

CSNS白光中子源

带电粒子测量首批实验计划

张国辉 白怀勇 张陆雨

北京大学重离子物理研究所
核物理与核技术国家重点实验室

2016-06-27

东莞

提纲

- ${}^6\text{Li}(n,t){}^4\text{He}$ 反应
- 中子源
- 待测样品
- 带电粒子探测器
- 计数率与实验谱估算

1. ${}^6\text{Li}(n,t){}^4\text{He}$ 反应

- ${}^6\text{Li}$ 是最轻的金属同位素 (天然丰度7.5%)
中子引发带电粒子出射 (中子测量 $Q=4.78\text{MeV}$)
- 造氘反应 (${}^6\text{Li}$ 是核材料 聚变)
二体反应 (质心系中 t 与 ${}^4\text{He}$ 反向出射)
轻核反应 (反冲效果强烈 余核无激发态)
- 有较多的测量与评价数据 (截面对角度的微分截面)
能量低时截面大 能量增高截面变小
MeV能量以下为标准截面 MeV能区分歧达20%

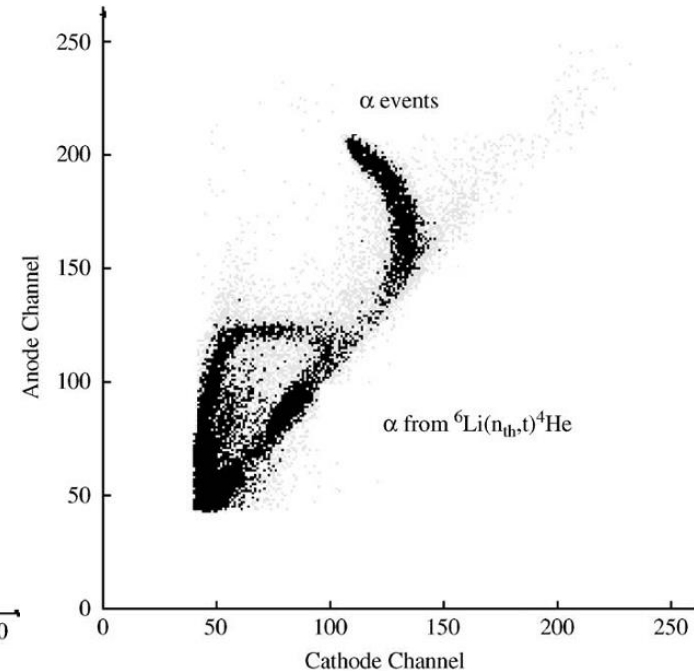
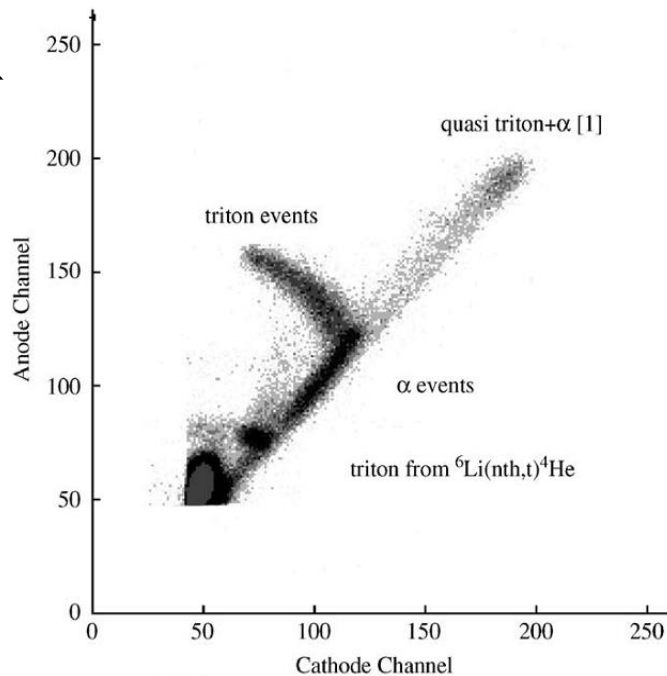
两种主要测量方法

- 屏栅电离室方法

- 大立体角

- 单能中子

PKU+DUBNA

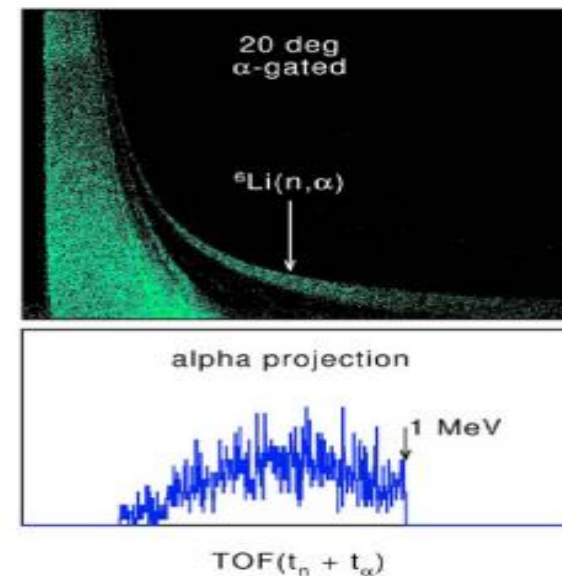
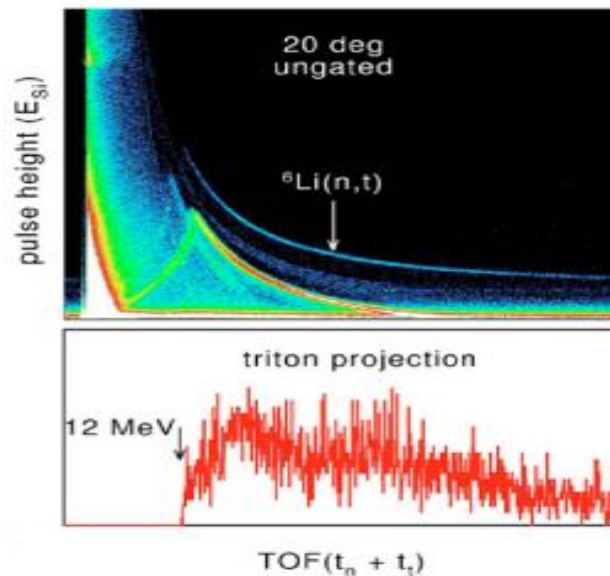


