

ST401 塑料闪烁体的脉冲中子相对光产额评估方法

姚志明 段宝军 宋硕周 严维鹏 马继明 韩长材 宋岩

A method of evaluating the relative light yield of ST401 irradiated by pulsed neutron

Yao Zhi-Ming Duan Bao-Jun Song Gu-Zhou Yan Wei-Peng Ma Ji-Ming Han Chang-Cai Song Yan

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 66, 062401 (2017) DOI: 10.7498/aps.66.062401

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.062401>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2017/V66/I6>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

一维纳米氧化锌自驱动紫外探测器的构建与性能研究

Fabrication and properties of self-powered ultraviolet detectors based on one-dimensional ZnO nano-materials

物理学报.2015, 64(17): 172901 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.172901>

实时离子探测器 -----塑料闪烁体性能的实验研究

Experimental studies of the characteristics of a real-time ion detector-plastic scintillator

物理学报.2012, 61(10): 105202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.61.105202>

ST-401 薄塑料闪烁体中子能量响应测量技术研究

The experimental investigation of the neutron energy response of the thin ST-401 scintillator

物理学报.2006, 55(5): 2165-2169 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.55.2165>

ST401 塑料闪烁体的脉冲中子相对光产额 评估方法*

姚志明[†] 段宝军 宋顾周 严维鹏 马继明 韩长材 宋岩

(西北核技术研究所, 强脉冲辐射环境模拟与效应国家重点实验室, 西安 710024)

(2016年10月24日收到; 2016年11月22日收到修改稿)

介绍了脉冲中子在ST401塑料闪烁体上的相对光产额评估方法. 采用Geant4蒙特卡罗软件模拟X射线和中子在闪烁体中的输运行为, 记录产生的全部带电粒子类型和能量, 由公式计算得到相对光产额. 给出了不同能量的单个中子和单个X射线入射到1 mm, 3 mm, 5 mm, 1 cm, 2 cm, 3 cm, 5 cm厚ST401的平均相对光产额. 在0.3 MeV脉冲X射线源和14 MeV脉冲中子源上开展验证实验, 采用相同的图像测量系统记录相对光产额, 给出了单个中子与X射线的平均相对光产额比值. 模拟结果与实验结果相对误差小于10%. 结果可以为宽能谱脉冲中子束图像测量系统的量程安排提供依据.

关键词: 脉冲射线测量, ST401 塑料闪烁体, 相对光产额, Geant4

PACS: 24.10.Lx, 29.40.-n, 29.40.Mc

DOI: 10.7498/aps.66.062401

1 引言

ST401塑料闪烁体^[1]是脉冲中子束图像测量系统^[2,3]中的重要组成部分, 其作用是将中子图像转换成荧光图像, 再由像增强器和电荷耦合器件(CCD)相机组成的光学记录系统进行拍摄. 由于脉冲中子产额是在一定范围内变化的, 需要对图像测量系统灵敏度进行预估, 依据塑料闪烁体的相对光产额, 调整像增强器和CCD相机的增益为合适的大小, 使CCD相机获得合适曝光量的图像. 文献^[4, 5]的工作中由于当时没有可用的脉冲中子面源, 采用脉冲X射线源进行标定, 并建立了14.85 MeV恒流中子与0.3 MeV脉冲X射线之间的相对光产额转换关系. 然而, 宽能谱脉冲中子束能谱范围约为0.01—16 MeV, 仅有14.85 MeV中子与X射线的相对光产额转换关系是不够的. 本文基于蒙特卡罗模拟建立了一种相对光产额评估方法, 给出了闪烁体对不同能量中子和0.3 MeV X射线之

间的相对光产额转换关系. 此外, 可用于图像测量系统标定的高产额脉冲中子面源已建成^[6], 尽管使用成本较高, 尚不能满足大量的系统标定需求, 然而通过少量实验采用图像测量系统直接标定脉冲中子与脉冲X射线的相对光产额转换关系已成为可能, 本文介绍了相关实验工作, 对给出的相对光产额评估方法进行了验证.

