



·粒子束及加速器技术·

基于多反应通道的高产额激光中子源实验研究*

崔波¹, 张智猛¹, 戴曾海¹, 齐伟¹, 邓志刚¹, 黄华¹, 贺书凯¹, 王为武¹,
滕建¹, 张博¹, 刘红杰¹, 陈家斌¹, 肖云青¹, 吴笛²,
马文君², 洪伟¹, 粟敬钦¹, 周维民¹, 谷渝秋¹

(1. 中国工程物理研究院 激光聚变研究中心 等离子体物理重点实验室, 四川 绵阳 621900;
2. 北京大学 核物理与核技术国家重点实验室, 北京 100871)

摘要: 基于超短超强激光的短脉冲中子源是实现超快中子探测的理想中子源。如何提升中子产额是目前短脉冲激光中子源实现应用需求亟需解决的关键问题。提出基于靶背鞘场加速机制和束靶反应方案, 采用 LiD 复合组分靶作为中子转换体, 可以有效提升激光中子产额。与常规的 LiF 转换体相比, 除了 p-Li 和 d-Li 两个反应道之外, LiD 转换体可以多出 p-D 和 d-D 两个反应道, 因此可充分利用激光加速的质子和氘离子的多反应通道优势来提升中子产生概率。实验结果表明, 相比于 LiF 转换体, LiD 转换体可带来中子产额 2~3 倍的提升, 达到 5.2×10^8 n/sr 的最高中子产额, 并具备更好的前冲性。实验还区分了多反应通道的贡献, 证明中子产额提升主要来自于 p-D 反应。

关键词: 激光脉冲中子源; 中子产额; 中子转换体; 多反应通道

中图分类号: TL816.3; TL812.2

文献标志码: A doi: 10.11884/HPLPB202133.210330

Experimental study of high yield neutron source based on multi reaction channels

Cui Bo¹, Zhang Zhimeng¹, Dai Zenghai¹, Qi Wei¹, Deng Zhigang¹, Huang Hua¹, He Shukai¹,
Wang WeiWu¹, Teng Jian¹, Zhang Bo¹, Liu Hongjie¹, Chen Jiabin¹, Xiao Yunqing¹,
Wu Di², Ma Wenjun², Hong Wei¹, Su Jingqin¹, Zhou Weimin¹, Gu Yuqiu¹

(1. Science and Technology on Plasma Physics Laboratory, Research Center of Laser Fusion, CAEP, Mianyang 621900, China;
2. State Key Laboratory of Nuclear Physics and Technology, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: The short-pulse neutron source based on ultra-short and ultra-intense laser is an ideal neutron source for ultra-fast neutron detection. For many applications of the novel laser neutron source, the neutron yield now becomes a major limitation. It is proposed here that, based on the Target Normal Sheath Acceleration mechanism (TNSA) and the beam-target reaction scheme, the adoption of composite component target LiD as the neutron converter can be an effective path to enhance the neutron yield. Compared with the traditional LiF converter, which has two typical reaction channels p-Li and d-Li, the use of LiD converter has the advantages on introducing two more reactions channels, i.e., p-D and d-D. Therefore, more reaction channels are expected to be beneficial for increasing the neutron yield. It is experimentally demonstrated that by using LiD converter, an enhancement of 2–3 folds of neutron yield is achieved compared with the LiF converter. As a result, a neutron beam with the highest yield of 5.2×10^8 sr⁻¹ with a forward beamed distribution is well obtained. The contribution of multi reaction channels is also identified, indicating the enhancement of neutron yield mainly comes from the p-D reaction.

Key words: laser pulse neutron source; neutron yield; neutron converter; multi reaction channels

* 收稿日期: 2021-07-30; 修订日期: 2021-09-03

基金项目: 科学挑战专题项目(TZ2018005); 等离子体物理重点实验室基金项目(6142A04190101); 北京大学核物理与核技术国家重点实验室研究类开放课题(NPT2020KFY01)

联系方式: 崔波, cuibo@caep.cn。

通信作者: 谷渝秋, yqgu@caep.cn。

超短超强激光($>10^{19}$ W/cm²)与物质相互作用,可以在极短的时间尺度(皮 ps 量级)和极小的空间尺度(μm 量级),将带电离子加速到每核子几十 MeV 的水平^[1],成为一种获得短脉冲高能离子束新的加速方式。而加速产生的离子束(氖离子束或者质子束)通过束靶相互作用与转换体发生核反应,可以获得高强度的短脉冲中子源。与传统中子源相比,基于超短超强激光的新型中子源由于其脉冲短(几十~几百 ps)的特性,具有亮度高(脉冲强度 $>10^{18}$ cm⁻²·s⁻¹)^[2]和时间分辨极佳的优势;而且短脉冲激光中子源紧凑性好^[3],且具有一定的方向性和较好的空间分辨特性^[4-5],是实现超快中子探测的理想中子源,在物质的微观结构探索、材料军控核查^[6]、核数据的精确测量、激光快中子照相^[7]和中子共振测温^[8]等方面具有重要的应用前景。

