

氙化闪烁体的光响应

于春英 撒骏 唐洪庆 隋庆长 黄糖仔 沈冠仁

(中国原子能科学研究院, 北京)

在迴旋加速器上利用 $D(d, n)^3\text{He}$ 反应和 $^9\text{Be}(d, n)^{10}\text{B}$ 反应产生的中子, 采用双参数方法测量 NE-230 和 NE-232 氙化闪烁体对氙以及国产的 ST-451 闪烁体对质子的光响应曲线, 所测的实验值用二次多项式拟合。对其它性能也作了相对比较。

关键词 NE-230, NE-232, ST-451, 光响应。

一、引言

在核聚变反应堆和裂变聚变混合装置的研制中, 快中子与氙核相互作用后的能谱和角分布数据是非常重要的。我们选取了含氙量较高的进口氙化闪烁体 NE-230 和 NE-232, 既作样品, 又作定时探测器, 用双闪烁探测器飞行时间方法^[1]测量快中子与氙核相互作用的中子能谱和角分布。实验上为了确定氙化闪烁体探测器的下阈和扣除阈下反冲核的干扰, 需要知道反冲氙核在氙化闪烁体中的光响应。Smith 等人只对氙化闪烁体 NE-230 中氙核的光响应进行了测量^[2], 但迄今未见报导有关 NE-232 对氙核光响应的研究。

测量有机闪烁体对粒子的光响应, 可用单能中子源和连续中子源。利用单能中子源量的优点是技术简单、能量分辨好, 但测量一条光响应曲线需要一系列的单能中子源和花费大量的时间。另一种方法用连续中子源和双参数方法进行测量, 即对入射在闪烁体上的中子能量和反冲核产生的光幅度进行关联测量。这种双参数方法的优点是: 第一, 一次测量能给出一条能量范围很宽的光响应曲线。虽然由于多道道数的限制能量分辨不如前一种方法好, 但确可大大缩短测量时间和减少测量系统不稳定带来的误差, 从而增加了数据的精度。第二, 由于采用飞行时间技术和双参数关联测量, 可以大大减少 γ 射线的影响, 不用 $n-\gamma$ 分辨技术, 这对没有 $n-\gamma$ 分辨性能的闪烁体来说更为好些。

本工作利用 $D(d, n)^3\text{He}$ 反应产生 3—15.75 MeV 和 $^9\text{Be}(d, n)^{10}\text{B}$ 反应产生的 1.4—10.4 MeV 连续中子源和双参数方法^[3]测量了氙化闪烁体 NE-230、NE-232 以及 ST-451 闪烁体的光响应曲线。对其它性能也进行了相对比较。

二、实验方法

在迴旋加速器上, 利用 13 MeV 的氙束打在氙气体靶或厚金属铍靶上, 由 $D(d, n)^3\text{He}$ 或 $^9\text{Be}(d, n)^{10}\text{B}$ 反应产生连续能量的中子。中子探测器是由闪烁体和 GDB-49 型光电倍增管组成。各闪烁体的大小和成份列于表 1。

中子探测器到靶中心距离为 2.30 m 左右, 并置于准直屏蔽系统中, 以减少实验的本底。为了得到精确的反冲核的光响应, 中子探测器需仔细调试, 确保探测器在测量范围内

表 1 各闪烁体的参量
Table 1 The parameters of scintillators

闪 烁 体	NE-230	NE-232	ST-451
大小/mm	$\phi 50 \times 40$	$\phi 25 \times 40$	$\phi 25 \times 40$
密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	0.945	0.89	1.0348
含氦量/%	14.2	24.5	
氦核/碳核	0.984:1	1.96:1	
氢核/碳核			1:1.13