- ΔE -E方法

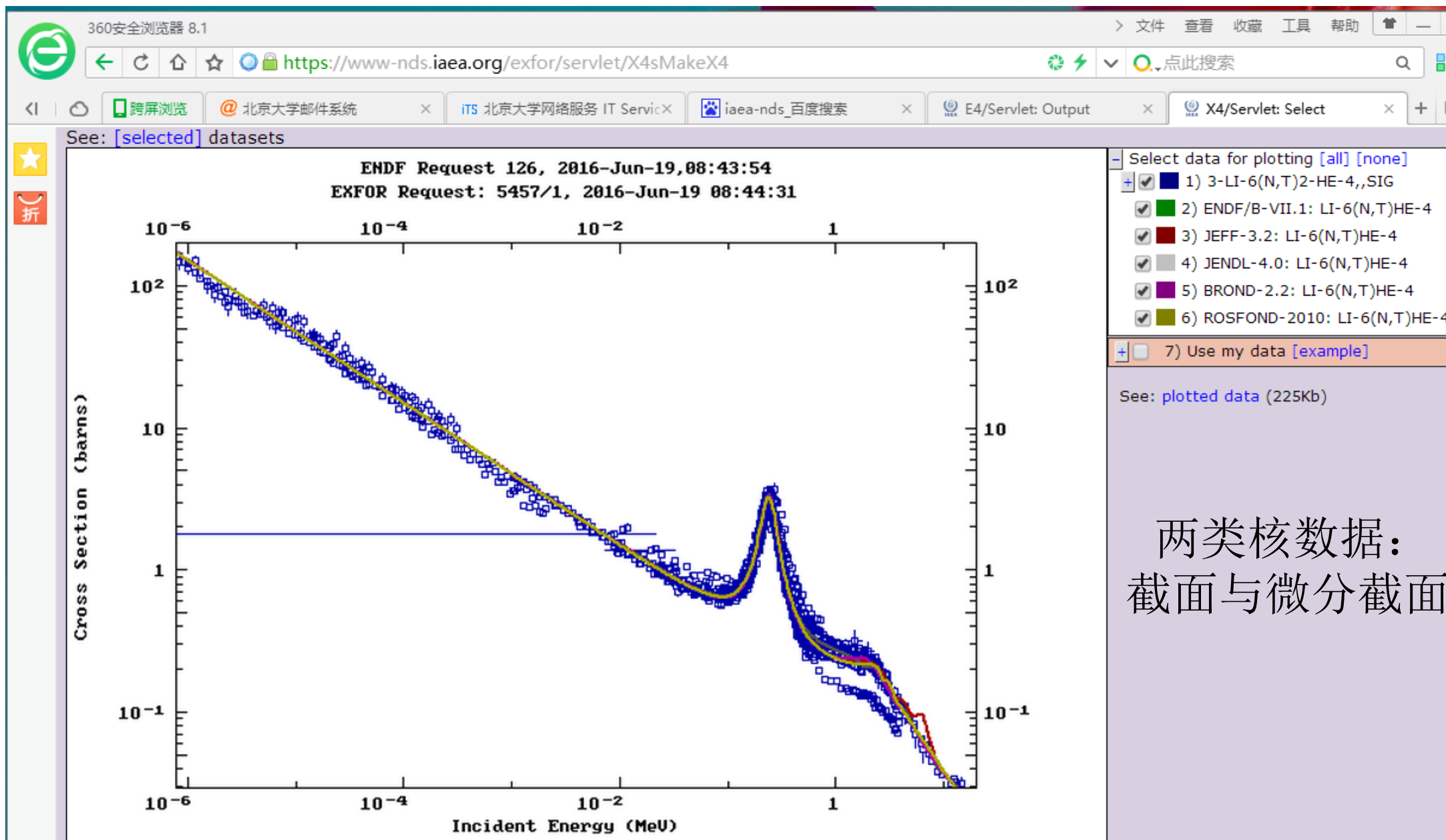
- 小立体角(多探测器)

- 白光中子

LANSCCE



${}^6\text{Li}(n,t){}^4\text{He}$ 反应截面

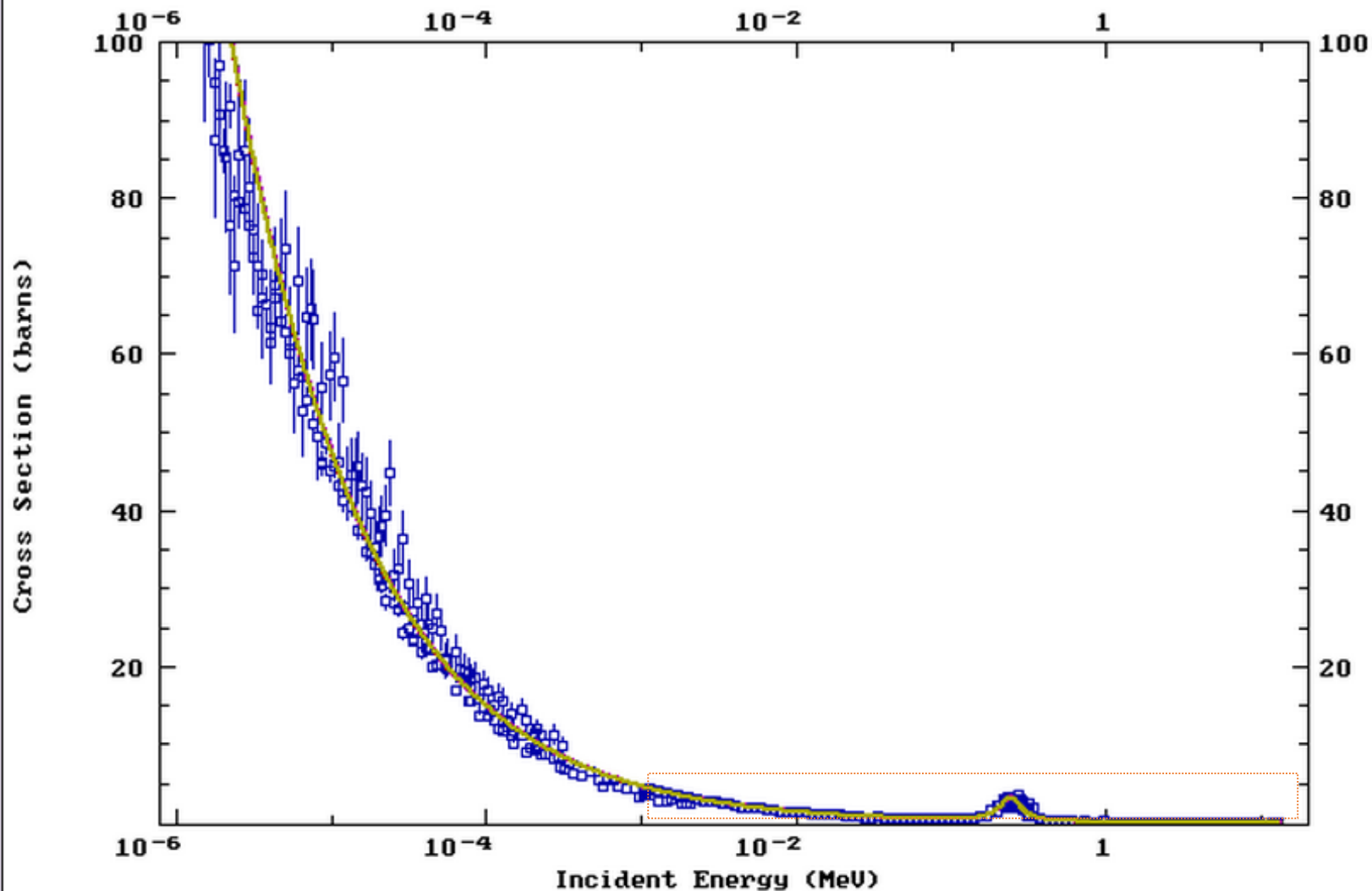


两类核数据：
截面与微分截面



See: [\[selected\]](#) datasets

ENDF Request 126, 2016-Jun-19,08:43:54
EXFOR Request: 5457/1, 2016-Jun-19 08:44:31