但是目前激光中子源实验获得的中子产额与实际应用需求还有一定的差距。如何提升中子产额是短脉冲激光中子源研究亟需解决的关键问题。英国卢瑟福实验室的 K. L. Lancaster 等人^[9]利用超强激光($I>3\times 10^{19}$ W/cm²)分别与 Cu 和 CH 初级靶作用,基于靶背鞘场加速机制(TNSA)加速质子与次级 LiF 转换体作用,通过⁷Li(p, n)⁷Be 反应分别获得了 2×10^8 /sr 和 3×10^8 /sr 的中子产额。M. Roth 等^[4]使用靶破烧蚀加速(BOA)机制加速出能量超过 60 MeV 的氖离子,并利用 Be 靶为转换体通过 d-Be 削裂反应产生了 4.4×10^9 /sr 的中子,并在国际上首次开展了短脉冲激光中子照相演示。2018 年德国 Darmstadt 技术大学 A. Kleinschmidt 等人^[10]利用 PHELIX 激光装置的高对比度 ps 激光($I=2.0\times 10^{20}$ W/cm²,对比度 10^{-10})与亚 μm CD 靶作用,同样基于 BOA 机制加速氖离子与三明治结构的 Be 转换体作用,产生了前向 1.4×10^{10} /sr 的中子产额。虽然 BOA 机制在重离子加速、最大离子能量产生和转化效率方面存在一定的优势,但是它对激光器条件(功率密度、对比度)要求较高。针对目前国内的大能量皮秒激光装置,利用 TNSA 机制加速出高能离子并与次级中子转换体反应产生中子,即 pitcher-catcher 方案,依然是当前实现高产额短脉冲激光中子源的一种相对稳定方式。

1 实验实施方案

加速器上利用质子与轻核的聚变反应是产生中子的主要方式之一,如 p-⁷Li, p-⁹Be, p-¹¹B 都是经常利用的反应。在 TNSA 机制中,由于质子的荷质比最大,质子在鞘场中的加速最为有效^[11],数量也最多,因此利用质子与次级靶作用诱发核反应是产生短脉冲激光中子源的一种重要途径。与质子相比,氖离子与 D, T, ⁷Li, ⁹Be 等轻核元素反应产生中子的截面更大,如能实现氖离子的有效加速可以获得更高的中子产额。但是, TNSA 机制存在重离子难以被加速的缺点。为了克服这一困难,国外较多地使用加热法或靶背激光清洗法祛除靶背的含氢吸附层以提升氖离子的加速效率。但是,这些方法不可避免地会带来靶后等离子体膨胀,在抑制质子加速的同时,也会削弱加速鞘场,从而减少加速的总离子数量,不利于中子产额提升。考虑实际条件下的大能量皮秒激光与含氖靶作用,由于靶背含氢吸附层的存在,氖离子和质子可被同时加速出来。因此,如何有效地利用激光加速产生的质子和氖离子提升中子产额是本文研究重点考虑的问题。

当前激光中子源的一种常规方案是利用强激光与 CD 薄膜靶作用加速氖离子,与 LiF 中子转换体反应产生中子,其中涉及到中子产生的反应道主要有如下两个: $p+{}^7\text{Li}\rightarrow{}^7\text{Be}+n$ 和 $d+{}^7\text{Li}\rightarrow{}^8\text{Be}+n$ 。这种方案同时兼顾了激光加速出的质子和氖离子的核反应,因此可有效提升中子产额。在该方案的基础上,考虑优化转化体的材质选择,可引入更多的核反应通道,从而获得更高的中子产额。除了上述两个基本反应通道之外,质子和氖离子还存在两个重要的反应道可有效产生中子: $p+D\rightarrow 2p+n$ (阈值能量 3.3 MeV)和 $d+D\rightarrow{}^3\text{He}+n$ 。因此,针对大能量皮秒激光与 CD 靶作用加速的高能质子和氖离子,本文提出采用复合组分转化靶 LiD,利用多反应通道⁷Li(p, n)⁷Be, D(p, n)2p, D(d, n)³He 和⁷Li(d, n)⁸Be 来提升总的激光中子产额。与常规的 LiF 转换体相比, LiD 转换体多了 p-D 和 d-D 两个反应道,因此能够增加氖离子和质子轰击转换体的核反应事件数,有效提升中子产额。