2 相对光产额评估方法

ST401塑料闪烁体由聚苯乙烯作基质, 加对联三苯作为闪烁物质, 主要由C, H两种元素组成. 中子入射到ST401上的反应机制包括: 1) 与H原子发生弹性散射产生质子(p); 2) 被C原子俘获释放 α , Be, B, C等带电粒子, 或者释放 γ 射线产生 e^- . 带电粒子沉积能量发光, 不同粒子的相对光产额与能量的关系由(1)—(6)式描述^[7]. X射线入射到ST401上发生光电效应、康普顿散射产生 e^- , 相对光产额由(6)式描述.

* 国家自然科学基金(批准号: 61171013)资助的课题.

[†] 通信作者. E-mail: yaozhiming@nint.ac.cn

$$L(E_p) = 0.83E_p - 2.82(1 - \exp(-0.25E_p^{0.93})), \quad (1)$$

$$L(E_\alpha) = 0.41E_\alpha - 5.9(1 - \exp(-0.065E_\alpha^{1.01})), \quad (2)$$

$$L(E_{Be}) = 0.0821E_{Be}, \quad (3)$$

$$L(E_B) = 0.0375E_B, \quad (4)$$

$$L(E_C) = 0.017E_C, \quad (5)$$

$$L(E_{e^-}) = E_{e^-}, \quad (6)$$

其中, $E_p, E_\alpha, E_{Be}, E_B, E_C, E_{e^-}$ 是各带电离子的能量, 单位为 MeV; $L(E_p), L(E_\alpha), L(E_{Be}), L(E_B), L(E_C), L(E_{e^-})$ 分别是各带电粒子在闪烁体中的相对光产额, 单位为 MeVee (electron energy equivalent), 含义是 1 MeV e^- 入射到 ST401 上能量全部沉积的发光总量计为 1 MeVee.

Geant4 软件^[8] 是高能物理协会开发的蒙特卡罗通用程序包, 涵盖了 γ 射线、 e^- 、中子 (n) 和 p 等多种粒子的物理过程. γ 射线与 X 射线的区别仅为产生机制不同, 它们在闪烁体中的光产额是一致的, 本文无需对两者进行区分. Geant4 软件中有光子输运模块, 光子产额的精确计算建立在已知沉积能量与光子产额的转换系数的基础上, 该转换系数是未知的. 因而本文通过模拟单个 X 射线或中子在 ST401 中的输运过程, 并记录产生的每个带电粒子的类型和能量 E_0 , 由公式计算得到相对光产额. 部分带电粒子的射程较长, 能量没有全部沉积在闪烁体内部, 以能量 E_1 逃出闪烁体. 由 E_0 计算得到的光产额 $L(E_0)$ 与 E_1 计算得到的光产额 $L(E_1)$ 相减为带电粒子在闪烁体中的相对光产额 L , 由 (7) 式描述:

$$L = \sum L(E_0) - \sum L(E_1), \quad (7)$$

其中 \sum 是对所有产生的次级带电粒子求和.

单个中子或 X 射线的输运行为具有随机性, 相对光产额也具有随机性, 需要模拟大量的粒子输运行为, 得到单个粒子相对光产额的平均值.

3 模拟计算

Geant4 软件采用模块化设计, 由不同模块分别实现探测器几何结构定义、粒子与物质作用过程描述、粒子产生和粒子信息记录. 模拟程序参数设置为: 1) DetectorConstruction 类中设置