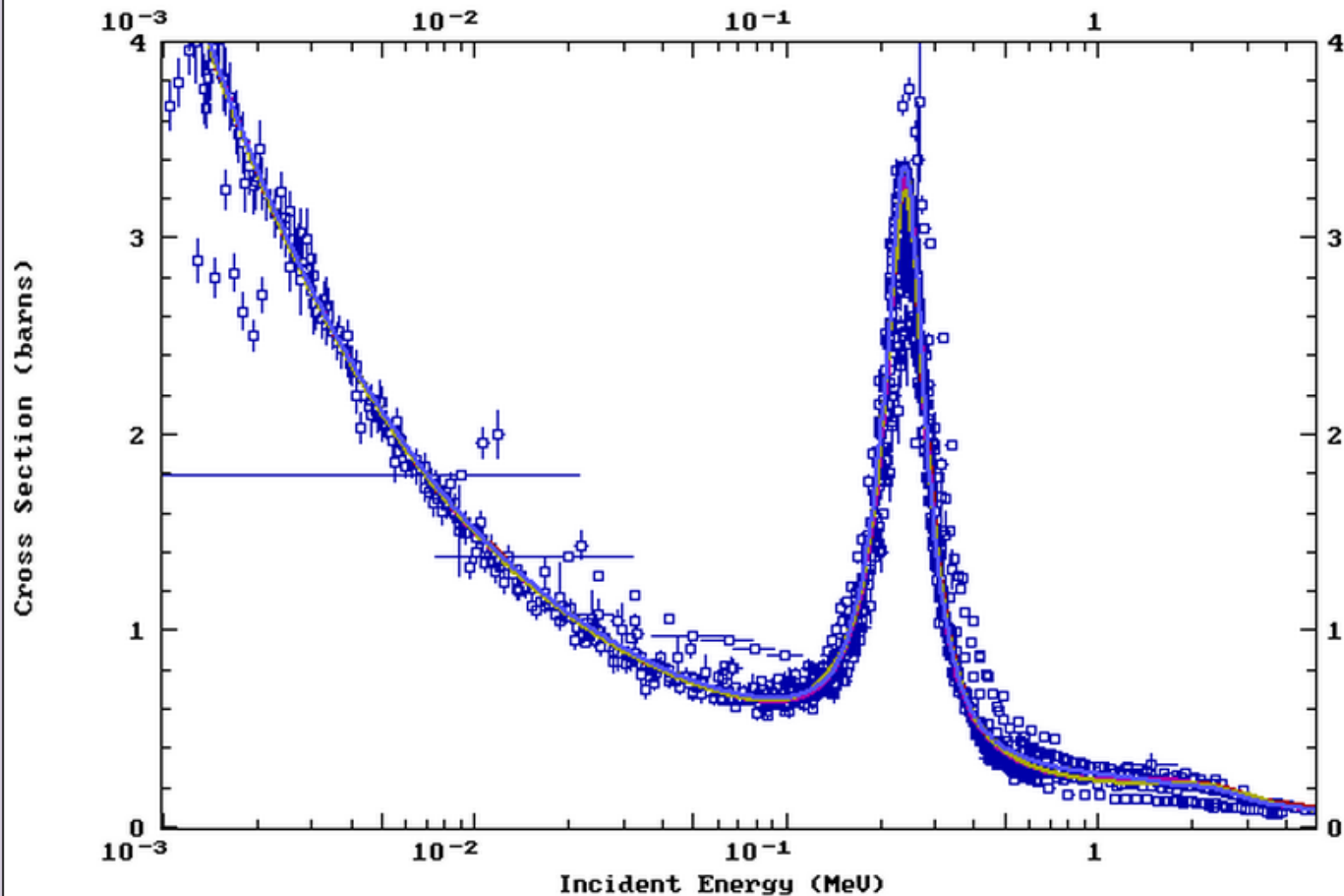
- Select data for plotting [\[all\]](#) [\[none\]](#)
- 1) 3-LI-6(N,T)2-HE-4,,SIG
 - 2) ENDF/B-VII.1: LI-6(N,T)HE-4
 - 3) JEFF-3.2: LI-6(N,T)HE-4
 - 4) JENDL-4.0: LI-6(N,T)HE-4
 - 5) BROND-2.2: LI-6(N,T)HE-4
 - 6) ROSFOND-2010: LI-6(N,T)HE-4
 - 7) Use my data [\[example\]](#)

See: [plotted data](#) (225Kb)



See: [\[selected\]](#) datasets

ENDF Request 29960, 2016-May-31,04:01:17
EXFOR Request: 65257/1, 2016-May-31 04:16:42



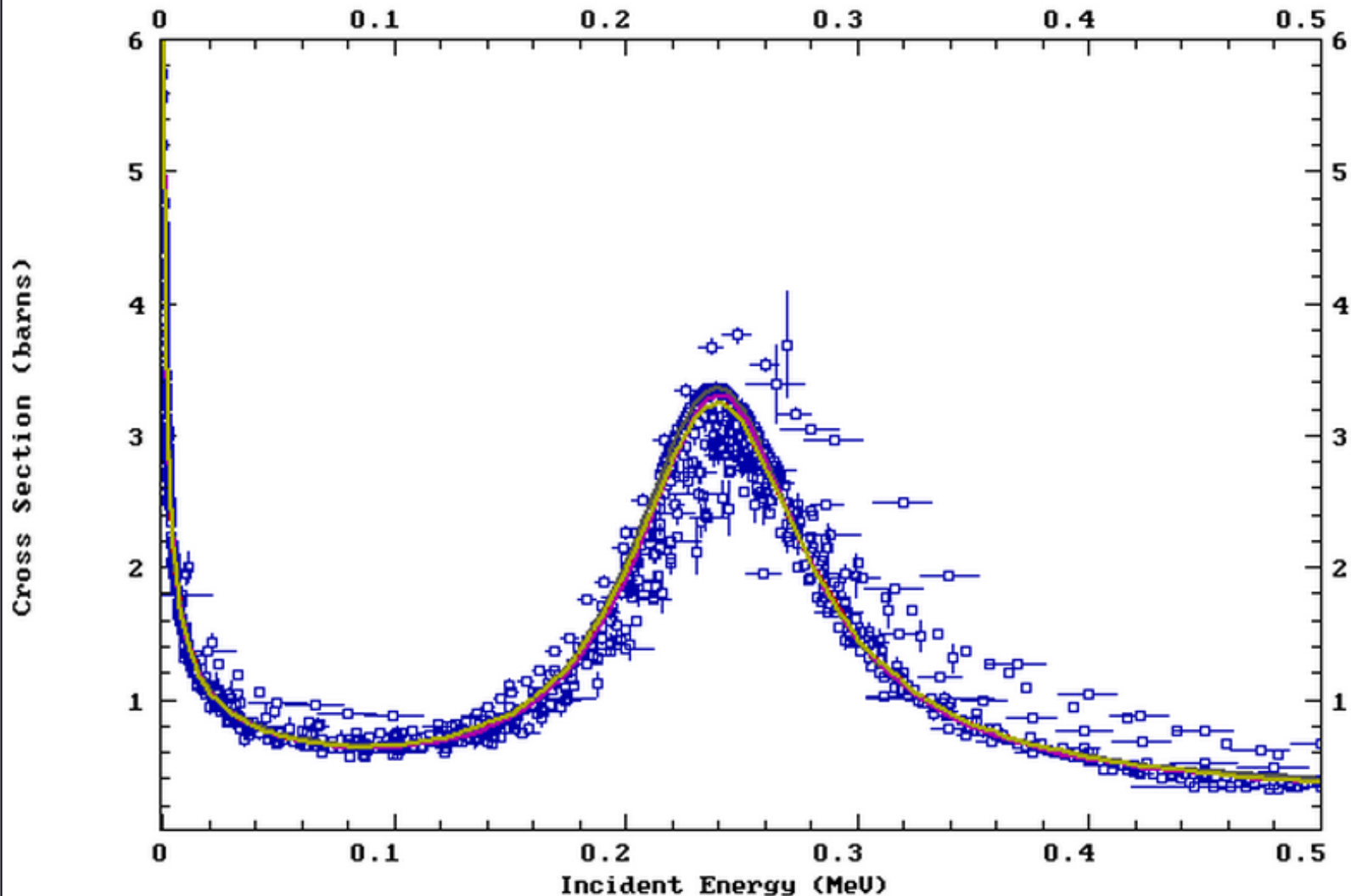
- Select data for plotting [\[all\]](#) [\[none\]](#)
- 1) 3-LI-6(N,T)2-HE-4,,SIG
 - 2) ENDF/B-VII.1: LI-6(N,T)HE-4
 - 3) JEFF-3.2: LI-6(N,T)HE-4
 - 4) JENDL-4.0: LI-6(N,T)HE-4
 - 5) BROND-2.2: LI-6(N,T)HE-4
 - 6) ROSFOND-2010: LI-6(N,T)HE-4
 - 7) JEFF-3.1/A: LI-6(N,T)HE-4
 - 8) Use my data [\[example\]](#)