有良好的线性和稳定的工作状态。双参数测量光响应的电子学框图见图 1。

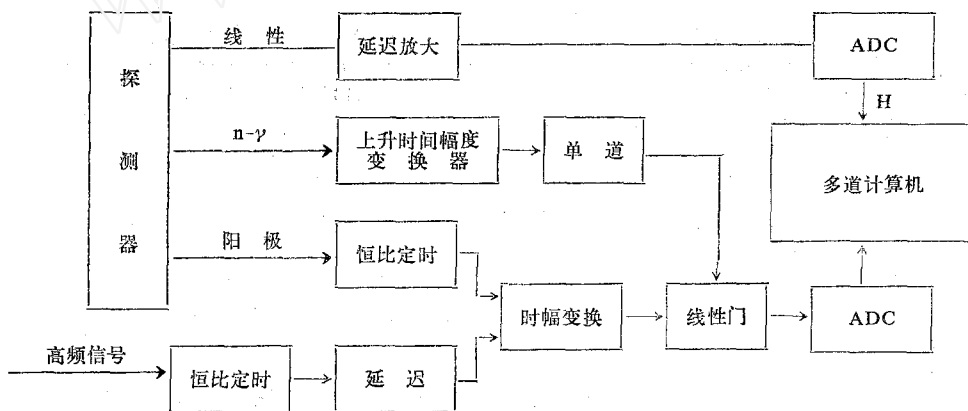


图 1 电子学线路方框图
Fig.1 Schematic program of electronics

利用 $D(d, n)^3\text{He}$ 反应给出 3—15.75 MeV 中子能量范围的光响应。利用 $^9\text{Be}(d, n)^{10}\text{B}$ 反应做中子源时, 给出 1.4—10.4 MeV 中子能量范围的光响应。实验测得的是双维谱示于图 2。图 2 中, 纵座标是入射中子飞行时间谱, 即入射中子能量; 横座标是闪烁体中反冲核 (对 NE-230 和 NE-232) 或反冲质子 (对 ST-451) 的光幅度谱。

图 3 表示一个典型的 NE-232 的反冲氦核谱, 它对应的中子能量为 9.18 MeV, 反冲核谱的半高点为 45 道。一般说来, 双维谱纵轴座标 T 值越大, 对应的中子能量也越高, 如图 4 所示。图 4 为一次测量的 NE-230 的反冲氦核谱。

应该指出, 上面测得的反冲核光幅度只是相对值。为了得到光幅度的绝对值, 必须用一组已知能量的 γ 源来标定。我们知道, γ 射线在这些有机闪烁体中的光幅度是线性的。实验中我们用了 ^{137}Cs , ^{65}Zn , ^{22}Na 三个 γ 源。刻度了多道零点并检验了测量系统的线性。

图 5 是绝对能量刻度。图中横座标是 γ 射线的康普顿边的半高点, 纵座标是标定的 γ 射线的康普顿半高点的能量。图中实线是用最小二乘法拟合的。四个刻度点正好在一条直线上, 说明本工作测量系统的线性是好的。为了得到稳定可靠的数据, 在测量过程中, 每测一个双维谱后都仔细地进行了能量标定测量。

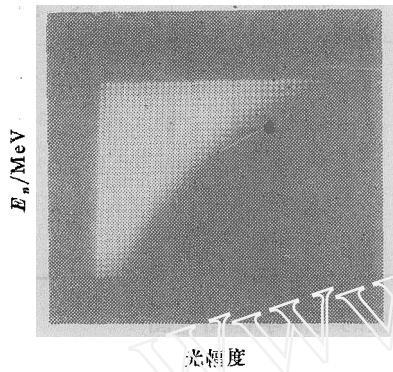


图 2 测量的双维谱
Fig.2 Two-dimension Spectrum

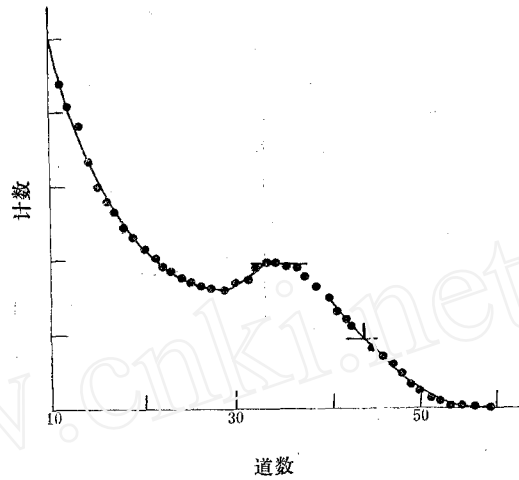


图 3 NE-232 的反冲氘核谱
Fig.3 The recoil deuteron spectrum of NE-232
 $E_n=9.18\text{ MeV}$; 半高点为45道。