ST401 塑料闪烁体的材料、几何尺寸和位置, C, H 原子个数比为 1 : 1.1, 密度为 1.05 g/cm³, 尺寸为 20 cm × 20 cm × h , 闪烁体厚度 h 取值为 1 mm, 3 mm, 5 mm, 1 cm, 2 cm, 3 cm, 5 cm, 闪烁体放在距离射线源 2 m 处, 射线源与闪烁体之间由空气填充; 2) 软件中有多种物理过程列表, 主函数调用了 QGSP_BIC_HP, 其中包括光电效应、康普顿散射等 X 射线与物质作用的全部物理过程, 对于能量低于 20 MeV 的中子, QGSP_BIC_HP 采用的是高精度中子弹性碰撞和非弹性碰撞模型, 与其他物理模型相比, 可以更精确地模拟中子输运过程; 3) PrimaryGeneratorAction 类中设置射线源参数, 粒子类型分别为 X 射线和中子, X 射线能量为 0.3 MeV 和 0.75 MeV, 中子能量如表 1 所列, 射线源为 2 cm × 2 cm 大小的面源, 沿着垂直于闪烁体的方向均匀发射, 每种射线能量下发射 10⁶ 个粒子; 4) SteppingAction 类中记录粒子信息, 如果粒子是闪烁体中新产生的带电粒子, 在 newpar 文件中记录粒子类型和能量, 如果带电粒子逃出闪烁体, 在 outpar 文件中记录粒子类型和能量.

由 (1)–(6) 式计算每个新产生带电粒子的相对光产额和每个逃出带电粒子的相对光产额, 代入 (7) 式, 可得 10⁶ 个粒子入射的总光产额, 进而得到单个粒子的平均相对光产额. 图 1 是 X 射线的计算结果. 5 mm 厚闪烁体具有较好的分辨率和较高的光产额, 在脉冲中子束图像测量中应用最为广泛, 表 1 列出了不同能量中子与 0.3 MeV X 射线在 5 mm 厚 ST401 中的相对光产额比值详细数据. 其他厚度闪烁体的相对光产额以曲线形式给出, 如图 3 所示.

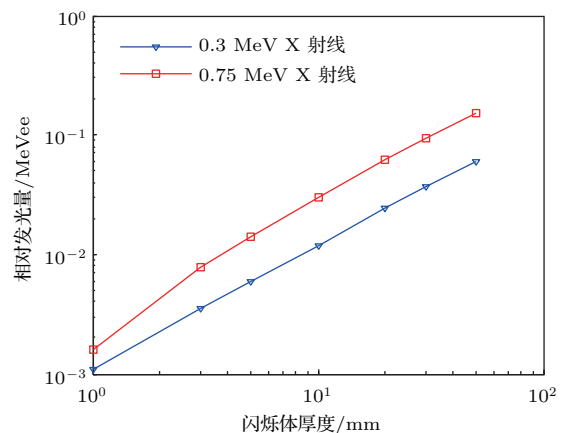


图 1 0.3 MeV 与 0.75 MeV X 射线相对光产额

Fig. 1. Light output of 0.3 MeV and 0.75 MeV X-ray.

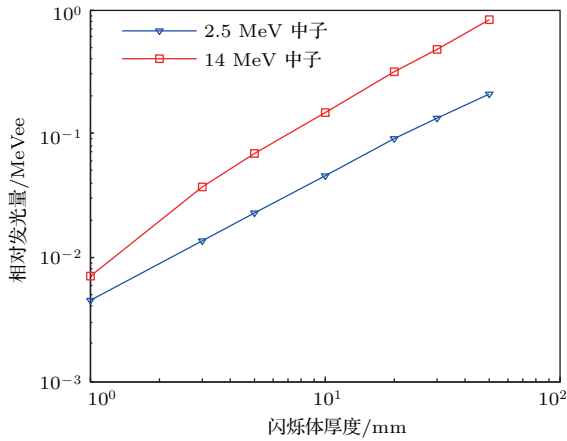


图2 2.5 MeV 与 14 MeV 中子相对光产额

Fig. 2. Light output of 2.5 MeV and 14 MeV neutron.

