6] W. Luo, T. P. Yu, M. Chen, Y. M. Song, Z. C. Zhu\*, Y. Y. Ma, and H. B. Zhuo. Generation of bright attosecond x-ray pulse trains via Thomson scattering from laser-plasma accelerators, *Optics Express* 22 (26) (2014) 32098-32106

[7] W. Luo, H.B. Zhuo, Y.Y. Ma\*, Y.M. Song\*, Z.C. Zhu, T.P. Yu, and M.Y. Yu. Attosecond Thomson-scattering x-ray source driven by laser-based electron acceleration, *Appl. Phys. Letts.* 103 (2013) 174103

[8] W. Luo, W. Xu\*, Q. Y. Pan, X. Z. Cai, J. G. Chen, Y. Z. Chen, G. T. Fan, G. W. Fan, W. Guo, Y. J. Li,
W. H. Liu, G. Q. Lin, Y. G. Ma, W. Q. Shen, X. C. Shi, B. J. Xu, J. Q. Xu, Y. Xu, H. O. Zhang, Z. Yan, L. F.
Yang, and M. H. Zhao. A laser-Compton scattering prototype experiment at 100MeV Linac of Shanghai Institute of Applied Physics, *Rev. of Sci. Instrum.* 81 (2010) 013304

[9] W. Luo, W. Xu\*, Q.Y. Pan, X.Z. Cai, Y.Z. Chen, G.T. Fan, G.W. Fan, Y.J. Li, W.H. Liu, G.Q. Lin, Y.G. Ma, W.Q. Shen, X.C. Shi, B.J. Xu, J.Q. Xu, Y. Xu, H.O. Zhang, Z. Yan, L.F. Yang, M.H. Zhao. X-ray generation from slanting laser-Compton scattering for future energy-tunable Shanghai Laser Electron Gamma Source, *Applied Physics B* 101 (2010) 761-771

基金项目: 国家自然科学基金项目(Nos. 11347028, 11405083, 11605084, 11675075).

## 中国散裂中子源中子性能的实验测量

# <u>王松林</u>、周斌、易天成、陈俊阳、沈飞、梅龙伟、胡志良、曾智蓉、 于全芝、梁天骄

中国科学院高能物理研究所东莞分部, 东莞 523803

Email: wangsl@ihep.ac.cn

摘要:中国散裂中子源(CSNS)是继英国散裂中子源 ISIS、美国散裂中子源 SNS 和日本散裂中子源 J-PARC 之后的世界上第四台高功率脉冲式散裂中子源,已建设一台 80MeV 负氢离子直线加速器、一台 1.6GeV 快循环同步加速器、一个靶站,以及三台供科学实验用的中子散射谱仪。CSNS 靶站有三个慢化器,分 别是退耦合水慢化器(DWM),退耦合窄化液氢慢化器(DPHM),耦合液氢慢化器(CHM)。靶站慢化 器输出的中子性能测量是一项非常必要而又重要的工作,靶站的验收工作需通过测量中子效率(中子通 量)来完成的:中子波长谱、中子效率和脉冲形状的测量可以为中子散射实验用户提供中子性能参数; 有了中子性能测量的实验数据,可以将这些数据与不同模拟软件所计算得到的中子性能信息进行比较 来验证理论计算的准确性,为将来的靶站设计做进一步的参考。为了测量 CSNS 不同慢化器输出中子的 性能参数,在 BL06、BL09 和 BL20 三条中子束线上建设了中子性能测量室。本文首先介绍了三个中子性 能测量室的参数;其次介绍了中子波长谱和中子效率的测量方法,即电流模式锂玻璃中子探测器飞行时 间方法(CTOF),同时也介绍三个测量室和 BL01 束线的中子波长谱和中子效率的测量结果。