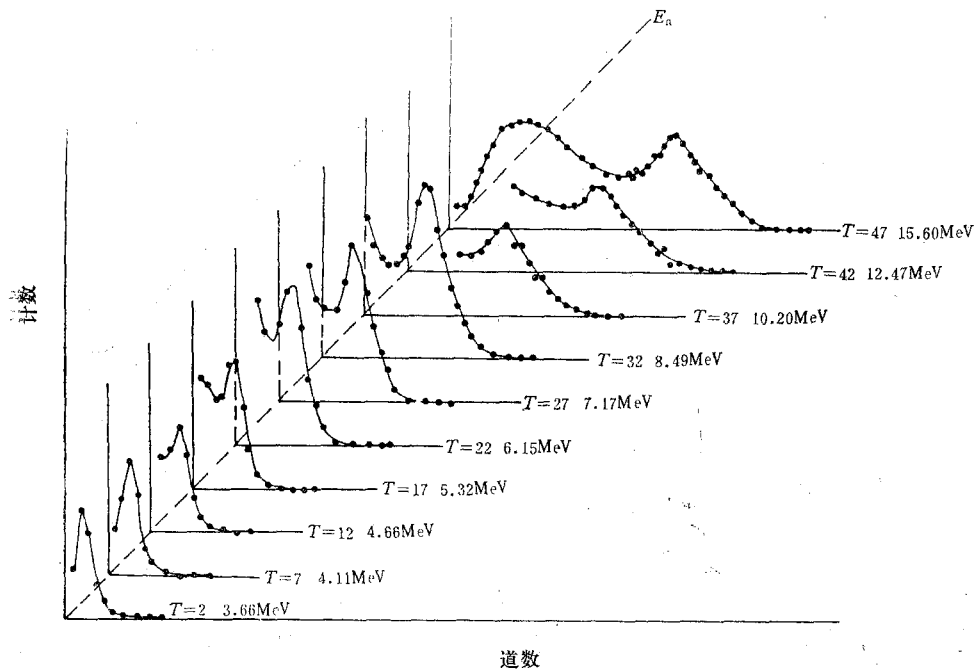


图 4 NE-230 10 个中子能量 (3.65—15.6 MeV) 的反冲氘核谱分布
Fig.4 The recoil deuteron spectra of NE-230

众所周知，在连续的中子源中，还伴有大量的 γ 射线本底。为了减少 γ 射线的影响，对所测的闪烁体仔细地调试了 n- γ 分辨性能。调试后发现 NE-232 没有 n- γ 分辨性能，所以在测量 NE-232 氘核光响应时，应除去实验框图 1 中 n- γ 分辨的那一路。NE-230 和 ST-451 都具有很好的 n- γ 分辨性能。

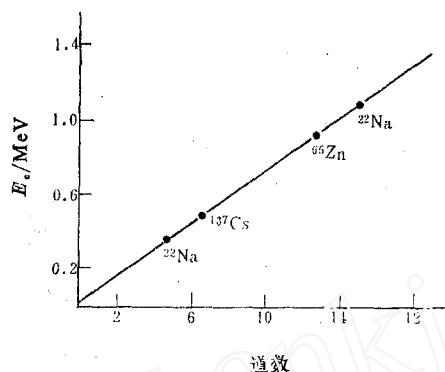


图 5 能量刻度曲线

Fig.5 The calibration of energy

• ——实验点；实线是用最小二乘法拟合的。

三、实验结果和讨论

对氙化闪烁体 NE-230, NE-232 测得的氙核光响应和对液闪 ST-451 测量的质子光响应分别表示在图 6—9。光响应曲线的实验数据由表 2 给出。

为便于应用, 对所测的实验值用 GOLUB 程序^[5]进行拟合。我们把光响应 $y(x)$ 与人射粒子的能量 x 分别用

$$y(x) = c_1 + c_2x \quad (1)$$

$$y(x) = c_1x^{c_2} \quad (2)$$

$$y(x) = c_1 + c_2x + c_3x^2 \quad (3)$$

方程式来表示, 用最小二乘法求出拟合的系数。从拟合的结果来看, 实验值用方程式(3)表示更为合理。用方程式(3)拟合得到的系数分别由表 3 给出。

对于氙化闪烁体 NE-232 和 NE-230 的计算值与实验值在 3% 以内符合。对于 ST-451 闪烁体在 2% 以内一致。拟合曲线示于图 6—8。

本工作主要误差来自: (一) 由于谱仪的时间分辨、时间刻度、飞行距离不准确等因素带来的中子能量误差为 2—6%。(二) 由于反冲核脉冲谱的半高点读数不准、能量标定不准、多道零点刻度不准等因素带来的反冲核光幅度误差为 1—4%。