图1和图2表明X射线和中子的相对光产额随闪烁体厚度的增加近似为线性增加. 图3表明中子的相对光产额不随能量的增大而线性增加. 这是由中子的反应截面和带电粒子沉积能量过程共同作用的结果. 以1 mm闪烁体为例, 随着中子能量增大, 反应截面增大, 产生的带电粒子能量增大, 逃出闪烁体的带电粒子个数增多. 当中子能量小于8 MeV时, 反应截面和带电粒子能量的提高占主要作用, 相对光产额逐渐增大; 当中子能量高于8 MeV时, 逃出闪烁体的带电粒子数增多占主要作用, 相对光产额逐渐减小. 此外,

图3中低能端0.1 MeV和0.2 MeV中子的相对光产额出现跳变. 原因是(1)式中质子能量适用范围为 $E_p \geq 0.1$ MeV, $E_p < 0.1$ MeV的相对光产额计算公式未见报道, 而能量低于0.2 MeV的中子会产生大量 $E_p < 0.1$ MeV的质子, 造成计算结果失真, 0.01—0.2 MeV能量范围内的中子相对光产额评估仍是一项待解决的问题. 计算表明, 0.3 MeV以上能量的中子产生的 $E_p < 0.1$ MeV质子引入的相对光产额误差小于5%, 在脉冲中子束图像测量中能够满足精度要求.

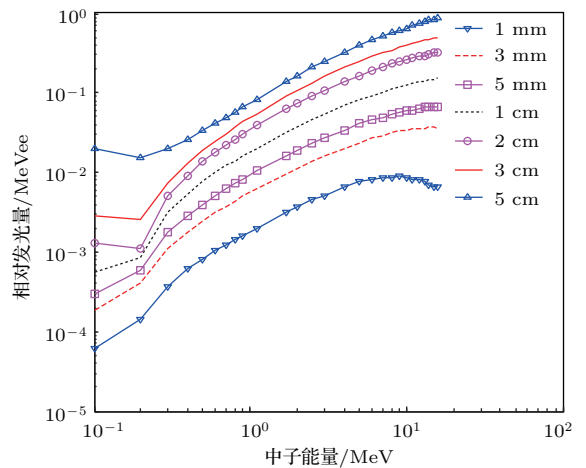


图3 中子相对光产额随能量的变化

Fig. 3. Light output of neutron vs. energy.

表1 中子与X射线在5 mm厚ST401中的相对光产额比值

Table 1. Ratio of neutron light output to X-ray in 5 mm thick ST401.

中子能量 /MeV	中子/0.3 MeV X射线相对光产额比值	中子能量 /MeV	中子/0.3 MeV X射线相对光产额比值	中子能量 /MeV	中子/0.3 MeV X射线相对光产额比值
0.1	0.0512	1.1	1.7687	8	9.0986
0.2	0.1002	1.7	2.7211	9	9.7959
0.3	0.2993	2.0	3.1803	10	10.3912
0.4	0.4966	2.5	3.9286	11	10.4422
0.5	0.6752	3.0	4.5748	12	10.9354
0.6	0.8707	4.0	5.8333	13	11.1565
0.7	1.0476	5.0	6.8878	14	11.5816
0.8	1.2211	6.0	7.6871	15	11.4286
0.9	1.4116	7.0	8.4524	16	11.4626

4 标定实验

4.1 脉冲X射线标定

脉冲X射线标定实验在西北核技术研究所“晨光号”加速器^[9]上进行. 脉冲X射线等效单能为

0.3 MeV, 焦斑尺寸约为1.2 mm, 距离源2 m处可以看作均匀面源, 采用热释光剂量探测器测量闪烁体处的辐照剂量. 实验布局如图4所示: 以激光经纬仪和射线源中心为基准建立基准光轴, 使闪烁体中心和反射镜中心与基准光轴重合. 脉冲中子面源的中子产额仍偏低, 且实验发次有限, 仅对1 cm以