## 等离子体加速器的超大规模粒子模拟研究

#### 安维明

#### 北京师范大学天文系, 北京 100875 Email: anweiming@bnu.edu.cn

摘要:一直以来,粒子加速器的发展一直受到人们的关注。一方面,在位于欧洲核子中心的大型强子对 撞机(LHC)上所进行的粒子对撞实验不断产生新的发现;在中国,人们也在积极讨论是否建造一个体 积更大(近100公里周长的环形加速器)、能量更高的正负电子对撞机。另一方面,作为加速器重要应 用的自由电子激光光源也在近些年取得巨大成功。不论是高能加速器,还是利用电子束在扭摆磁铁中产 生的相干辐射的自由电子激光装置,这些装置中用到的加速器都需要具备产生高能量高品质电子(或正 电子) 束团的能力。基于等离子体的尾场加速方法是加速器领域的一个前沿热点课题。这种方法所产生 的加速场可达到 10 GV/m 甚至更高(取决于等离子体的初始密度)。近些年,利用高能粒子束或者高功 率短脉冲激光驱动的等离子体尾波加速的验证实验取得了显著成果,结果连年发表在《自然》等顶级学 术杂志上。从这些已发表的论文中,我们可以看到,对这种新型加速方法的研究离不开大型计算机模拟 计算。作为一种用来自洽的模拟跟踪大量粒子在外场及自场作用下的运动轨迹的计算方法,Particle-In-Cell (PIC)方法是研究等离子体尾波加速的首选计算方法。这类模拟计算的计算量往往非常庞大,只有 超级计算机才能胜任这样的模拟计算任务。随着并行计算机计算能力的不断提升,使用并行化的 PIC 方 法研究等离子体尾波加速也在不断深入的进行。与此同时,基于 PIC 方法的各种新型算法也在不断涌 现。其目的都是在保证计算精度的条件下提高计算速度。基于准静态近似的 PIC 计算方法就是其中的一 种重要的算法,它的计算速度可比普通的 PIC 算法快 1000 倍 (提速的大小与所模拟的物理参数有关)。 在这个报告中,我们将主要介绍基于准静态近似的 PIC 计算方法以及它的近期发展成果。同时,我们还 将介绍利用这种计算方法所进行的关于束流发射度守恒、等离子体中离子运动所带来的束流发射度增 长以及束流横向不稳定性及抑制方法的相关研究成果。

关键词: 先进加速器原理, 等离子体尾波加速, 超大规模并行计算

## CEPC 等离子体注入器设计与研究进展

## <u>李大章</u>、王逗、孟才、束冠、张静茹、高杰、周诗宇、华剑飞、鲁巍 中国科学院高能物理研究所,北京 100049 Email: lidz@ihep.ac.cn

摘要:由高能所牵头提出的下一代环形正负电子对撞机(Circular Electron Positron Collider)已于 2018 年 11 月正式发布概念设计报告【1】。在 CDR 的 Baseline 设计方案中,一个较为严重的问题是增能环能 量跨度太大(10GeV-120GeV)所带来的磁铁低场问题。如果能在传统直线注入器后面加一段等离子体 加速器,将束流能量从 10GeV 提升至 45GeV 甚至更多,就可以大大改善这个问题。因此,我们于 2017 年起开始对 CEPC 等离子体注入器进行研究,目前已经形成了初步方案,并在逐渐优化中。在本次报告 中,我们将详细介绍 CEPC 等离子体注入器的提出背景,拟解决的问题,研究现状以及未来的研究重点 和规划。尤其是对应高变压比加速,级联加速,正电子加速等粒子束驱动的新加速原理中的难点热点问 题,给出我们的初步研究结果和解决方案。我们希望能依托 CEPC 这个千载难逢的研究平台,开展等离 子体注入器的关键技术研究,从模拟、实验两方面给出令人信服的 CEPC 等离子体注入器的可行性研究 结果。

关键词: CEPC 等离子体尾场加速 注入器

参考文献:

[1] arXiv: 1809.00285, IHEP-CEPC-DR-2018-01

## 尾波加速高强度自旋极化电子束

#### 温猛

## 湖北大学物理与电子科学学院,湖北省武汉市武昌区友谊大道 368 号,430062 Email: wenmeng@hubu.edu.cn

关键词: 激光尾波加速, 自旋, 极化电子束

粒子的内禀角动量的自治理论框架由由狄拉克方程描述的。狄拉克方程是薛定谔方程的相对论推 广形式,并且自然的引入了电子的自旋自由度。然而在加速器领域的应用中,量子力学理论描述的很多 细节是很难实现的,并且很多情况下是不必要的。从数学的角度考虑,经过验证的经典理论模型相对于 相对论量子力学理论是更有优势的[1],因为带电粒子自旋的经典理论模型在数值计算中更简单有效且 易于推广。用经典自旋模型,我们在等离子体模拟中引入自旋进动,由此研究激光等离子体中的集体自 旋效应[2]。

通过激光等离子体中的自旋进动,我们研究了预极化气体靶中激光尾波加速过程中的退极化现象, 并由此提出了产生高强度极化粒子束的机制。这种机制产生的粒子束可以是极化电子束[3]或极化离子 束[4]。相比与现在能够实现的极化电子束,激光驱动的极光电子束的束流强度可以提高四个量级。如图 1所示,该机制包括气体靶在圆偏振UV光中光解产生极化原子气体的过程,以及后续的红外激光驱动的 尾波加速。为了能够阐明该机制,我们还建立了激光光强依赖的电子束极化度的理论模型。该模型与等 离子体模拟的结果一致。通过理论模型选择合适的激光和气体靶参数,我们证明激光尾波加速的电子束 的退极化可控制在10%以内。同时,和目前最高水平相比,电子束的强度提高了四个量级[3]。



图 1. 预极化氟化氢分子(白色、绿色)气体靶中激光加速极化电子(红色)束机制图。箭头表示电子自旋方向。

参考文献:

- M. Wen, H. Bauke, and C. H. Keitel, "Identifying the Stern- Gerlach force of classical electron dynamics," *Sci. Rep.* 6, 31624 (2016).
- [2]. M. Wen, C. H. Keitel, and H. Bauke, "Spin-one-half particles in strong electromagnetic fields: Spin effects and radiation reaction," *Phys. Rev. A* 95, 042102 (2017).
- [3]. M. Wen, M. Tamburini, and C. H. Keitel, "Polarized Laser-WakeField-Accelerated Kiloampere Electron Beams," *Phys. Rev. Lett.* 122, 214801 (2019).
- [4]. M. Wen, et. al., in preparation.

## 基于激光尾波加速器 Betatron 辐射的高清晰度相衬成像研究

郭博',张晓辉',张杰',华剑飞',白植豪',鲁巍'

1清华大学大学工程物理系,北京,100084

#### 摘要:

基于激光等离子体加速器技术的桌面型同步辐射 X 射线源——Betatron 射线源拥有微米级 源尺寸,可提供超高的空间分辨率和良好的空间相干性,在高品质相衬成像领域拥有巨大的潜力。然而之前的相衬成像研究普遍使用了较高功率的驱动激光(60-200TW),而且由 Betatron 射线源较大抖动引起的成像质量下降效果明显,获得的成像分辨率差强人意(6-70 微米)。本研究结合了电离注入以及多发累积的方式,在 30-40TW 激光系统上获得了高度 稳定的 Betatron 射线源:单发源位置抖动约 2 微米 (r.m.s.),累积源空间指向和光子数抖动小于 5%、光谱抖动小于 10%、等效源尺寸约 5 微米。利用这种高度稳定的射线源,本研究首次获得了好于 5 微米空间分辨率的相衬成像结果,为基于高重频、低功率激光的 Betatron 射线源相关应用铺平了道路。