从图 6 中 NE-232 的光响应曲线看出, 用 $D(d, n)^3\text{He}$ 反应作中子源测量的结果和用 $^9\text{Be}(d, n)^{10}\text{B}$ 反应作中子源测量的结果符合得相当好。而二者测量的时间相隔近半年, 说明我们的探测系统稳定, 测量结果可靠。从图 9 中看出, 我们测得的 NE-230 和 NE-232 中的反冲氙核光响应也是符合得很好。与文献[2]Smith 等人对 NE-230 测量的结果比较, 虽然系统地稍偏低, 但在误差范围内也基本一致。有机闪烁体的光响应与闪烁体大小、形状、内壁的光反射性能、密度等因素有关, 即使对同一类型的有机闪烁体, 在制备过程中, 不能做到完全相同, 因而在各不同闪烁体之间, 测量得到略有不同的结果是合理的。

图 8 表示的液闪 ST-451 对质子的光响应测量结果与文献[4]中的理论计算值和给出的 14.2 和 15.35 MeV 的两点实验值以及厂家给出的 1 MeV 以下的实验值^[4]比较都符合得相当好。

表 2 光 响 应 数 据

Table 2 Response data for NE-230 NE-232 and ST-451

NE-232 对氩的响应		NE-232 对氩的响应		NE-230 对氩的响应		ST-451 对质子的响应	
$E_a \pm \Delta E_a / \text{MeV}$	$E_e \pm \Delta E_e / \text{MeV}$	$E_a \pm \Delta E_a / \text{MeV}$	$E_e \pm \Delta E_e / \text{MeV}$	$E_a \pm \Delta E_a / \text{MeV}$	$E_e \pm \Delta E_e / \text{MeV}$	$E_p \pm \Delta E_p / \text{MeV}$	$E_e \pm \Delta E_e / \text{MeV}$
13.87 ± 0.62	7.452 ± 0.110	4.35 ± 0.11	1.231 ± 0.017	13.66 ± 0.62	6.931 ± 0.214	15.00 ± 0.68	9.561 ± 0.103
13.23 ± 0.58	7.221 ± 0.109	4.13 ± 0.10	1.130 ± 0.016	13.02 ± 0.58	6.589 ± 0.210	14.31 ± 0.33	8.021 ± 0.098
12.64 ± 0.54	6.761 ± 0.109	3.92 ± 0.09	1.051 ± 0.016	12.43 ± 0.54	5.840 ± 0.185	13.66 ± 0.53	7.829 ± 0.098
12.08 ± 0.51	5.893 ± 0.098	3.73 ± 0.09	0.950 ± 0.015	11.87 ± 0.51	5.038 ± 0.179	12.66 ± 0.55	7.389 ± 0.092
11.57 ± 0.47	5.685 ± 0.101	3.47 ± 0.08	0.871 ± 0.015	11.36 ± 0.47	5.152 ± 0.166	8.72 ± 0.30	4.222 ± 0.080
11.08 ± 0.44	5.123 ± 0.096	3.32 ± 0.21	0.825 ± 0.015	10.47 ± 0.42	4.729 ± 0.156	8.12 ± 0.27	3.983 ± 0.064
10.63 ± 0.42	4.991 ± 0.098	3.24 ± 0.07	0.775 ± 0.014	9.99 ± 0.39	4.345 ± 0.145	7.57 ± 0.24	3.608 ± 0.061
10.20 ± 0.39	4.764 ± 0.093	3.03 ± 0.06	0.692 ± 0.014	9.28 ± 0.35	3.901 ± 0.134	7.32 ± 0.23	3.428 ± 0.058
9.80 ± 0.37	4.380 ± 0.069	2.91 ± 0.18	0.671 ± 0.015	8.85 ± 0.33	3.692 ± 0.128	6.64 ± 0.19	2.979 ± 0.054