上厚度的闪烁体进行标定. 采用 GCO-23 型远心成像镜头减小离轴图像的畸变. Andor 公司 DH734 型增强电荷耦合器件 (ICCD) 相机拍摄闪烁体发光图像 (图 5). 暗箱由 3 mm 厚铝材料经表面发黑处理制成, 可以屏蔽电磁干扰并减弱箱内漫反射光的干扰. 屏蔽体是 10 cm 厚的铅墙, 使 X 射线衰减 4 个量级, 避免 ICCD 相机受到 X 射线的直接辐照. 为了减小可见光在反射镜和闪烁体出光面之间的多次反射, 在 200 mm × 200 mm 的闪烁体表面黏贴了吸光黑纸, 仅在出光面保留 4.5 cm × 4.5 cm 的区域出光, 反射镜距离闪烁体最小距离为 14 cm. 发光图像中心 500 × 500 的像素区域的灰度平均值, 扣除无射线照射时本底图像灰度, 得到相机对 X 射线的响应, 如表 2 所列.

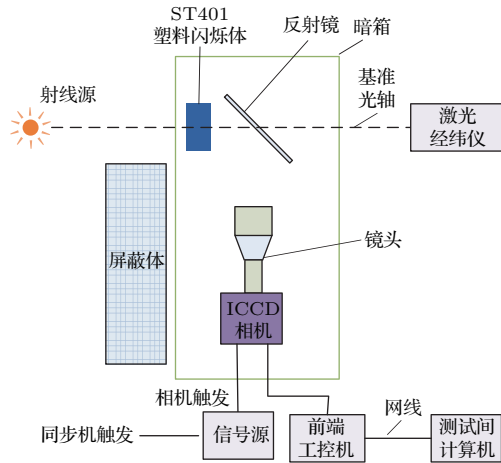


图 4 标定实验布局

Fig. 4. Layout of calibration experiment.

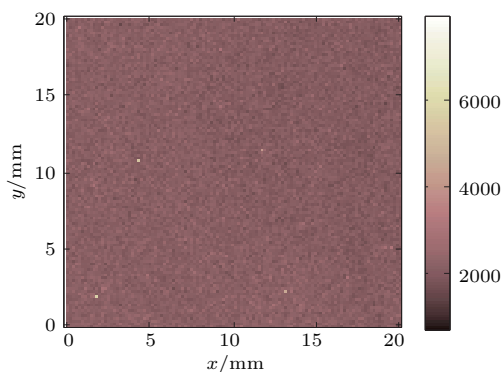


图 5 脉冲 X 射线激发闪烁体发光图像 (500 × 500 像素)

Fig. 5. Flash image of scintillator irradiated by pulsed X-ray.

4.2 脉冲中子标定

脉冲中子标定实验在中国工程物理研究院激光聚变研究中心的神光-III 主机上进行. 实验布局

与脉冲 X 射线标定实验相同. 闪烁体处 14 MeV 中子照射剂量为 10^6 个/cm² 量级. 中子照射剂量由激光聚变研究中心采用铜活化法^[10] 监测. 复合屏蔽体由 15 cm 铁 + 10 cm 聚乙烯 + 10 cm 铅材料组成, 作用分别为慢化 14 MeV 中子, 吸收低能中子和吸收次级射线, 使 14 MeV 中子衰减 3 个量级. 图像记录和数据处理方法与脉冲 X 射线实验相同, 结果如表 2 所列.

表 2 标定实验结果

Table 2. Results of calibration experiment.