## 激光电子空泡中的正电子注入

徐智怡、肖朝凡、卢海洋

北京大学物理学院,北京 100871 Email: sgsdxzy@pku.edu.cn

摘要:高能正电子束对于等离子体研究,基础物理中的正负电子对产生研究,以及天体物理研究都有重 大意义。激光尾波场加速概念由 Tajima 和 Dawson 于 1979 年提出以来【1】,被成功地运用于电子加速。 在之前的激光加速正电子的理论研究中,正电子被作为试探粒子直接置于加速和聚焦相位中【2】,而没 有考虑注入问题。解决正电子注入等离子体尾波场的问题,是实现激光驱动正电子加速的重要一环。

课题组团队提出了在充满外界提供的均匀的低密度正电子的等离子体环境中,利用两束同轴传输 的高斯型激光和环形激光实现正电子注入的理论方案。这两束激光与尾波场可以将自由空间内的正电 子弹射进入尾波场中并捕获,以克服正电子散焦的困难,获得相对较高的注入率与正电子束流品质。同 时,提出了利用等离子体参数、激光参数与两束激光的相对延时控制注入过程的方法。



图 1 正电子的"弹射注入"示意图。图中蓝色/绿色界面:电子密度等位面;红色界面:正电子密 度等位面; x-y 平面:电子密度切面; x-z 平面: Ex 和激光场切面; y-z 平面:正电子和电子密度投 影;红色小球:一条正电子轨迹。 关键词:激光加速 空泡 正电子

参考文献

[1] Tajima, T. & Dawson, J. M. Laser Electron Accelerator. Phys. Rev. Lett. 43, 267 - 270 (1979).

[2] J. Vieira & J. T. Mendonça. Nonlinear Laser Driven Donut Wakefields for Positron and Electron Acceleration. Phys. Rev. Lett. 112, 215001 (2014).

基金项目:国家自然科学基金项目(NO. 11575011)

# 全光逆康普顿散射 X 射线源的产生及应用

## 马跃

#### 清华大学

**摘要:**激光等离子体加速近年来发展迅猛,可在桌面规模下产生高能、高品质、超短电子束流,有望应 用于紧凑型、高品质、能量可调(keV 到 MeV)超快射线的产生,对生物医学、核物理、材料科学等领 域具有非常重要的意义。报告基于全光逆康普顿散射 X 射线产生的基本原理,具体分析了电子束流和激 光参数对射线品质的影响,并利用 20TW 激光系统开展了稳定射线的产生、优化及参数诊断等研究,在 此基础上开展了高分辨成像演示。此外,针对全光逆康普顿射线的能量随散角分布特性提出了具有物质 分辨能力的双能 CT 成像方法,并设计了相应的图像扫描和算法重建,最终通过蒙卡模拟方法验证了该 方法的可行性。

## 用改进的 Polyakov-loop 拓展的夸克介子 (PQM) 模型

## 研究 Roberge-Weiss 相变

#### 张啟玥、张昭

华北电力大学数理学院,北京 102206 Email: <u>qiyuezhang@ncepu.edu.cn</u> zhaozhang@pku.org.cn

摘要:在研究量子色动力学(QCD)相变,特别是 Roberge-Weiss(RW)相变时,基于 Polyakov-loop 势的 Nambu-Jona-Lasnio 模型(PNJL)在夸克退禁闭相变线与 RW 相变线交叉点处并没有给出确定的相变结 果。在 Polyakov-loop 拓展的有效模型中,Polyakov-loop 势中胶子部分是纯规范下的胶子势,并没有包 含夸克对 Polyakov-loop 势的反馈作用。考虑夸克反馈作用,改进 Polyakov-loop 势后,选取对数形式的 Polyakov-loop 势,采用基于 Polyakov-loop 势的夸克介子(PQM)模型,研究 RW 相变。发现:夸克退禁 闭相变在 θ 等于 π/3 的奇数倍附近很小的区域内是一级相变,而不考虑夸克反馈作用时退禁闭相变在 θ 整个区域都是二级相变。另外,考虑夸克反馈作用后,退禁闭相变温度和 RW 相变的端点温度均有所降 低,大约降低 10%。因此夸克反馈作用对退禁闭相变和 RW 相变均有重要影响,特别是 θ 等于 π/3 的奇 数倍时二者在选取对数形式 Polyakov-loop 势时,RW 相变的端点处均为一级相变,选取其它形式的 Polyakov-loop 势时,会有什么结果仍在研究中。另外,考虑夸克反馈作用后,采用 PNJL 模型是否得到 相同的结论也是有趣的事情。