See: [plotted data](#) (235Kb)



See: [\[selected\]](#) datasets

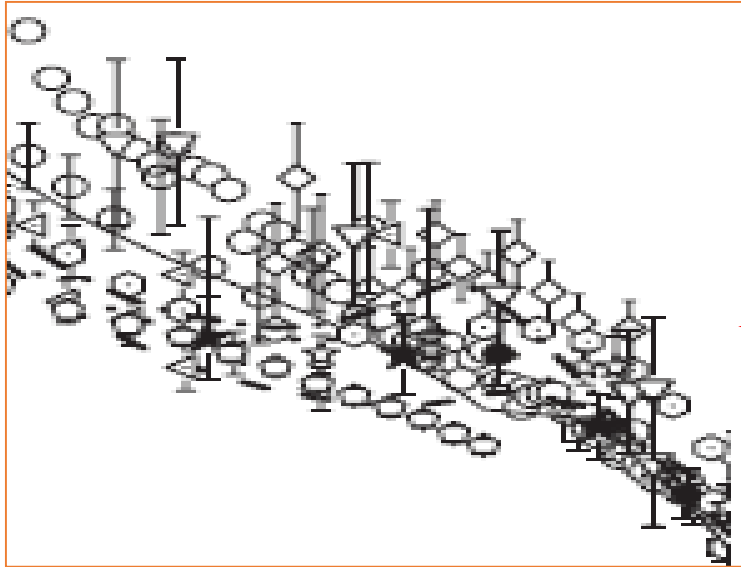
ENDF Request 126, 2016-Jun-19,08:43:54
EXFOR Request: 5457/1, 2016-Jun-19 08:44:31



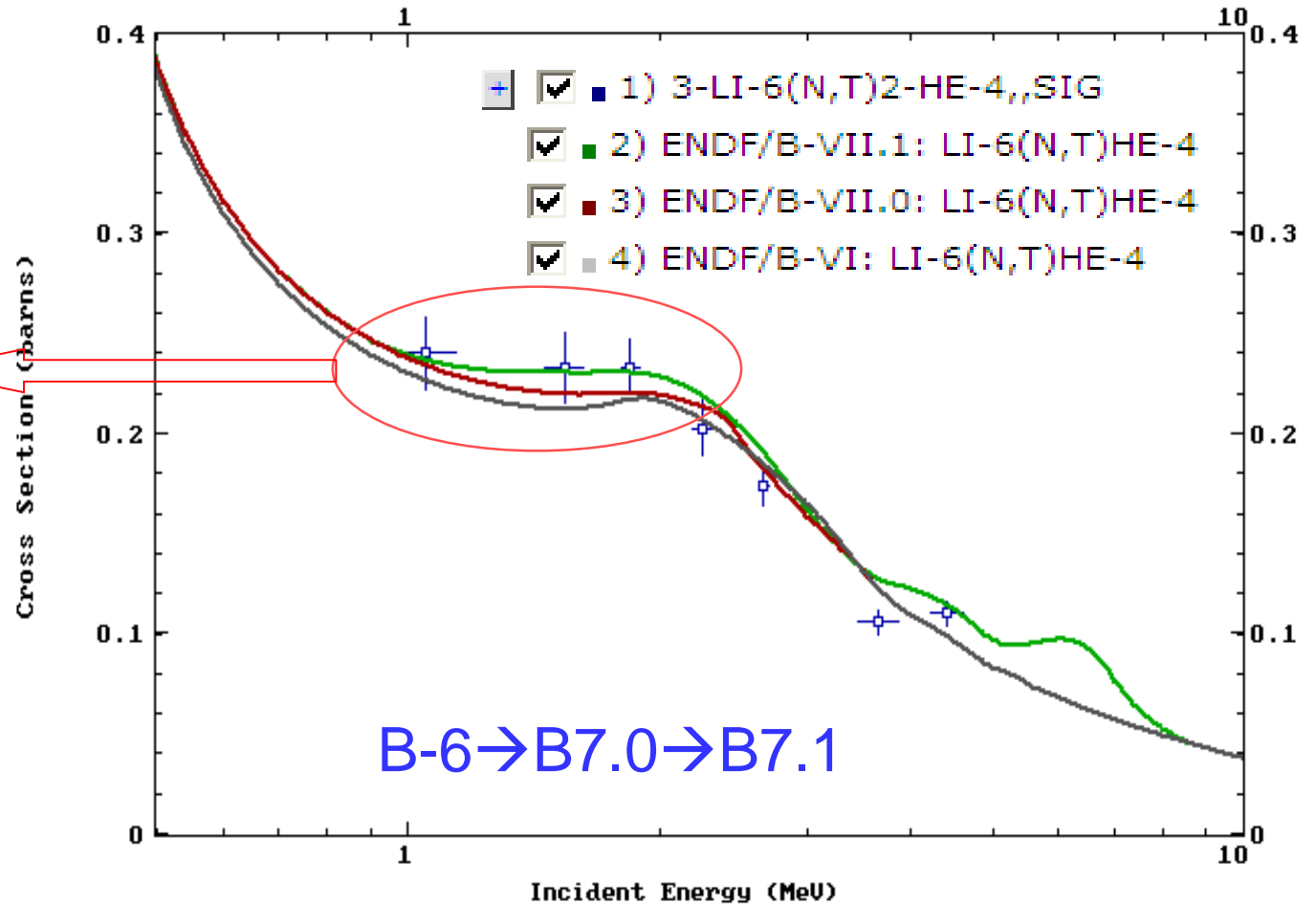
- Select data for plotting [\[all\]](#) [\[none\]](#)
- 1) 3-LI-6(N,T)2-HE-4,,SIG
- 2) ENDF/B-VII.1: LI-6(N,T)HE-4
- 3) JEFF-3.2: LI-6(N,T)HE-4
- 4) JENDL-4.0: LI-6(N,T)HE-4
- 5) BROND-2.2: LI-6(N,T)HE-4
- 6) ROSFOND-2010: LI-6(N,T)HE-4
- 7) Use my data [\[example\]](#)