射线类型	闪烁体尺寸 /mm	剂量 /个·cm ⁻²	图像灰度值 /ADU·个 ⁻¹ ·cm ⁻²
0.3 MeV X	200×200×10	4.9×10^8	1.37×10^{-5}
0.3 MeV X	200×200×20	6.1×10^8	1.87×10^{-5}
0.3 MeV X	200×200×30	4.4×10^8	3.78×10^{-5}
0.3 MeV X	200×200×50	6.5×10^8	5.14×10^{-5}
14 MeV 中子	200×200×10	3.3×10^6	1.76×10^{-4}
14 MeV 中子	200×200×20	3.6×10^6	2.20×10^{-4}
14 MeV 中子	200×200×30	4.7×10^6	4.80×10^{-4}
14 MeV 中子	200×200×50	2.8×10^6	6.72×10^{-4}

5 分析讨论

由标定实验结果计算可得单个 14 MeV 中子与 0.3 MeV X 射线的相对光产额比值, 如表 3 所列. 蒙特卡罗方法计算值与实验测量值相对误差小于 10%.

实验测量相对光产额比值的不确定度来源主要包括两方面: 一是脉冲中子个数监测的不确定度为 5%^[10], 脉冲 X 射线剂量监测的不确定度为 4.1%^[5]; 二是脉冲 X 射线并不是理想单能, 具有一定的能谱分布, 引入的不确定度为 5%^[4]. 合成不确定度为 8.17%. 模拟计算相对光产额比值的不确定度来源主要包括三方面: 一是带电粒子相对光产额计算公式不确定度为 5%^[11]; 二是 $E_p < 0.1$ MeV 的低能质子引入的不确定度为 5%; 三是蒙特卡罗软件提供的数据库截面引入的不确定度.

鉴于实验测量不确定度较大且蒙特卡罗软件的数据库截面引入的不确定度不易评估, 本文给出的相对光产额评估方法需要更多的比较验证. 表 3 给出了不同文献的实验测量结果. 文献给出的是由光电倍增管测得的灵敏度, 相对灵敏度比

值与相对光产额比值均无量纲, 均可反映单个中子和X射线入射到闪烁体上光产额的相对强弱. 文献[4, 5]中的单位能量的相对灵敏度需要乘以粒子能量进行转换. 模拟结果与文献[4, 5, 12]的实验结果平均相对误差为22.16%, 最大相对误差

为43.71%. 文献[13]的实验结果与模拟结果相差2倍以上, 10 mm 闪烁体结果比文献[12]中9 mm的结果高3倍, 该文献中未提及屏蔽措施, 分析认为是空间散射中子和散射 γ 射线的干扰造成了数据失真.

表3 中子/X射线相对光产额比值对比
Table 3. Comparison of experimental and simulation results.

X射线能量 /MeV	中子能量 /MeV	闪烁体尺寸 /mm	蒙特卡罗计算值	实验测量值或文献结果	相对误差/%
0.3	14	200 × 200 × 10	12.39	12.85	3.71
0.3	14	200 × 200 × 20	12.82	11.76	8.27
0.3	14	200 × 200 × 30	13.03	12.70	2.53
0.3	14	200 × 200 × 50	13.61	13.07	3.97
0.3	14.85	200 × 200 × 1 (Φ 25 光栅)	6.33	4.37 [4]	30.96
0.3	14.85	200 × 200 × 3 (Φ 25 光栅)	10.36	7.71 [4]	25.58
0.3	14.85	200 × 200 × 5 (Φ 25 光栅)	11.54	9.36 [4]	18.89
0.3	14.85	200 × 200 × 10 (Φ 25 光栅)	12.20	9.94 [4]	18.52
0.3	14.85	200 × 200 × 20 (Φ 25 光栅)	12.88	10.46 [4]	18.79
1.25	14.85	200 × 200 × 1 (Φ 25 光栅)	5.56	3.13 [5]	43.71
1.25	14.85	200 × 200 × 3 (Φ 25 光栅)	4.09	2.90 [5]	29.10
1.25	14.85	200 × 200 × 5 (Φ 25 光栅)	3.65	2.82 [5]	22.74
1.25	14.85	200 × 200 × 10 (Φ 25 光栅)	3.36	2.74 [5]	18.45
1.25	14.85	200 × 200 × 20 (Φ 25 光栅)	3.40	2.73 [5]	19.71
0.662	14	Φ 50 × 9	5.32	7.36 [12]	38.35
1.25	14	Φ 50 × 9	3.38	2.98 [12]	11.83
1.25	14	Φ 50 × 3	4.04	10.77 [13]	166.58
1.25	14	Φ 50 × 10	3.33	12.86 [13]	286.19
1.25	14	Φ 50 × 30	3.23	11.99 [13]	271.21