图 1 选取虚化学势 $\mu = i\theta T$ 时,基于 PQM 模型计算的  $\theta$ -T 平面相图。绿色虚线是传统的 PQM 模型(未 考虑夸克反馈作用)模拟的退禁闭相变线,蓝色点虚线及红色实线是改进的 PQM 模型(考虑夸克反馈 作用)模拟的退禁闭相变线。虚线和点虚线代表退禁闭相变是二级相变,红色实线代表退禁闭相变是一 级相变。黑色的实线表示的是 RW 相变线,且 RW 相变是一级相变。

关键词:夸克反馈作用 RW 相变

参考文献

- [1] H. Kouno *et al.*, The Roberge-Weiss phase transition and its endpoint, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 2009, 36, 115010.
- [2] L. M. Haas *et al.*, Improved Polyakov-loop potential for effective models from functional calculations, *Phys. Rev. D.* 2013, 87, 076004.
- [3] Xiu-Fei Li *et al.*, Roberge-Weiss transitions at different center symmetry breaking patterns in a Z<sub>3</sub>-QCD model, arXiv: 2018, 1812, 01373.

基金项目: 国家自然科学基金项目(NO. 11875127, NO. 11275069)

#### 墙报

B-P001

B-P002

## NNBI 中子出射强度分析

陈玉庆<sup>1</sup>, 胡纯栋<sup>1\*</sup>, 吴斌<sup>1</sup>, 许永建<sup>1</sup>, 李梦婷<sup>1</sup> (中国科学等离子体物理研究所, 安徽省, 合肥市, 230031)

**摘要:**为了保障 NNBI 实验人员的安全运行和维护人员的安全维护,需对 NNBI 充氘运行时的中子辐射进行研究,并与国家制定的辐射防护标准进行比较,从而为屏蔽设计提供指导。方法:由于 NNBI 几何结构和物理过程比较复杂,拟采用二维 RZ 模型,利用 LMM 局域模型和 MCNP 程序,对 NNBI 关键位置的中子源强度进行分析。结论:LMM 模拟结果表明:NNBI 充氘运行时,离子吞食器和功率测量靶为主要的中子源区。对于氘氘反应,中子能量集中在在 2-2.5MeV。当 NNBI 离子 源引出氘离子的能量为 400keV,脉冲大于 100s 时,功率测量靶和离子吞食器上的总中子出射强度约为 1E12n/A/s。随氘离子入射深度增加,氘离子能量和反应截面迅速降低,中子产额趋于平稳。

