

CSNS白光中子束线探测器系统综述



On behalf of the Back-n





- CSNS白光中子束线简介
- 现有探测器架构
- 未来规划

The CERN accelerator complex Complexe des accélérateurs du CERN



CMS LHC 2010 (27 km) North Area ALICE LHCb TT20 114 TT40 TT42 SPS 1976 (7 km) TIS-AWAKE 112 ATLAS HiRadMat 2011 1166 TTOP AD ELENA ISOLDE 1999 (182 m) 2929 (31 m) 1992 BOOSTER REX/HIE TTIC 2001/2015 n_TOF East Area PS 1959 (628 mi CLEAR UNAC # 2620 LEIR UNAC 3 80% 005 (78 mi) e (electrons) H^{*} (hydrogen anions) > p (protocs) ions RIBs (Radioactive Ion Beams) n (neutrons) p (antiprotons)

LHC - Large Hadron Collider // SPS - Super Proton Synchrotron // PS - Proton Synchrotron // AD - Antiproton Decelerator // CLEAR - CERN Linear Electron Accelerator for Research // AWAKE - Advanced WAKefield Experiment // ISOLDE - Isotope Separator OnLine // REX/HIE - Radioactive EXperiment/High Intensity and Energy ISOLDE // LEIR - Low Energy Ion Ring // LINAC - LINear ACcelerator // n_TOF - Neutrons Time Of Flight // HiRadMat - High-Radiation to Materials

中国物理学会高能物理分会第十一届全国会员代表大会暨 学术年会(大连2022年8月)

CERN beam extending applications







白光中子实验装置(Back-n)的位置





⁵⁶Fe (n, n'), ^{nat}Mo, ¹⁶O, ^{nat}Ru, ^{nat}Lu, ^{nat}Mo, ^{nat}Ti, ²⁰⁹Bi, ⁹⁰Zr, ⁵⁵Cr,

物理学会高能物理分会第十一届全国会员优表》H会望Th

学术年会(大连2022年8月)



反角中子终端3D布局图



Back-n束线剖面



Back-n不同准直器模式下的流强

Shutter (mm)	Coll#1 (mm)	Coll#2 (mm)	ES#1 spot (mm)	ES#1 flux (n/cm ² /s)	ES#2 spot (mm)	ES#2 flux (n/cm ² /s)
Ф3	Φ15	Φ40	Φ15	1.27E5	Φ20	4.58E4
Φ12	Ф15	Φ40	Ф20	2.20E6	Φ30	7.81E5
Φ50	Φ50	Φ58	Φ50	4.33E7	Φ60	1.36E7
78×62	76×76	90×90	75×50	5.98E7	90×90	2.18E7

*对应100kW束流功率下

中国物理学会高能物理分会第十一届全国会员代表大会暨 *Back-n white neutron facility for nuclear data measurements at CSN多术 码子 (以至 2022年8月子).

目前开展的物理实验及探测器

SNS

- (n, gamma) : GTAF-II、C6D6
- (n, f): 裂变室
- (n, lcp) : LPDA、SiC
- 中子照相: CMOS、Micromegas
- 其他: 多球谱仪、液闪、塑闪





目前开展的项目包括: 俘获截面测量(n,γ); 裂变截面及全截面测量 (n,f); 带电粒子测量(n,x); 非弹性散射测量(n,γ)等。





C6D6探测器及实验照片



裂变截面、全截面测量探测器及实验照片



带电粒子探测器及实验照片



9

Back-n 能谱和注量测量实验







8~14

6.86





6.84

CMOS相机方法

7.34

8.46



Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 957 (2020) 163407

中国物理学会高能物理分会第十一届全国会员代表大会暨 学术年会(大连 2022年8月)

11.28

12

2.20E+017

- 2.00E+017

1.80E+017

1 60E+017

1.40E+017 -0

1.20E+017

1.00E+017 2

8.00E+016

6.00E+016

4.00E+016

2.00E+016



-DUMP

LRDMP1

I-DUMP

Back-n的束流监测

CSNS 运行状态

LRBT

and have been a set on the second a second second

- 使用质子流强监测
- Li-Si 束流监测器

OTL

50

-

Power(kW) or a a a

E 20

W 15

10

5

0.37 08:35

Machine Mode:

Machine Status:

Beam Rep-Rate:

Beam Width(us):

Beam Power(kW):