实验在上海高功率激光联合实验室的神光 II 升级装置上开展。实验设置如图 1 所示,第九路大能量皮秒激光沿与靶面法线 45°方向入射到初级离子产生靶上。激光能量 300 J,脉宽 1 ps。初级离子产生靶(pitcher)为 10 μm 厚的 Cu 平面靶,其中靶背镀 2 μm 厚度的 CD 层(氟化聚乙烯薄膜^[12-13])。次级中子转化体靶(catcher)为 LiD 圆柱形固体,直径 5 mm,高度 10 mm,密度 0.75 g/cm³,其中 LiD 中的锂含量为自然丰度(⁶Li 和⁷Li 丰度分别为 7.4% 和 92.6%)。初级离子靶与次级中子转换体的距离为 2 mm。同时,为了研究不同转化体对中子产额及能谱的影响,实验中也使用 LiF 转换体作对比, LiF 转换体尺寸与 LiD 相同,密度为 2.6 g/cm³。为了准确获得不同能段的中子产额,实验首次使用钢活化和铜活化联合诊断,并与气泡中子探测器获得的中子产额进行比较。使用液体闪烁体探测器^[14]测量中子飞行时间谱,结合钢活化和铜活化测量的不同能段中子产额,通过解飞行时间谱获得中子能谱。为了获得激光加速的质子和氖离子能谱,在没有中子转化体的实验发次中,将汤姆逊离子谱仪(TPS)放置于靶背法线方向、

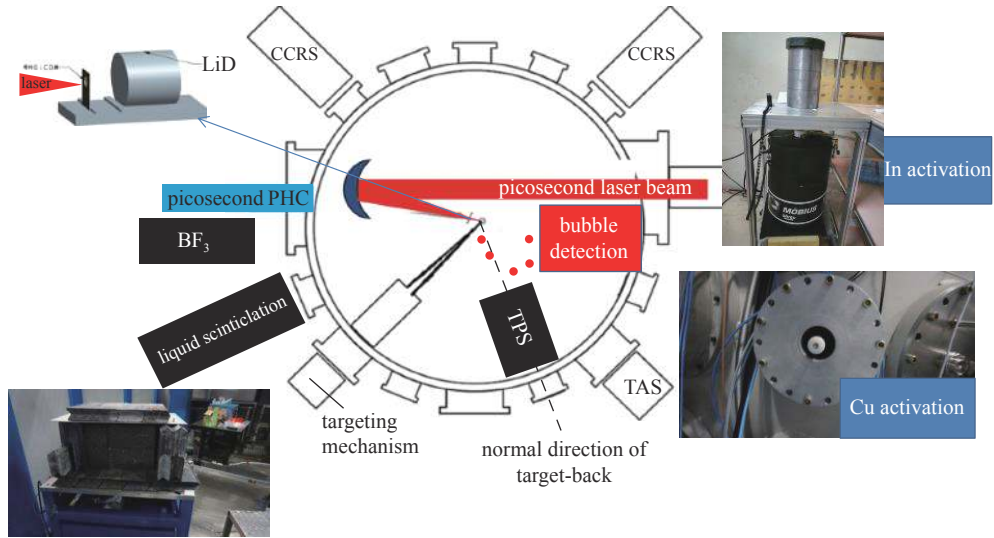


Fig. 1 Experimental setup
图 1 实验设置

距初级离子靶 43 cm 处进行测量。

2 实验结果及分析

2.1 质子和氦离子能谱

在没有中子转化体条件下,实验首先使用汤姆逊离子谱仪测量了大能量皮秒激光与 Cu 镀 CD 靶作用下加速的质子和氦离子能谱,结果如图 2 所示。可以看到,质子最高能量约 20 MeV,氦离子最高能量约 10 MeV;加速质子数量可达到 $10^{12}/\text{sr}$,相比于氦离子数量($10^{10}/\text{sr}$)高出 2 个量级。这些结果表明实验中的离子加速机制主要为 TNSA 加速,由于靶背含氢吸附层的存在,质子更为有效地被加速,但也存在相当一部份的氦离子加速。因此,中子转化体的选择需同时兼顾质子和氦离子的反应通道以提升中子产额。

2.2 中子产额测量

为了对中子产额进行准确测量,实验使用了多台套中子测量设备进行联合诊断,包括 BF_3 中子探测器,气泡中子探测器,钢活化和铜活化。 BF_3 中子探测器测量的中子产额范围为 $10^4/\text{sr} \sim 10^7/\text{sr}$,实验中 BF_3 探测器测量的中子信号严重饱和,因此可作为实验获得高中子产额($> 10^7/\text{sr}$)的直接证明。