关键词: NNBI; LMM 模型; 中子出射强度

# 硅光电倍增管的光子探测效率和光学串话概率的二维空间分布特性

#### 刘丽娜1, 张国青2\*

1 西安理工大学,理学院,陕西西安,邮编 710048

2西安工程大学,理学院,陕西西安,邮编 710048

#### Email: zhangg\_356@163.com

摘要: 硅光电倍增管(silicon photomultiplier, SiPM)在核物理、核医学等弱光探测领域逐渐受到重视。 研制具有高光子探测效率(Photon detection efficiency, PDE)、低光学串话概率、低暗计数率、低后脉冲 概率的硅光电倍增管成为研究者追求的目标。目前研究者主要从提高量子效率、几何填充因子,提高 SiPM 雪崩单元的盖革触发效率三个方面着手来提高 SiPM 的 PDE,通过在雪崩单元之间增加隔离槽, 增加反向掩埋结,利用短少子寿命的衬底等方法来降低 SiPM 的光学串话概率。然而 SiPM 雪崩单元的 PDE、光学串话等参数的空间分布均匀性对 SiPM 整体性能的影响鲜有报道。本课题组对 SiPM 雪崩单 元 PDE、光学串话概率的空间分布均匀性对 SiPM 整体性能的影响鲜有报道。本课题组对 SiPM 雪崩单 元 PDE、光学串话概率的空间分布特性进行了研究。图 1 为测量得到的一种典型 SiPM 的光子探测效率 和光学串话概率的二维空间分布图,从图 1(a)可以明显看出,雪崩单元之间 PDE 分布基本一致,但单 个单元内部的 PDE 具有一定的不均匀性,并且呈现出明显的不规则形状,说明 SiPM 表面的淬灭电阻、 金属电极等结构阻挡了光子到达器件内部高场区。从图 1(b)可以看出光学串话概率在雪崩单元的边角区 域明显高于单元内部区域,这可能是由于雪崩单元边角区域的耗尽区电场高于单元内部区域造成的。电 场空间分布不均匀会使 SiPM 整体的 PDE、光学串话概率、暗计数率等性能变差,因此,在进行 SiPM 的设计制作时,应注意保证雪崩单元内部的电场尽量均匀。





图 1 一种典型硅光电倍增管的光子探测效率和光学串话概率的二维空间分布图 关键词: 硅光电倍增管 多像素光子计数器 空间分布均匀性 光子探测效率 光学串话概率 **基金项目:** 国家自然科学基金项目(N0. 11975176)

# "类汝瓷"釉的多元统计分析研究

#### 吴博

### 郑州大学

**摘 要:**本次实验选取 30 个清凉寺窑"类汝瓷"釉样品,其中"草绿"釉10 个、"天青"釉10 个、"卵青"釉10 个。 基于紫外光分光光度计、扫描电子显微镜(SEM)和 X 射线荧光光谱分析(XRF)测量研究每个釉样品表面的主波长范 围、微观结构以及釉料配方中元素的化学组分,并采用多元统计分析(SPSS)中的散布分析、因子分析以及模糊聚类分 析方法处理 XRF 数据。首次确定"类汝瓷"釉料配方并得出结论:不同釉色"类汝瓷"的釉料配方相近,但不完全相同。 关键词:类汝瓷;釉色;微观结构; XRF; SPSS

#### Exact single-particle resonant states by Green's function method

<u>C. Chen</u><sup>1</sup>, L. Qian<sup>1</sup>, T. -T. Sun<sup>1</sup>, Y. -X. Li<sup>1</sup>, Z. -P. Li<sup>2</sup>

<sup>1</sup>郑州大学物理学院,郑州 450002 <sup>2</sup>西南大学物理科学与技术学院,重庆 400715 Email: <u>13783765376@163.com</u>

Abstract: In recent years, the exploration of the single-particle resonant states has attracted more and more attentions due to its great importance in the study of exotic nuclei far from the  $\beta$  stability line, in which many new and exotic phenomena such as halos, changes of nuclear magic numbers, and pygmy resonances have been observed or predicted. The neutron or the proton Fermi surface in those nuclei is very close to zero energy and the valence nucleons can be easily scattered to the continuum and occupy the single-particle resonant states.

The Green's function (GF) method is an efficient tool for studying the single-particle resonant states. Since it can treat the continuum exactly, we find the great advantages of the GF method: treating the discrete bound states and the continuum on the same footing, providing both the energies and widths for the resonant states directly, and having the correct asymptotic behaviors for the wave functions, etc.