See: [plotted data](#) (225Kb)

测量结果 (屏栅电离室法)

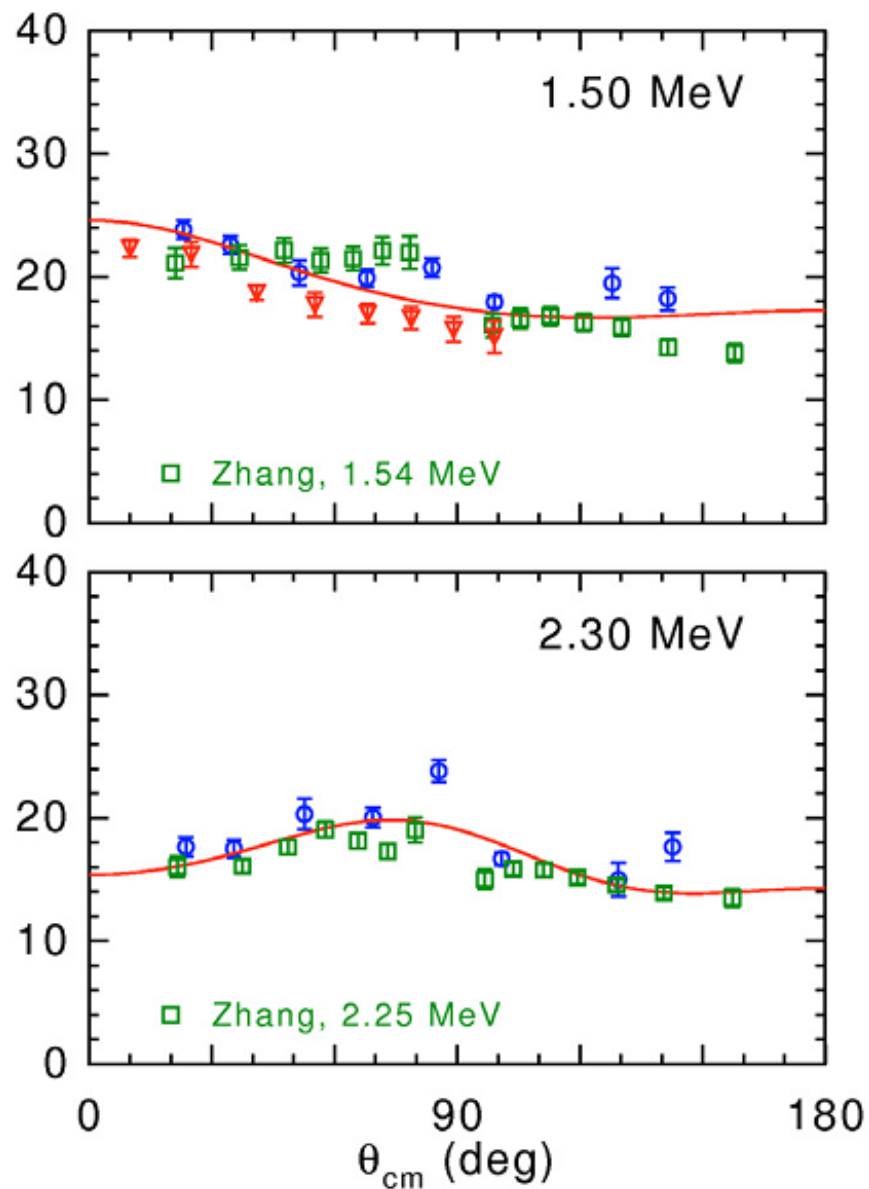
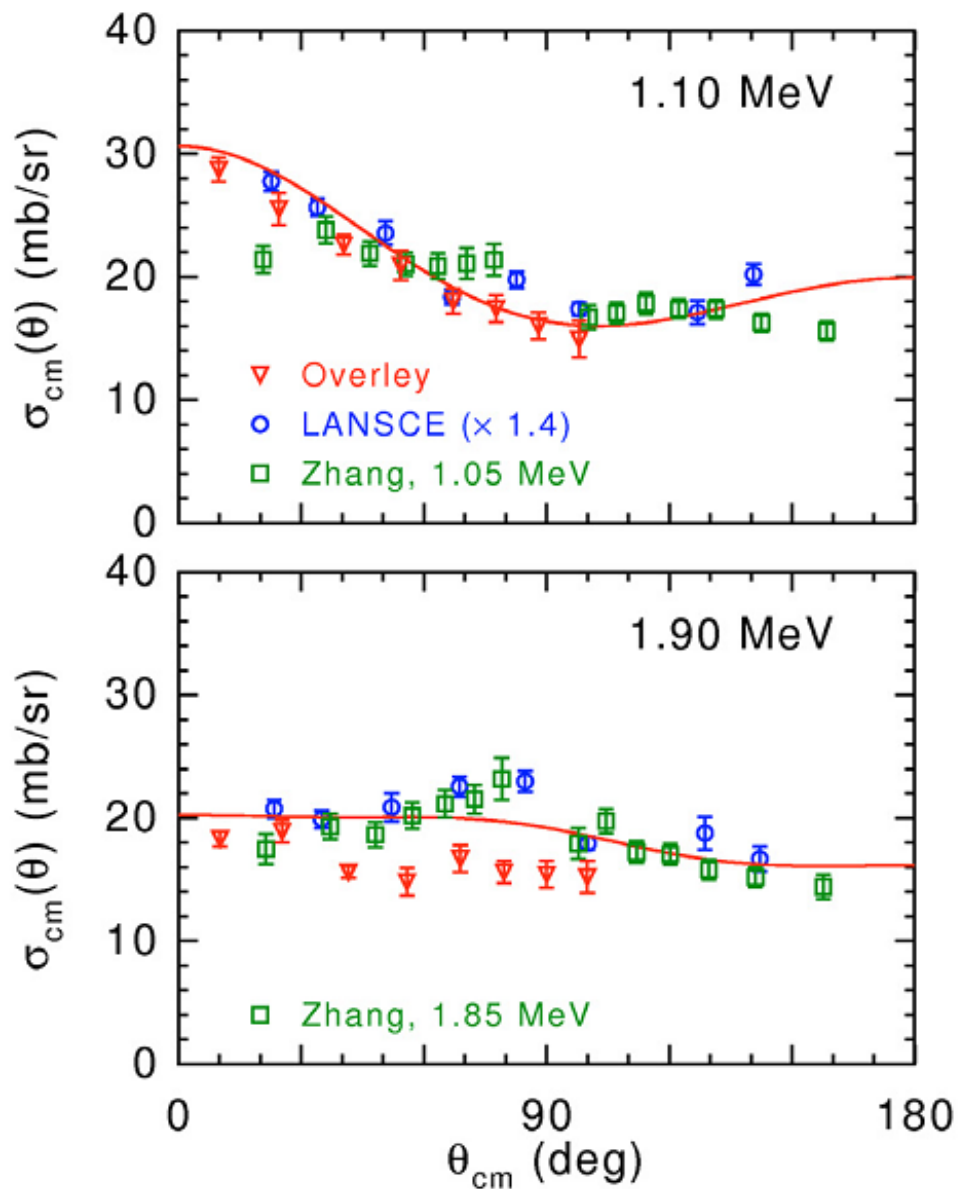