气泡中子探测器是在固体凝胶中加入均匀的过热液滴制成,当探测器受到中子辐照之后,通过弹性碰撞产生反冲质子,反冲质子在固体凝胶中沉积能量将液滴气化肉眼可见的气泡^[15]。产生的气泡个数和中子通量成正比,因此根据气泡个数可直接得到中子产额。由于伽马射线在气泡探测器中产生的次级电子沉积的能量不足以气化液滴,因此气泡探测器对伽马射线不敏感。实验使用的 BD-PND 型气泡探测器对 0.2~15 MeV 中子近似平响应^[16]。实验时通过将气泡探测器置于真空承压管内,放置在靶室内距靶点不同位置和方向,对中子产额及其角分布进行测量。图 3

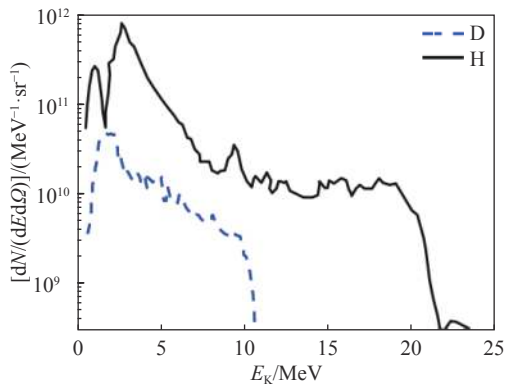


Fig. 2 Proton and deuteron spectra diagnosed by Thomson spectrometer

图 2 汤姆逊离子谱仪测量质子和氦离子能谱

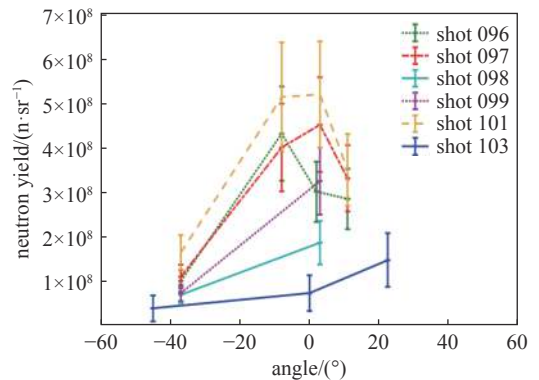


Fig. 3 Neutron yield and angle distribution measured by bubble detector

图 3 气泡探测器测量中子产额及角分布

为气泡中子探测器测量的不同转化靶下的中子角分布,可以看到基于束靶反应产生的中子都具有一定的前冲性,其最高中子产额主要集中在靶背法线附近。并且,相比于 LiF 转换体, LiD 转换体产生的中子产额不仅有明显提升,并且其中子发射也呈现出较强的各项异性,其前向半张角小于 1 sr。

表 1 给出了气泡探测器测量的不同转化靶下的最高中子产额(靶背法线附近)。当采用 LiF 作为转换体时,中子产额在 $(1.5\sim 1.9)\times 10^8/\text{sr}$ 附近。而采用 LiD 作为转换体后,中子产额普遍可提升到 $3\times 10^8/\text{sr}$ 以上,最高可达到 $5.2\times 10^8/\text{sr}$ 。这也表明通过额外引入 p-D 和 d-D 两个反应通道,确实可将中子产额有效提升 2~3 倍。为了更好地区分各个反应通道的贡献,实验还比较了 Cu+LiD 以及 Cu-CD+LiD 两种打靶方式下的中子产额。这两种方式的区别在于,后者多出了 d-Li 和 d-D 两个反应通道。实验结果发现这两种方式产生的中子数量相当,这也说明 p-D 对总的中子产额贡献最大,远超过 d-Li 和 d-D 两个反应通道。

表 1 气泡探测器测量的中子产额
Table 1 Neutron yield diagnosed by bubble detector

shot	target	neutron yield/ sr^{-1}
#96	Cu-CD+LiD	$(3.0\pm 0.7)\times 10^8$
#97	Cu-CD+LiD	$(4.5\pm 1.1)\times 10^8$
#98	Cu-CD+LiF	$(1.9\pm 0.5)\times 10^8$
#99	Cu+LiD	$(3.3\pm 0.7)\times 10^8$
#101	Cu-CD+LiD	$(5.2\pm 1.1)\times 10^8$
#103	Cu-CD+LiF	$(1.5\pm 0.6)\times 10^8$