13:00

15:00







GTAF-II探测器





GTAF-II 谱仪是由40 个探测器单元组成一个厚度为15 cm,内 半径为10 cm的BaF₂晶体球壳,共覆盖了95.2%的立体角。单 个探测器单元的能量分辨率为20% ± 2% (0.662 MeV),时间 分辨率为(677 ± 32) ps。



LPDA模块







LPDA分为两个模块,每个模块覆盖23.5-90度角度。 包含8套LPMWPC+Si+Csl探测器望远镜。整个探测 器共48路读出。

中国物理学会高能物理分会第十一届全国会员代表大会暨 学术年会(大连2022年8月)

ΔE-E粒子鉴别二维谱





经由MWPC+Si ΔE-E符合后的事件

经由Si+Csl ΔE-E符合后的事件

中国物理学会高能物理分会第十一届全国会员代表大会暨 学术年会(大连2022年8月)

中子共振照相技术





学术年会(大连 2022年8月)

CSNS二期工程及物理实验的升级需求

SNS

- CSNS I 100 kW 6年内升级至500 kW
 - 功率升级流强提高
 - 本底增强
- 大截面标准截面核素测量之后进入小截面
 - 小立体角探测器以不再适用
 - 4pi立体角探测器,高效率探测器
- 主要思路:
 - 在现有基础上使用新技术提高探测器水平
 - 将高能物理探测器运用到中子实验中
 - 摸索新的探测器方案

探测器升级方案

- (n, gamma) : GTAF-II、C6D6
- (n, f): 裂变室
- (n, lcp) : LPDA、SiC
- 中子照相: CMOS、Micromegas
- 其他: 多球谱仪、液闪、塑闪

• 高纯锗阵列(电子学)

• TPC

- TPC
- nMCP
- 抗辐照半导体(金刚石、SiC)





高纯锗电子学



GAEA谱仪结构及读出需求

谱仪结构: 5种、共180 路信号

- ・ 50个同轴HPGe探测器
- ・ 10个Clover HPGe探测器
- ・10个平面HPGe探测器
- ・ 20个LaBr₃(Ce)探测器



谱仪读出需求:高能量分辨、高时间分辨

- ・ HPGe探测器能量分辨率优于1.9 keV@1274.5 keV(FWHM)
- ・ LaBr₃(Ce)探测器能量分辨率优于3%@1332.5 keV(FWHM)
- ・ HPGe探测器时间分辨优于10 ns(FWHM)
- LaBr₃(Ce)探测器时间分辨在100 ps~300 ps(FWHM)

中科大快电子学实验室 合肥中科采象科技有限公司

读出电子学方案-PXIe机箱平台

读出方案: 波形数字化, 实时处理及触发, 高速数据传输

- ・ 单机箱支持128通道, 多机箱拓展以支持大规模通道
- ・ 8通道高精度采集卡: 125、500MSPS, 14bit
- 精密时钟同步卡: 全局时钟同步, 全局触发判选





high the second se

125M、500MSPS@14bit 8通道采集卡



读出电子学方案-mTCA机箱平台

读出方案: 波形数字化, 实时处理及触发, 高速数据传输

- · 单机箱支持240通道,支持多机箱拓展
- ・ 12通道高精度采集卡: 125、500MSPS, 14bit
- 精密时钟同步卡: 全局时钟同步, 全局触发判选





MicroTCA机箱

SNS



读出电子学性能评估

各项指标均满足需求:

- ・ HPGe能量分辨率: 1.85keV@1274.5keV (FWHM)
- ・ 电子学定时精度: 34.7 ps(FWHM)





电子学时间分辨率评估现场图



联合HPGe探测器测量²²Na能谱



PXIe平台读出电子学与探测器联调



mTCA平台读出电子学与探测器联调

中国物理学会高能物理分会第十一届全国会员代表大会暨 学术年会(大连2022年8月)



中子共振成像探测器

掺硼MCP探测器



项目受自然基金重点项目支持:

- 高能所总体负责项目实施
- 掺硼MCP探测器由北方夜视制作
- 电子学由科大快电子学实验室制作





SNS





作为容易共振成像的重元素,三个实验都有清晰效果

中国物理学会高能物理分会第十一届全国会员代表大会暨 学术年会(大连 2022年8月)

束斑与成像测试: keV共振核素Cu、Fe、Al等的成像



中国物理学会高能物理分会第十一届全国会员代表大会暨 学术年会(大连 2022年8月) SNS



多用途时间投影室



Event track display in x-y plane.