NIM A 566(2006)615
NSE 143 (2005) 86
G. Zhang et al



${}^6\text{Li}(n,t)$ 微分截面

入射中子能量一定的情况下
不同角度发射的氚的微分截面

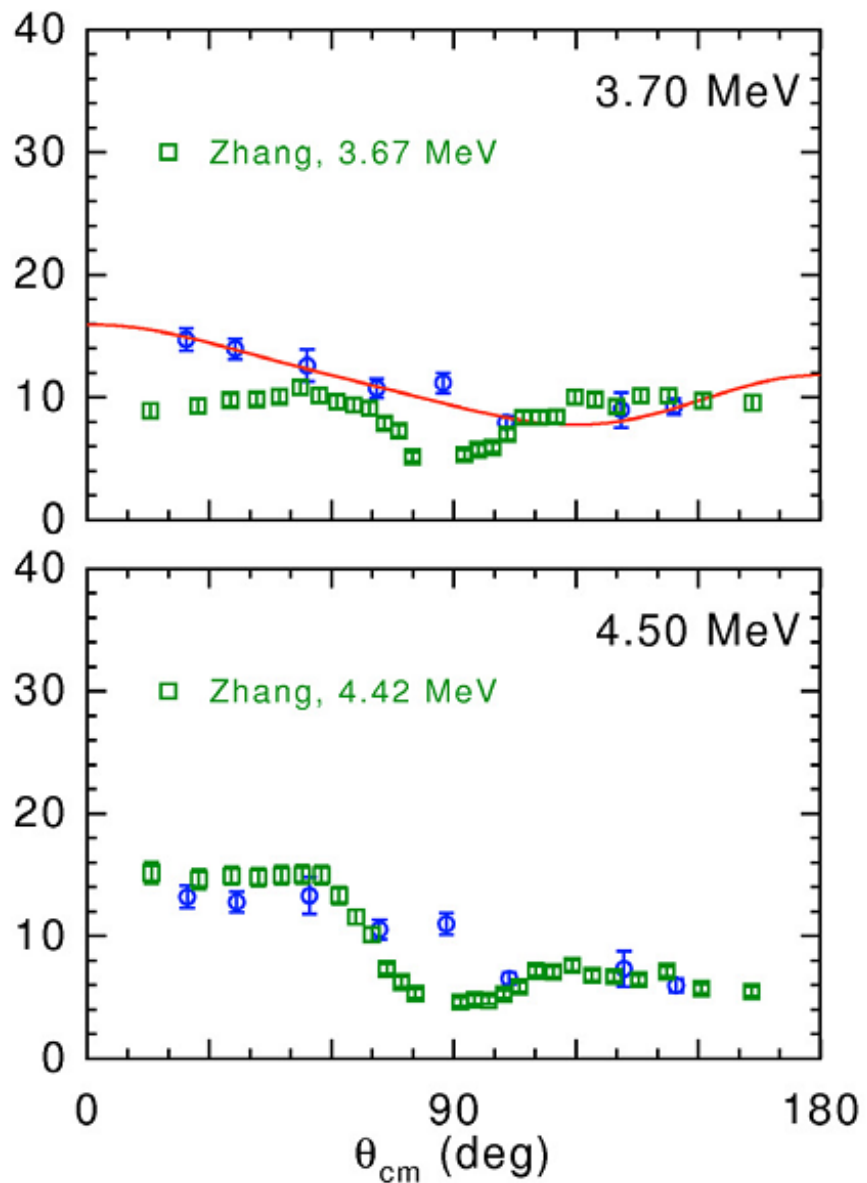
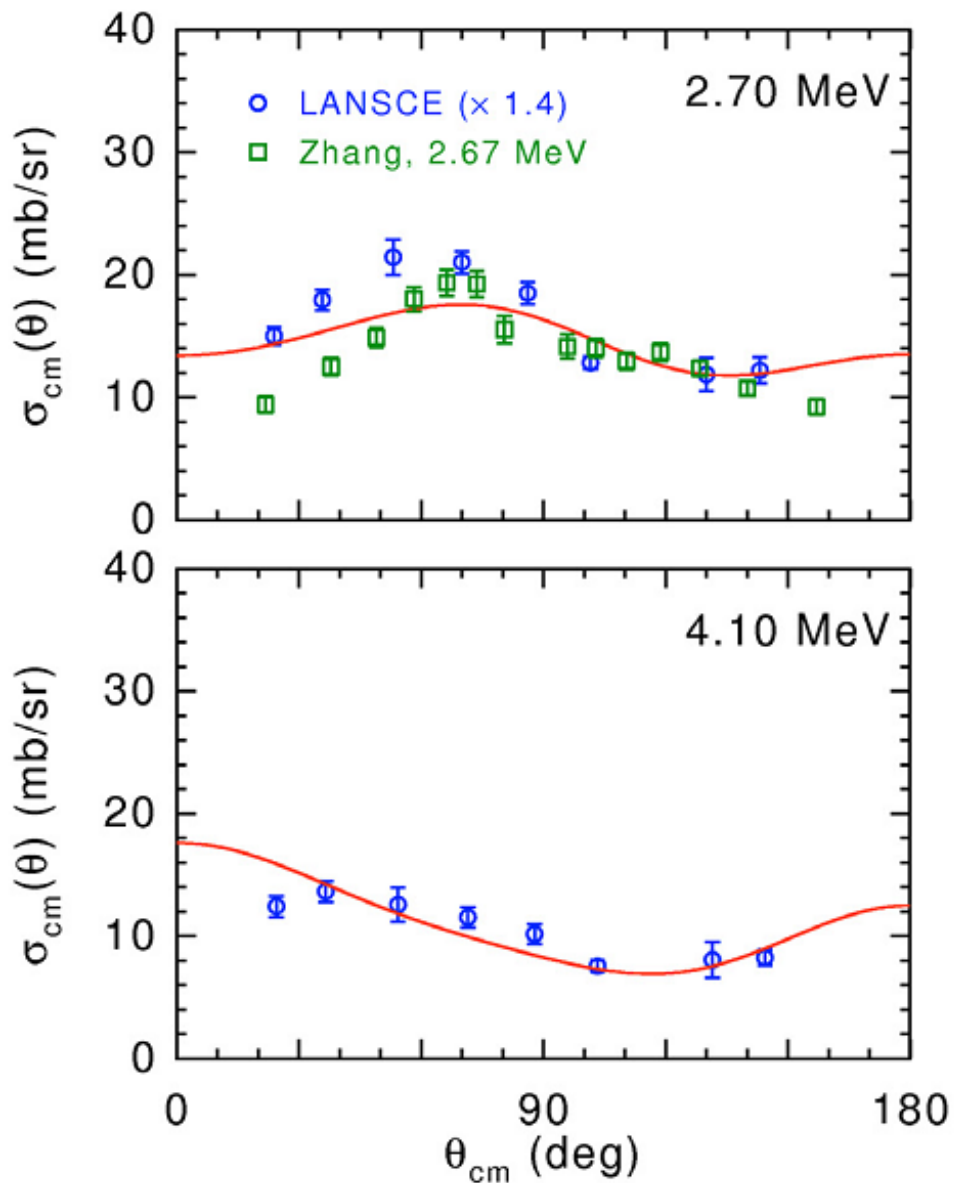