9.42 ± 0.37	3.902 ± 0.065	2.70 ± 0.16	0.608 ± 0.015	8.20 ± 0.29	3.295 ± 0.119	6.05 ± 0.17	2.649 ± 0.052
8.72 ± 0.31	3.685 ± 0.062	2.52 ± 0.14	0.538 ± 0.015	7.90 ± 0.28	3.113 ± 0.114	5.69 ± 0.16	2.417 ± 0.050
8.40 ± 0.29	3.304 ± 0.061	2.36 ± 0.13	0.475 ± 0.015	7.35 ± 0.25	2.830 ± 0.107	5.37 ± 0.15	2.230 ± 0.050
8.10 ± 0.28	3.166 ± 0.060	2.20 ± 0.12	0.440 ± 0.015	7.10 ± 0.23	2.709 ± 0.104	4.94 ± 0.13	2.028 ± 0.047
7.81 ± 0.26	3.043 ± 0.048	2.07 ± 0.11	0.405 ± 0.015	6.40 ± 0.20	2.345 ± 0.094	4.55 ± 0.11	1.788 ± 0.047
7.54 ± 0.24	2.797 ± 0.047	1.96 ± 0.09	0.384 ± 0.015	6.20 ± 0.19	2.204 ± 0.091	4.21 ± 0.10	1.601 ± 0.039
7.28 ± 0.24	2.644 ± 0.046	1.84 ± 0.09	0.356 ± 0.015	5.82 ± 0.17	2.042 ± 0.087	4.11 ± 0.10	1.524 ± 0.041
7.04 ± 0.22	2.552 ± 0.045	1.73 ± 0.08	0.342 ± 0.015	5.46 ± 0.16	1.880 ± 0.083	3.91 ± 0.09	1.369 ± 0.038
6.77 ± 0.21	2.480 ± 0.032	1.64 ± 0.07	0.321 ± 0.015	5.30 ± 0.15	1.779 ± 0.081	3.64 ± 0.08	1.294 ± 0.037
6.57 ± 0.20	2.327 ± 0.030	1.56 ± 0.06	0.314 ± 0.015	4.85 ± 0.13	1.557 ± 0.076	3.39 ± 0.07	1.166 ± 0.036
6.36 ± 0.19	2.198 ± 0.028			4.58 ± 0.12	1.456 ± 0.074	3.24 ± 0.07	1.099 ± 0.035
6.16 ± 0.18	2.131 ± 0.027			4.40 ± 0.11	1.267 ± 0.015	3.17 ± 0.07	1.061 ± 0.035
5.79 ± 0.17	1.940 ± 0.025			4.16 ± 0.11	1.192 ± 0.015	3.04 ± 0.07	1.061 ± 0.035
5.45 ± 0.15	1.760 ± 0.023			3.66 ± 0.09	0.988 ± 0.014	3.04 ± 0.07	1.024 ± 0.035
5.14 ± 0.14	1.636 ± 0.022			3.31 ± 0.09	0.861 ± 0.014		
4.86 ± 0.13	1.468 ± 0.020			3.02 ± 0.08	0.747 ± 0.013		
4.77 ± 0.36	1.448 ± 0.017			2.95 ± 0.06	0.720 ± 0.012		

表 3 拟 合 系 数 表

Table 3 Fitted coefficients table

闪 烁 体	C_1	C_2	C_3
NE-232	-0.1265	0.2042	0.0256
NE-230	-3.1078	0.299	0.0171
ST-451	-0.4266	0.420	0.0141

另外我们对所用的三块闪烁体的其它性能也做了相对比较。详见表 4。

我们知道 NE-213 与国产 ST-451 的光产额是相近的，所以从表 4 中看出我们的 NE-230 和 NE-232 两块氩化闪烁体的光产额都比文献[2]中给出的数值低。