6 结 论

本文给出了一种脉冲中子入射到ST401塑料闪烁体相对光产额的评估方法, 该方法的计算结果与验证实验相对误差小于10%, 与文献结果相对误差小于44%. 宽能谱脉冲中子束图像测量系统的图像灰度为量程的10%—90%时视为曝光量合适, 可同时确保图像具有较高的对比度并防止信息丢失. 如果安排系统曝光量为量程的60%, 按最大相对误差计算, 实际获取的图像灰度为量程的34%—86%.

本文的理论方法可以作为宽能谱脉冲中子束图像测量系统的量程安排依据.

参考文献

- [1] Li B J, Zhu X B, Wang L Z, Tang Z K 2014 *Nucl. Electron. Detect. Technol.* **34** 1520 (in Chinese) [李波均, 朱学彬, 王立宗, 唐章奎 2014 核电子学与探测技术 **34** 1520]
- [2] Liu Q Z 1994 *Pulsed Radiation Field Diagnostic Technique* (Beijing: Science Press) pp553–559 (in Chinese) [刘庆兆 1994 脉冲辐射场诊断技术 (北京: 科学出版社) 第553—559页]

- [3] Xie H W, Zhang J H, Zhang F Q, Li L B, Qi J M, Chen J C, Chen D Y 2013 *Process Report on China Nuclear Science & Technology* Harbin September 2013 p46 (in Chinese) [谢红卫, 张建华, 章法强, 李林波, 祁建敏, 陈进川, 陈定阳 2013 中国核科学技术进展报告 哈尔滨 2013 年9月 第46页]
- [4] Song G Z, Xie H W, Wang K L, Zhu H Q, Zhang Z H 2007 *Exp. Res.* **30** 33 (in Chinese) [宋颀周, 谢红卫, 王奎禄, 朱宏权, 张占宏 2007 试验与研究 **30** 33]
- [5] Song G Z, Xie H W, Wang K L, Zhu H Q 2008 *Nucl. Electron. Detect. Technol.* **28** 845 (in Chinese) [宋颀周, 谢红卫, 王奎禄, 朱宏权 2008 核电子学与探测技术 **28** 845]
- [6] Zheng W G, Wei X F, Zhu Q H 2016 *High Power Laser and Particle Beams* **28** 019901 (in Chinese) [郑万国, 魏晓峰, 朱启华 2016 强激光与粒子束 **28** 019901]
- [7] Gohil M, Banerjee K, Bhattacharya S 2012 *Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A* **664** 304
- [8] Wright D H 2014 <http://geant4.web.cern.ch/geant4/UserDocumentation/UserGuides/ForApplicationDeveloper/html/index.Html> [2016-10-23]
- [9] Su Z F, Yang H L, Zhang P F, Lai D G, Guo J M, Ren S Q, Wang Q 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 106801 (in Chinese) [苏兆锋, 杨海亮, 张鹏飞, 来定国, 郭建明, 任书庆, 王强 2014 物理学报 **63** 106801]
- [10] Song Z F, Tang Q, Chen J B, Liu Z J, Zhan X Y, Deng C B 2015 *High Power Laser and Particle Beams* **27** 112005 (in Chinese) [宋仔峰, 唐琦, 陈家斌, 刘中杰, 詹夏宇, 邓才波 2015 强激光与粒子束 **27** 112005]
- [11] Cecil R A, Anderson B D, Madey R 1979 *Nucl. Instrum. Meth.* **161** 439
- [12] Hu M C, Liu J, Li Z B, Fu Y C, Li R R, Tang P D, Zhang J H, Huang Y, Feng J H, Guo H S 2011 *Chin. J. Sci. Instrum.* **32** 174 (in Chinese) [胡孟春, 刘建, 李忠宝, 甫跃成, 李如荣, 唐登攀, 张建华, 黄雁, 冯璟华, 郭洪生 2011 仪器仪表学报 **32** 174]
- [13] Han H L 2005 *Annual Report of China Academy of Engineering Physics* Mianyang December 2005 p48 (in Chinese) [韩惠林 2005 中国工程物理研究院科技年报 绵阳 2005年12月 第48页]