3D track display

Back-n多用途TPC

白光中子多用途TPC(MTPC)探 测器投入巨大,制作复杂,数据 分析工作繁琐需要多家单位联合 进行。合作组包括:

- 东莞研究部(物理设计、测试、 数据分析)
- 中科大(电子学、Micromegas エ艺)
- 实验中心(DAQ)
- 北大(物理设计)
- 中山大学(数据分析)
- 深圳大学(数据分析)
- 九院二所……

2020年1月进行了首次束流实验, 验证了探测器的工作状态和白光中 子束线实验的可行性。

安装在Back-n束线的TPC探测器



白光中子多用途TPC发展历程



2019					
探测器:使用屏栅电离室	2021				
探测器原有构架加入 Micromegas结构	电子学:研制了专用的分				
电子学:使用PandaX的基 于AGET电子学系统	立器件读出电子字 软件:BLUET框架建立	探测器:高低气压系统及 探测器优化设计			
软件:基于ROOT的简单 分析程序		电子学:基于服务器集群 结合在线显示功能的DAQ 系统			
		软件:具备基本功能的 BLUET框架建立			





- 基于AGET电子学死时间过长(2.2ms),基于TOF判断中子能量方法失效,在白光中子 束线上无法测量较高能量(keV以上)中子
- •新版电子学与中科大联合开发,基于分立器件大幅度提高计数率



学术年会(大连2022年8月)

hstamp

实验数据处理及在线DAQ架设



- BLUETv0.0→BLUETv2.0 具备了基本功能可以进行数据分析
- •数据量最高100MB/s,与实验中心DAQ组建立合作共同开发在线DAQ系统





抗辐照半导体

SiC探测器的初次尝试



data2 of neutron Energy 100 Detetcto signal 240 90 220 data2 887944 Entries 200 80 1.821e+07 Mean x Mean y 20.92 180 70 F Std Dev x 2.077e+07 160 Std Dev y 20.41 60 140 50 E 120 SiC测量⁶LiF靶0[°]角出射产物 100 40 80 30 60 20 α HAR ARE AN ADDRESS MONTH ON THE OF A DREAM O 40 10 management of the second second 20 a prinite the reput of a firmal darburnt of them 0 10⁶ 10⁷ 10⁸ 10⁸ 10-2 105 104 10 SiC探测器照片

2019年2月与大连理工大学合作,使用SiC探测器在束进行了6Li(n,α)反应产物测量实验,可以看到氚和α曲线。 SiC探测器辐照时间约100小时,合计中子注量10¹⁰以上,未发现明显的性能变化。

SiC探测器的应用

- ⁶³Ni(n, α)实验,2019年12月:
- 在白光LPDA谱仪内,中子束流轰击高富集的⁶³Ni同 位素靶(以及用来刻度的⁶LiF靶和做本底的⁶²Ni靶) 靶前后用支架固定4块碳化硅探测器。利用前后角 各两块探测器的分别测量前角和后角出射的α粒子。
- ¹⁷O(n*,* α)实验, 2020年6月:
- 靶包括¹⁷O靶(W¹⁷O₃),做本底的¹⁶O靶,和⁶LiF刻度靶。
 在前角区安装碳化硅探测器阵列(8块),后角区
 安装硅探测器阵列(8块)。





SNS

金刚石探测器测试结果





金刚石探测器

金刚石探测器中子响应测试

与大连理工大学合作对金刚石探测器在白光束线进 行了数次测试,分别针对以下一些研究方向:

- 高能中子能谱解谱
- 高能区^{nat}C(n,x)反应研究 ٠
- 在线(n,lcp)抗辐照探测器功能测试 ٠



结论及展望



- CSNS白光中子束线是国际上少有的高强度高能中子束线装置
- 主要物理目标: 核数据、核天体物理、核结构等
- •目前以核数据测量为主建立了一系列传统探测器:GTAF-II、LPDA、FIXM等
- 随着测量需求提高对探测器及电子学等进行升级: TPC、nMCP、抗辐照半导体、高性能电子学等
- •目前大部分升级工作进展顺利,会在几年内陆续投入正式使用。





Back-n合作组



反角白光源用户服务系统 (ihep.ac.cn): <u>https://backn.csns.ihep.ac.cn/</u>

中国物理学会高能物理分会第十一届全国会员代表大会暨 学术年会(大连2022年8月)