表 4 几项性能相对比较

Table 4 Comparison of several properties for scintillators

闪烁体	光产额/%, 相对ST-451	光响应, $E_e=2\text{MeV}$ 相对ST-451	n- γ 分辨	文献[2]中光产额/% 相对 葱
ST-451	100	1	有	
NE-230	61	1.17 ± 0.06	有	60
NE-232	36	1.18 ± 0.06	没有	60
NE-213				78

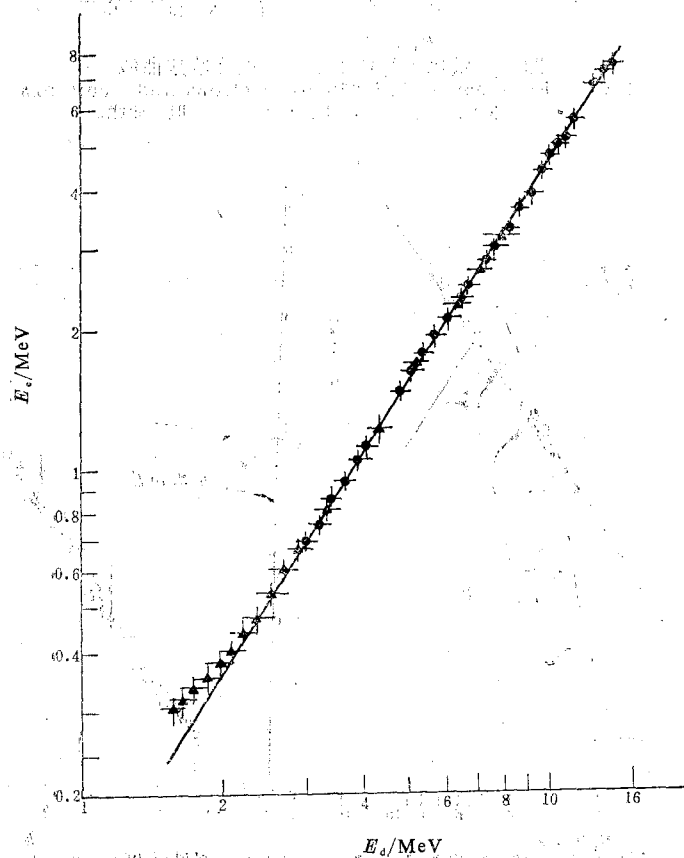


图 6 氘化闪烁体 NE-232 的光响应曲线

Fig.6 Response of NE-232 to electrons and deuterons

□— $D(d, n)^3\text{He}$; ▲— $^9\text{Be}(d, n)$; —拟合曲线。

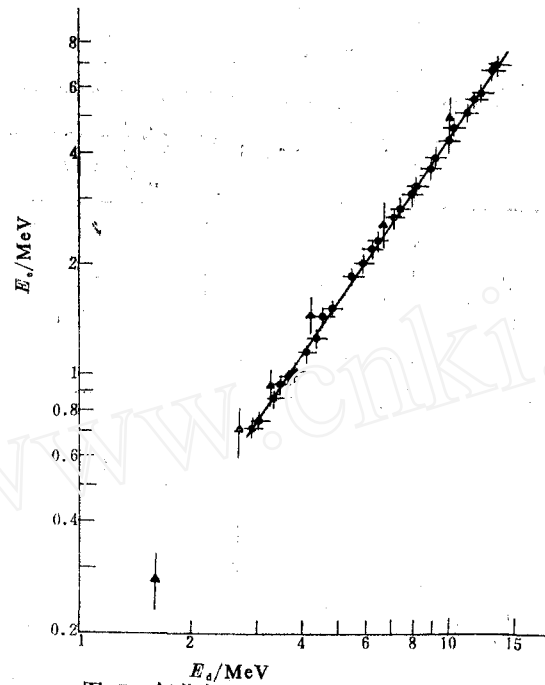


图7 氦化闪烁体 NE-230 的光响应曲线
 Fig.7 Response of NE-230 to electrons and deuterons
 •—本工作; ▲—D.L.Smith; —拟合曲线。