- 质心系氚的微分截面随出射角度的变化(E_n 一定)

- International Conference on Nuclear Data for Science and Technology 2007

- DOI: 10.1051/ndata:07563

微分截面
又分成两类



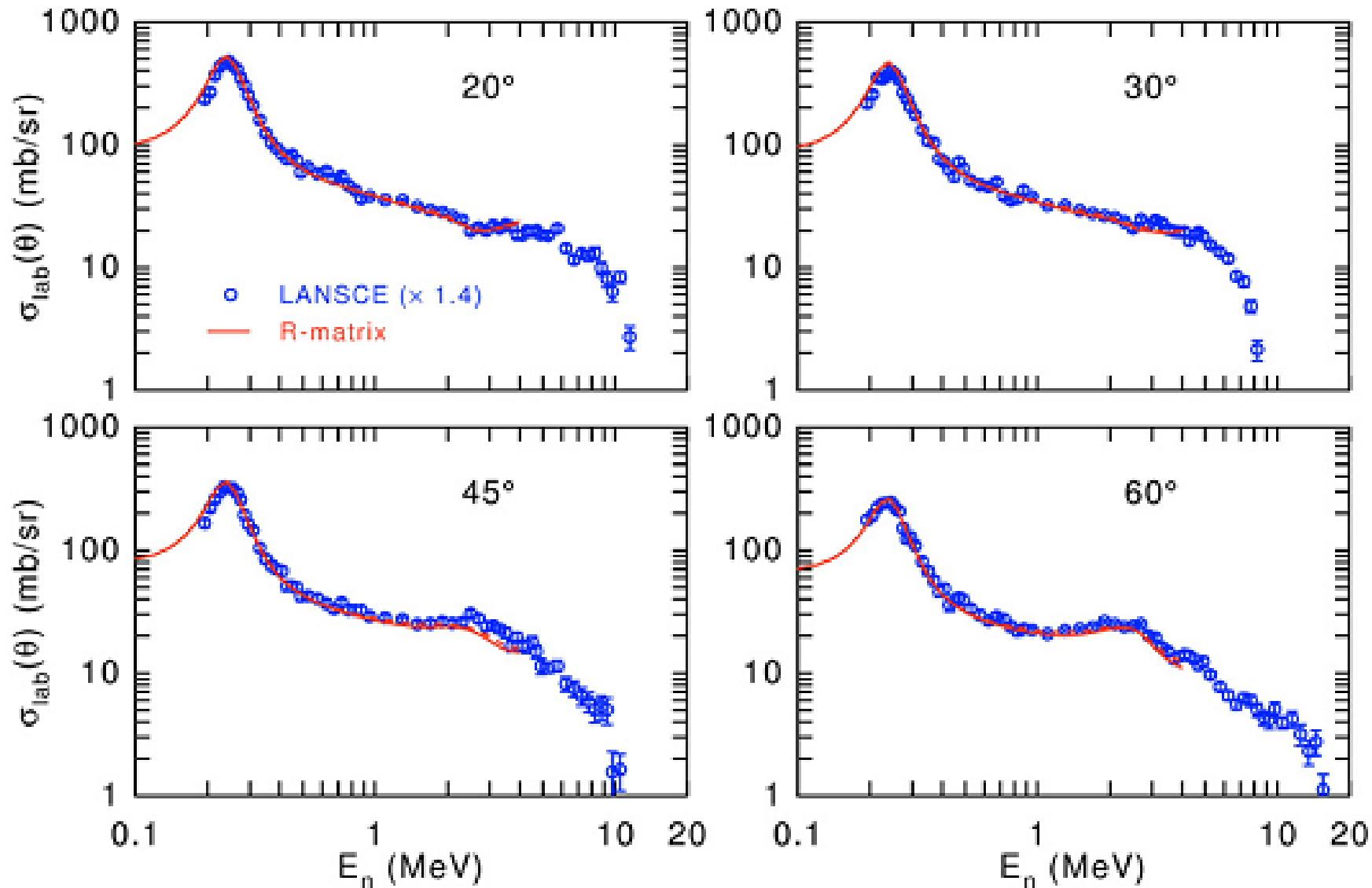
- 质心系氙的微分截面随出射角度的变化(E_n 一定)