如图 4 所示,质子能量(E_p)大于 4 MeV 以后 p-D 反应截面急剧上升并与 d-d 反应截面相当,当 $E_p > 7$ MeV 时, p-D 反应截面大于 d-d 反应截面。由于激光加速产生质子数量比氦离子数量高约 2 个量级,因此在含 Li 转换体靶中加入 D 组分可以有效提高质子与转换体作用产生中子的核反应概率。此外, $p+D\rightarrow 2p+n$ 反应产生中子的同时又产生两个质子,其会再与 Li 和 D 发生反应产生中子,这也带来了中子产额的显著提升。

激光束靶反应主要产生连续谱的快中子,能谱较宽,因此实验同时使用铟活化和铜活化以对不同能段的中子产额进行测量。铟活化和铜活化属于中子阈值活化探测器。图 5 为 ^{115}In 和 ^{63}Cu 的活化反应截面随中子能量的变化,由此可知铟(^{115}In)活化适合于测量 1~15 MeV 的中子产额,而铜(^{63}Cu)活化更适合于测量 11~20 MeV 的中子产额。

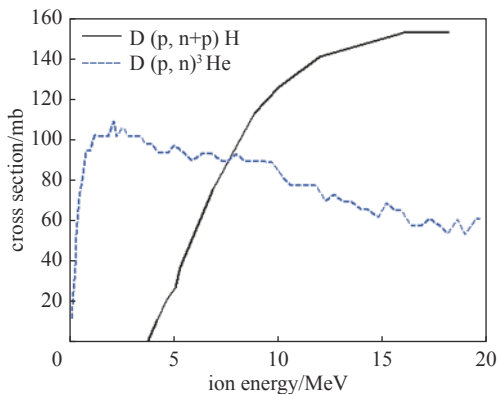


Fig. 4 Cross section of p-D and d-D

图 4 p-D 和 d-D 反应截面^[17]

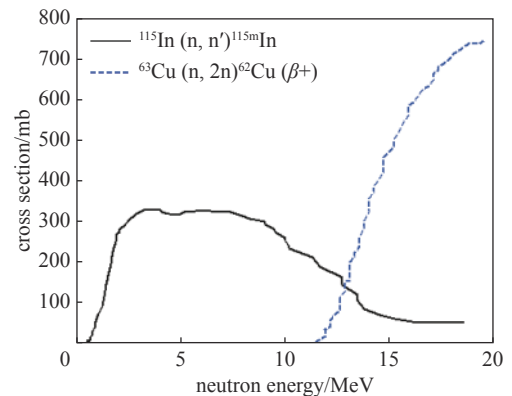


Fig. 5 Neutron activation cross section of In and Cu

图 5 铟和铜的中子活化反应截面^[17]

铟活化是根据铟(^{115}In)与中子的非弹性散射反应 $^{115}\text{In}+n\rightarrow ^{115\text{m}}\text{In}+n'$, 利用其产物 $^{115\text{m}}\text{In}$ 退激时产生的伽马辐射(0.336 MeV), 通过高纯锗探测器(HPGe)测量该能点的射线强度, 再根据标定的灵敏度得到中子产额。铜活化采用符合计数法得到中子产额。铟活化测量时需要使用液氮冷却高纯锗探测器, 同时将探头置于 2 cm 厚的铅筒中以屏蔽环境本底伽马。照射到铜活化片上的中子发生 $^{63}\text{Cu}(n, 2n)^{62}\text{Cu}$ 反应, ^{62}Cu 发生 β^+ 正电子衰变, 湮灭产生两个方向相反的 0.511 MeV 伽马光子, 利用 NaI 探测器测量符合光子计数和标定数据得到能量大于 11 MeV 的中子产额。由于中子活化产物铜(^{62}Cu)的半衰期较短, 实验时将铜片放置于真空转接筒中, 打靶结束后将铜片迅速取出利用 NaI 符合测量系统进行射线测量。

钢活化、铜活化中子产额测量结果如表 2 所示。#99 发初级靶为纯铜，只有质子产生，In 活化测得相对低能中子(0.7~15 MeV)较多，说明质子引起的核反应(p-d)对中子产额的贡献较大，这也与气泡探测器的测量结果一致。而此发铜活化测量的中子数最少，说明没有氦离子的参与使得高能中子(>11 MeV)产额急剧下降。事实上， ${}^7\text{Li}(d, xn)$ 为放热反应($Q=15\text{ MeV}$)，可以产生更高能量的中子。 $\text{D}(d, n)$ 和 ${}^7\text{Li}(p, n)$ 反应分别为低能放热反应($Q=3.3\text{ MeV}$)和吸热反应($Q=-1.6\text{ MeV}$)，不会产生特别高能的中子，因此后两个反应对 10 MeV 以上的中子产额贡献极小。如果要产生能量大于 15 MeV 的中子，通过 ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 反应需要的质子能量大于 17 MeV，而通过 $\text{D}(d, n){}^3\text{He}$ 反应所需氦离子的能量需大于 12 MeV^[18]。