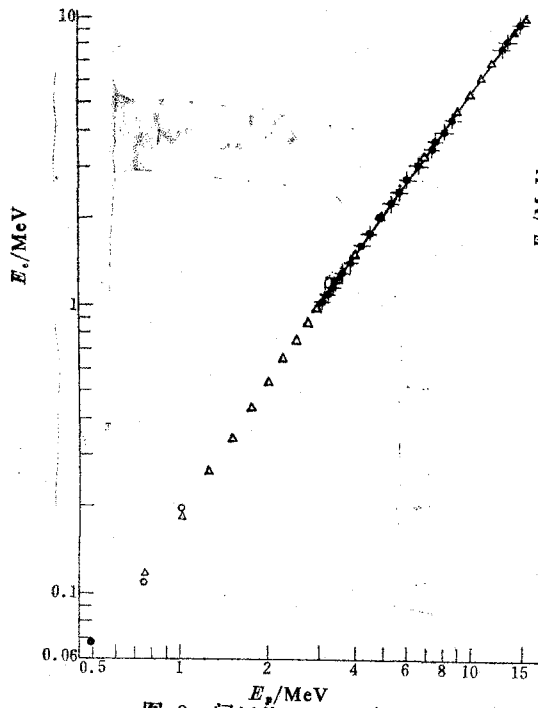


图8 闪烁体 ST-451 的光响应曲线
 Fig.8 Response of ST-451 to electrons and protons
 •—本工作; △—文献[4]理论计算值; ▲—文献[4]实验值; ○—文献[4]数据; —本工作拟合曲线。

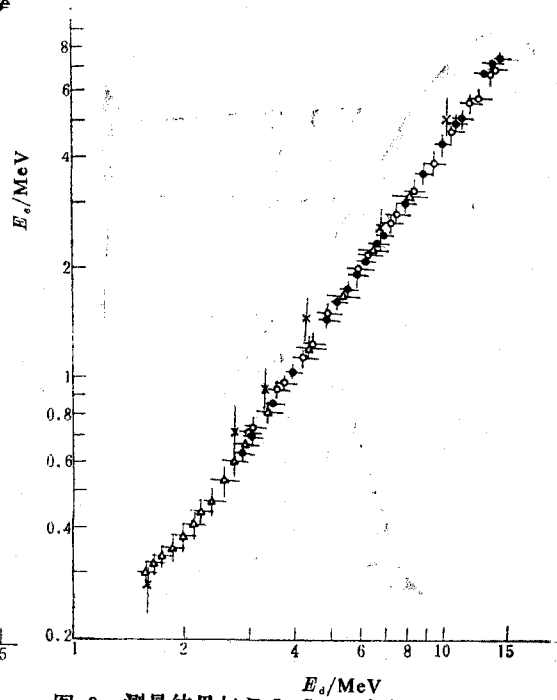


图9 测量结果与 D.L. Smith 数据的比较
 Fig.9 Comparison of present results with Smith's data
 •—NE-232, D(d, n)³He;
 △—NE-232, ⁹Be(d, n)¹⁰B;
 ○—NE-230, D(d, n)³He;
 ×—D.L.Smith.

参 考 文 献

- [1] 唐洪庆等, 原子核物理, 8, 50(1986).
- [2] Smith, D.L. et al., *Nucl. Instrum. Methods*, 64, 157(1968).
- [3] Northcliffe, L.C. et al., *Nucl. Instrum. Methods*, 83, 93(1970).
- [4] 于志荣等, ST-451 和 芪晶体的光响应, 中国原子能科学研究院内部资料。
- [5] 张其欣, 中国原子能科学研究院内部资料, 1985。

(编辑部收到日期: 1987年3月18日)

RESPONSE OF DEUTERATED SCINTILLATORS TO ELECTRONS AND DEUTERONS

YU CHUNGYING SA JUN TANG HONGQING SUI QINGCHANG

HUANG TANGZI SHEN GUANREN

(*Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275, Beijing*)

ABSTRACT

The response of deuterated scintillators NE-230 and NE-232 to electrons and deuterons, and liquid scintillator ST-451 to electrons and protons were measured in the neutron energy range 1.4 to 15.75 MeV using two parameter method (one for incident energy measurement, one for pulse height of scintillation detectors). The neutrons were produced through the $D(d, n)^3\text{He}$ and $^9\text{Be}(d, n)^{10}\text{B}$ reactions. In addition, The measured response data were fitted with quadratic polynomial.

Key words Response, NE-230, NE-232, ST-451.