A method of evaluating the relative light yield of ST401 irradiated by pulsed neutron*

Yao Zhi-Ming[†] Duan Bao-Jun Song Gu-Zhou Yan Wei-Peng Ma Ji-Ming
Han Chang-Cai Song Yan

(State Key Laboratory of Intense Pulsed Radiation Simulation and Effect, Northwest Institute of Nuclear Technology,
Xi'an 710024, China)

(Received 24 October 2016; revised manuscript received 22 November 2016)

Abstract

High speed imaging technique is an effective method to test the information about pulsed neutron source. Imaging system is usually composed of a pinhole, a scintillator, an image intensifier and a charge-coupled device (CCD) camera. ST401 plastic scintillator is widely used to convert the neutron image into visible light image since it has features of high conversion efficiency and fast time response. When testing a pulsed neutron source of wide energy spectrum, we should evaluate the light yields of ST401 irradiated by neutrons with different energies and make the CCD camera exposed to the light appropriately. A 0.3 MeV pulsed X-ray source is often used to calibrate the imaging system because of its low cost than the D-T fusion neutron source. In this work, a method of evaluating the relative light yield of ST401 irradiated by 0.1–16 MeV neutron to 0.3 MeV X-ray is proposed.

Geant4 Monte Carlo software is used to simulate the transport performances of neutrons and X-rays. The software package can simulate the transport process of photons. But the conversion factor of ray energy deposition into photons is unknown. It is difficult to calculate the number of photons generated in ST401 accurately. In this article, we calculate the relative light yield according to the energy of charged particles produced in ST401. Firstly, all information about the particle type, energy deposition, kinetic energy is monitored on event-by-event basis in GEANT4. Secondly, the complete history of the tracks is then used to calculate the light output from the scintillator according to the neutron response functions. Thirdly, the light output caused by charged particles going out of ST401 is deducted. Ratios of average light yield of 1 mm, 3 mm, 5 mm, 1 cm, 2 cm, 3 cm, 5 cm thick ST401 irradiated by 0.1–16 MeV neutron to 0.3 MeV X-ray are given. To confirm the correctness of the simulated result, validation experiment is carried out on IVA pulsed X-ray source and SGIII pulsed neutron source. The simulated ratio of average light yield of ST401 irradiated by one single 14 MeV neutron to 0.3 MeV X-ray has a discrepancy of less than 10% compared with the measured value. Compared with the results of experiment conducted on a constant current source, the simulated results have a maximum discrepancy of less than 44%. If CCD camera exposure 10%–90% of the full scale, the image will have high contrast and information loss can be avoided. According to the simulated results and the neutron yield, exposure can be easily set to be 60% of the full scale by adjusting the gain of the image intensifier. Assume that the simulated results have a 44% discrepancy, the actual exposure will be in a range of 34%–86% of the full scale. Underexposure and overexposure can be avoided by presetting the imaging system sensitivity appropriately based on the simulated results. It implies that the method proposed is effective in predicting the imaging system response to pulsed neutron with wide energy spectrum.

Keywords: pulsed ray detection, ST401 plastic scintillator, relative light yield, Geant4

PACS: 24.10.Lx, 29.40.-n, 29.40.Mc

DOI: 10.7498/aps.66.062401

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 61171013).

[†] Corresponding author. E-mail: yaozhiming@nint.ac.cn