表 2 钢活化、铜活化中子产额测量结果

Table 2 Neutron yield diagnosed by In activation and Cu activation

shot	target	In activation/sr ⁻¹	Cu activation/sr ⁻¹
#96	Cu-CD+LiD	1.2×10^8	9.6×10^7
#97	Cu-CD+LiD	1.4×10^8	2.8×10^7
#98	Cu-CD+LiF	3.7×10^7	7.5×10^6
#99	Cu+LiD	8.7×10^7	4.9×10^6
#101	Cu-CD+LiD	1.5×10^8	8.9×10^6
#103	Cu-CD+LiF	3.9×10^7	2.7×10^7

图 6 为气泡探测器和钢活化测量的中子产额对比。由于气泡探测器测量的中子位于靶背法线附近，而钢活化测量的中子来自于靶背法线成 67.5°方向，因此同发次的钢活化测量产额都要比气泡探测器低一些。不同发次中，钢活化测量的中子产额趋势与气泡探测器基本一致，即 LiD 的中子产额要显著高于 LiF 转换体的中子产额，能够提升 2~3 倍，这也证明了多反应通道提升中子产额的有效性。

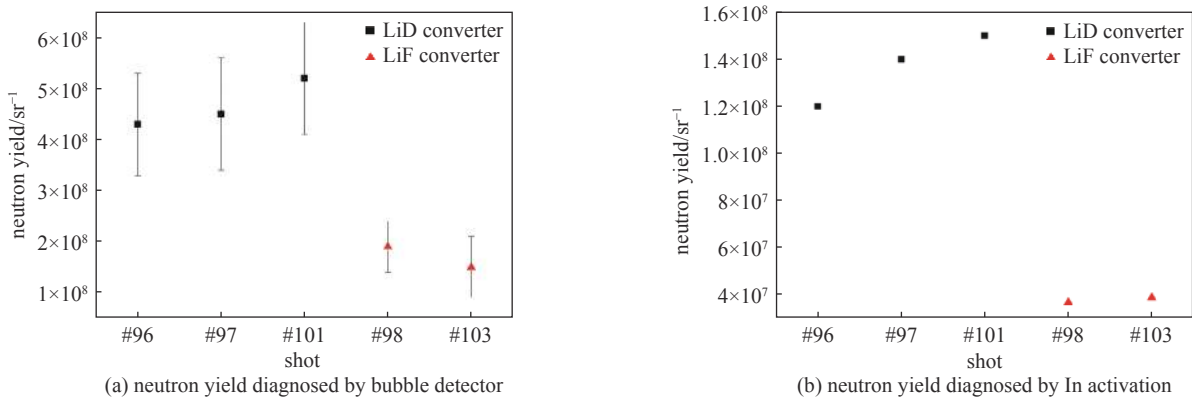


Fig. 6 Neutron yield diagnosed by bubble detector and In activation between different neutron converters

图 6 不同转换体中子产额气泡探测器和钢活化测量结果比较

2.3 中子能谱诊断

为了准确获得中子能谱，实验使用门控低余晖液体闪烁体探测器测量中子飞行时间谱。如图 7(a)所示，由于探测器正面使用两层铅砖(10 cm Pb)屏蔽伽马射线，以及使用门控过滤伽马，示波器记录的伽马射线信号幅度较低。门控开启之后伽马余晖较弱，出现明显的中子信号。中子的能量根据中子飞行时间得到。激光加速产生的离子为连续谱分布(如图 2 所示)，由此产生的中子能谱为白光中子能谱。

中子分布函数为

$$f(E) = \frac{A}{T} e^{-\frac{E}{T}} \quad (1)$$

纵坐标是幂指数，横坐标是线性坐标，积分产额 $N = -Ae^{-\frac{E}{T}}$ 。通过多步骤解谱获得类麦克斯韦分布的归一化指数分布能谱，再根据该发次钢活化(1~15 MeV 产额 $3.9\times 10^7/\text{sr}$)和铜活化测量结果(大于 11 MeV 产额 $2.7\times 10^7/\text{sr}$)对能谱进行修正，最终得到准确的源中子发射能谱，如图 7(b)所示。