In our previous works, the single-particle resonances are found out by comparing the density of states for nucleons and those for free particles obtained with zero potentials in the continuum. The energy and width are defined as the positions and the FWHM of resonant peaks, which are the differences between the density of states for nucleons in the mean-field potential and free particles. In this way, energies and widths can be obtained easily for narrow resonances with high accuracy. However, for the wide resonances, the energies and widths are hard to fixed due to the irregular shapes. In this work, to solve the problem in our previous work, we give another way to study the single-particle resonances by the GF method which can give exact energies and widths for both narrow and wide resonances.

Keyword: Exotic nuclei; The single-particle resonant states; The Green's function method References

[1] J. Meng and P. Ring, Relativistic Hartree-Bogoliubov Description of the Neutron Halo in <sup>11</sup>Li, Phys. Rev. Lett. 1996, 77, 3963.

【2】 Ozawa, A. and Kobayashi, T. and Suzuki, T. and Yoshida, K. and Tanihata, I, New Magic Number, N=16, near the Neutron Drip Line. Phys. Rev. Lett. 2000, 84(24), 5493.

[3] Jia Jie Li and Jérôme Margueron and Wen Hui Long and Nguyen Van Giai, Magicity of neutron-rich nuclei within

relativistic self-consistent approaches, Phys. Lett. B. 2016, 753, 97.

**(**4**)** Ren, S.-H. and Sun, T.-T. and Zhang, W, Green's function relativistic mean field theory for Λ hypernuclei, Phys. Rev. C, 2017, 95, 054318.

基金项目:国家自然科学基金项目(NO.11505157)

#### B-P006

专题代号: B

## 新型载锂液闪的制备及研究

#### 谷俊丽 黄世明

#### 同济大学物理科学与工程学院,上海 200092 Email: 1730972@tongji.edu.cn

摘要:液体闪烁体因具有光产额高、透过性好、制作简便、易于加工成各种尺寸、各种形状等优点, 在中子探测中得到了广泛的应用。但在 En≤1MeV 能区,特别是热中子(0.005<sup>°</sup>0.5eV),未掺杂液体闪 烁探测器中子灵敏度会随着中子能量的降低而较快的降低,这个特点决定了液体闪烁探测器对低能中 子探测效率较低。为了增加粒子反应截面,提高对低能中子的探测效率,通常采用在液体闪烁体中加 入与中子反应截面较大的核素,利用核反应产生的次级带电粒子在闪烁体中致光来实现。核素<sup>°</sup>Li 具 有与中子核反应无阈值、反应截面随着中子能量的降低而升高、反应能高、产生的次级带电粒子能量 大、原子序数低、致光能力较强等优点,是中子探测用核素的最佳选择。从目前的研究现状来看,载 <sup>°</sup>Li 液体闪烁体的<sup>°</sup>Li 掺入量太小,若增大<sup>°</sup>Li 掺入量,则闪烁体透明度降低,导致光输出降低,这严 重制约了其在中子探测中的应用。因此,研制一种中子探测效率较高的载<sup>°</sup>Li 闪烁体成为近年来国内 外科研工作者的一个研究重点。结合宽能区、高探测效率和快响应闪烁中子探测器发展的国家战略需 求,协同纳米技术和液闪的优点,开展透明载<sup>°</sup>Li 液体闪烁中子探测材料的可控制备与性能研究,具 有重要的理论价值和发展空间。

关键词:纳米颗粒,液体闪烁体,中子探测 参考文献

- [1] S.J.Haselschwardt, S.Shaw, H.N.Nelson et al, A liquid scintillation detector for radioassay of gadolinium-loaded liquid scintillator for the LZ Outer Detector, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2019,937(1), 148-163.
- [2] V. P. Chuan, D. N.Hoa, X.N. Hai et al, Manufacture of a fast neutron detector using EJ-301 Liquid scintillator, Science And Technology Development Journal-Natural Sciences, 2018,2(2),76-81.

基金项目:国家自然科学基金项目(11475127)