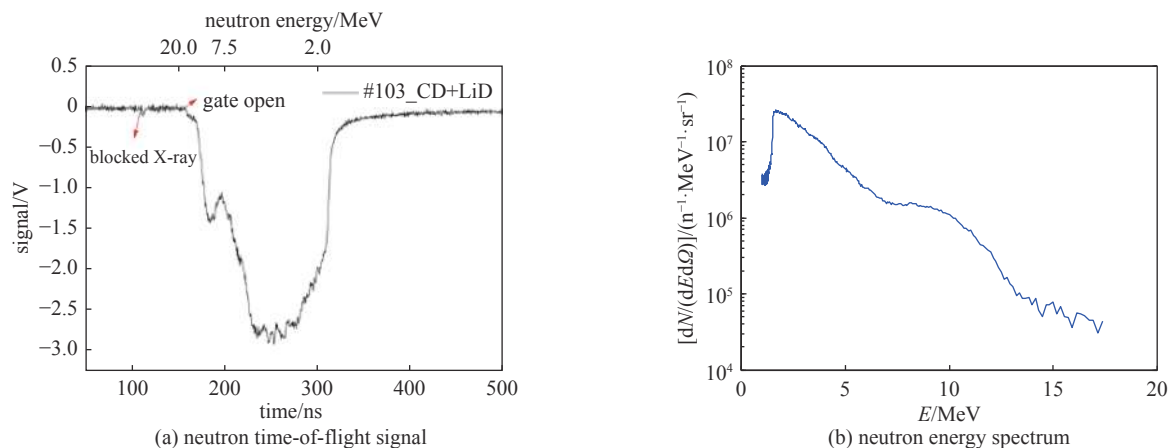


Fig. 7 Neutron signal measured by liquid scintillator detector

图7 液体闪烁体探测器测得的中子信号

3 结论

在神光 II 升级装置上利用第九路 ps 激光与 CD 薄膜靶作用加速质子和氦离子, 获得质子能量大于 20 MeV, 氦离子能量大于 10 MeV。基于 TNSA 机制和束靶反应方案, 本文首次使用复合组分中子转换体 LiD, 获得最高中子产额 $5.2 \times 10^8/\text{sr}$, 中子分布具有明显的前冲性。与常用的 LiF 转换体相比, 使用 LiD 转换体多了 p-D 和 d-D 两个反应道, 能更充分的利用质子和氦离子。实验结果表明, 使用复合转换体靶 LiD, 中子产额能提升 2~3 倍, 其中 p-D 对中子总产额贡献较大, d-Li 反应道对高能中子 ($> 11 \text{ MeV}$) 贡献较大。首次使用钢活化和铜活化联合诊断, 获得不同能段的准确中子产额, 通过解中子飞行时间谱得到准确的皮秒激光中子源能谱。

参考文献:

- [1] Snavely R A, Key M H, Hatchett S P, et al. Intense high-energy proton beams from petawatt-laser irradiation of solids[J]. *Physical Review Letters*, 2000, 85(14): 2945-2948.
- [2] Pomerantz I, McCary E, Meadows A R, et al. Ultrashort pulsed neutron source[J]. *Physical Review Letters*, 2014, 113: 184801.
- [3] Roth M, Jung D, Falk K, et al. Physics: a tabletop neutron source[J]. *Nature*, 2013, 494: 044802.
- [4] Jung D, Falk K, Guler N, et al. Characterization of a novel, short pulse laser-driven neutron source[J]. *Physics of Plasmas*, 2013, 20: 056706.
- [5] Favalli A, Aymond F, Bridgewater J S, et al. Nuclear material detection by one-short-pulse-laser-driven neutron source[C]//IEEE Nuclear Symposium. Seattle, 2015.
- [6] Guler N, Volegov P, Favalli A, et al. Neutron imaging with the short-pulse laser driven neutron source at the Trident laser facility[J]. *Journal of Applied Physics*, 2016, 120: 154901.
- [7] Fernandez J C, Barnes C W, Mocko M J, et al. Sensitivity analysis and requirements for temporally and spatially resolved thermometry using neutron resonance spectroscopy[R]. LA-UR-18-20686, 2018.
- [8] Lancaster K L, Karsch S, Habara H, et al. Characterization of ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ neutron yields from laser produced ion beams for fast neutron radiography[J]. *Physics of Plasmas*, 2004, 11(7): 3404-3408.
- [9] Kleinschmidt A, Bagnoud V, Deppert O, et al. Intense, directed neutron beams from a laser-driven neutron source at PHELIX[J]. *Physics of Plasmas*, 2018, 25: 053101.
- [10] 吴学志, 寿寅任, 弓正, 等. 激光离子加速研究与应用展望[J]. *强激光与粒子束*, 2020, 32: 092002. (Wu Xuezhi, Shou Yinren, Gong Zheng, et al. Laser-driven ion acceleration: development and potential applications[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2020, 32: 092002)
- [11] Zulick C, Dollar F, Chyvkov V, et al. Energetic neutron beams generated from femtosecond laser plasma interactions[J]. *Applied Physics Letters*, 2013, 102: 124101.
- [12] Willingale L, Petrov G M, Maksimchuk A, et al. Comparison of bulk and pitcher-catcher targets for laser-driven neutron production[J]. *Physics of Plasmas*, 2011, 18: 083106.
- [13] 崔波, 贺书凯, 刘红杰, 等. 液体闪烁体探测器测量皮秒激光脉冲中子源能谱[J]. *强激光与粒子束*, 2016, 28: 124005. (Cui Bo, He Shukai, Liu Hongjie, et al. Neutron spectrum measurement for picosecond laser pulse neutron source experiment with liquid scintillator detector[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2016, 28: 124005)
- [14] Olsher R H, McLean T D, Mallett M W, et al. High-energy response of passive dosimeters in use at LANL[J]. *Radiation Protection Dosimetry*, 2007, 126(1/4): 326-332.
- [15] Bubble Technology Industries Inc[EB/OL]. <http://bubbletech.ca/>.

- [16] <https://www-nds.iaea.org/exfor/servlet/>.
- [17] Petrov G M, Higginson D P, Davis J, et al. Generation of high-energy (>15 MeV) neutrons using short pulse high intensity lasers[J]. *Physics of Plasmas*, 2012, 19: 093106.
- [18] Cui Bo, Fang Zhiheng, Dai Zenghai, et al. Nuclear diagnosis of the fuel areal density for direct-drive deuterium fuel implosion at the Shenguang-II Upgrade laser facility[J]. *Laser and Particle Beams*, 2018, 36(4): 494-501.

第十三届全国激光科学技术青年学术交流会暨 首届激光青年论坛在上海举办

第十三届全国激光科学技术青年学术交流会暨首届激光青年论坛于9月10-13日在上海嘉定成功举办。会议由中国科学院青年创新促进会（简称青促会）和中国工程物理研究院（简称中物院）青年科协联合主办，中国科学院上海光学精密机械研究所（简称上海光机所）青促会小组承办，中物院激光聚变研究中心、中物院上海激光等离子体研究所的青年科协、中国激光杂志社、《强激光与粒子束》编辑部、国防科技工业光学超精密加工技术创新中心协办。

本次会议吸引了来自中科院、中物院、高校、企业共60余家单位的300余名青年科技人员现场参会。因为疫情防控要求，中物院激光聚变研究中心近50人以线上形式参与了本次会议。

开幕式上，会议三位共主席邵建达、景峰、李伟分别致欢迎词。邵建达在致辞中表示，青年学术交流会从最初的上海光机所与中物院激光聚变研究中心的双边交流，发展到现如今的综合性国内学术会议，实属不易。作为国内最早发展激光技术的上海光机所，尤其要发挥自身优势，加强与外界的合作交流，为国家科技自立自强贡献更大力量。景峰、李伟先后在致辞中对青年人传承历史，加强学术交流、积极思考，勇于创新予以肯定和鼓励。

施一在线上致辞中表示，本次交流会积极响应国家号召，以问题融合学科，促进学术交叉，是对学术交流活动的创新。这种方式通过需求牵引、问题导向，激发青年人才提升科研水平、引导青促会会员们贡献更多创新活力的经验，可以在青促会层面予以推广。今年是院青促会成立十周年，中科院将继续支持青促会持续发展，为青年学者提供更多发展和交流平台。



大会特邀报告包括黄桂学的“高能量密度科学与大科学与工程”、范滇元院士的“结构光场调控及应用”、朱健强的“大科学与工程研究的基本逻辑——科学与工程，工程与科学”、王文涛的“基于激光尾波场的高品质电子束和自由电子激光研究”。

大会设立了重大需求、科技前沿、经济社会发展与生命健康、交叉等四个分会场、29个专题、135个邀请报告，共有300余位青年学者就激光科学、技术及应用展开了激烈的交流和讨论，形成了《2021激光青年论坛科技难题清单》。

会议现场发布了中科院青促会上海光机所小组10周年10项重大进展，包括7项以会员为主要作者发表的原始创新成果和3项会员参与的研究所“十三五”重大突破成果。

本次会议作为中国科学院青促会十周年系列庆祝活动之一，参会代表积极利用“需求牵引、问题导向、学科交叉”的新形式学术交流机会，进一步增进了青促会会员之间、会员与兄弟单位青年科研人员之间的相互了解和凝聚力，促进了大家努力践行科技自立自强、支撑国家科技创新发展的时代使命感。

（上海光机所供稿）