- International Conference on Nuclear Data for Science and Technology 2007

- DOI: 10.1051/ndata:07563

${}^6\text{Li}(n,t)$ 微分截面

氘出射角度一定的情况下
不同入射中子能量的微分截面

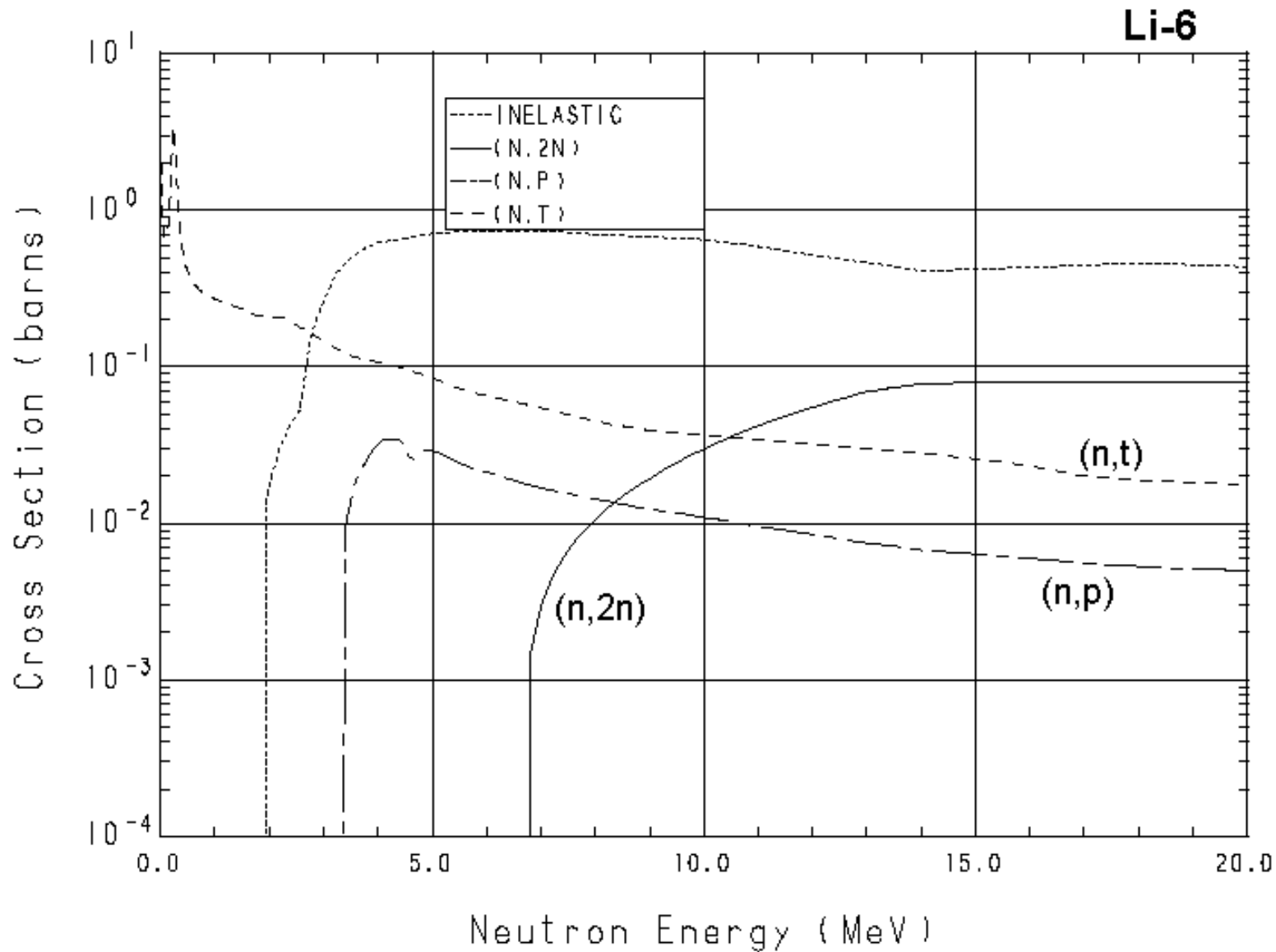


- 实验室系氘的微分截面随入射中子能量的变化 (θ_{lab} 一定)

- International Conference on Nuclear Data for Science and Technology 2007
- DOI: 10.1051/ndata:07563

$n+{}^6\text{Li}$ 反应道

干扰少 能量低



$Q=4.78\text{MeV}$



$Q=-2.773\text{MeV}$



$Q=-1.47\text{MeV}$

选择 ${}^6\text{Li}(n,t){}^4\text{He}$ 的原因与目的

- 反应截面大
干扰反应少
余核无激发态

获得待测事件

- MeV以下能区是标准截面
在0.24MeV附近有一个共振峰

检验系统与amp;方法

- 在几个MeV能区结果分歧较大

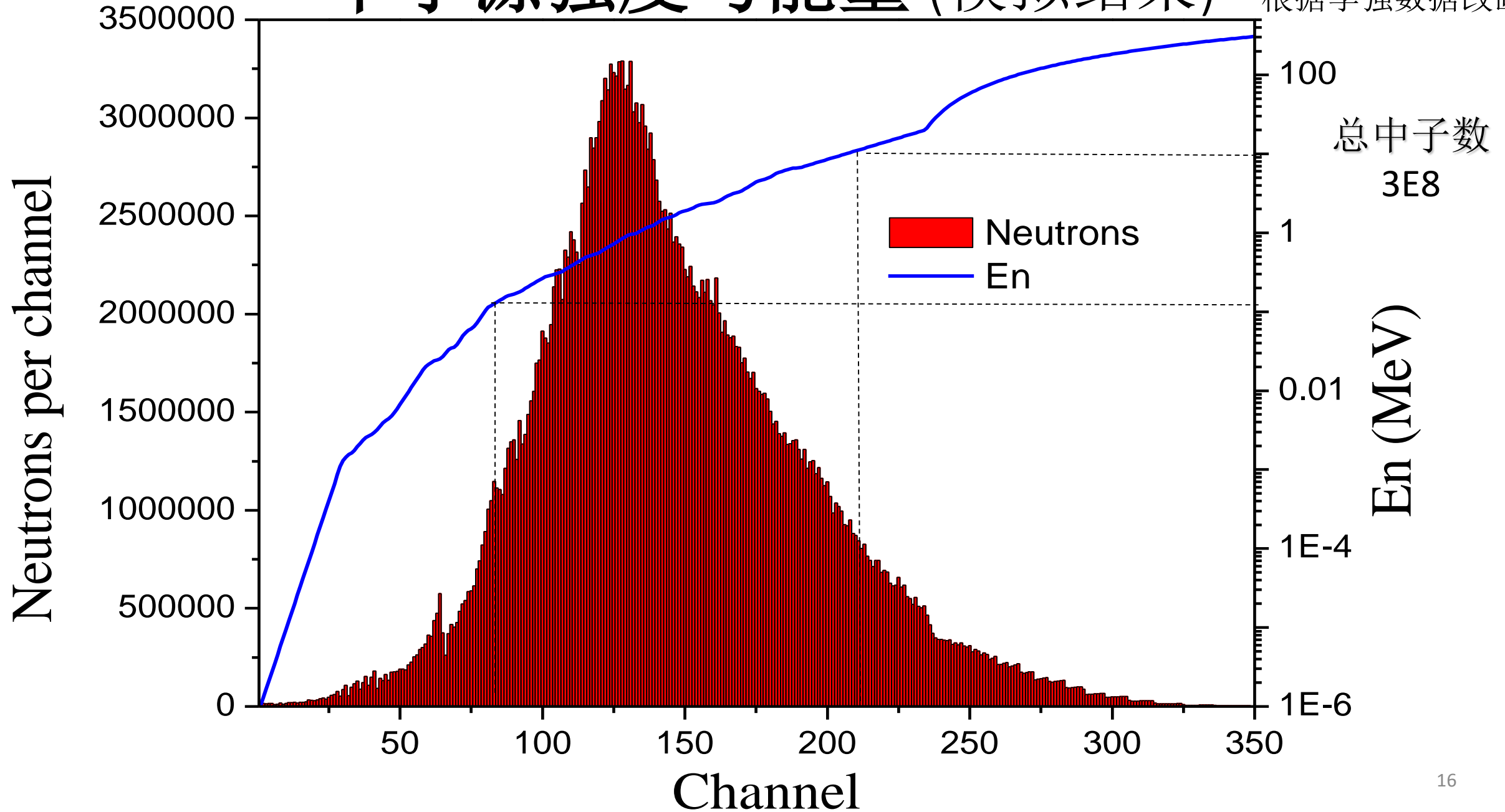
得到新的结果

2. CSNS中子源

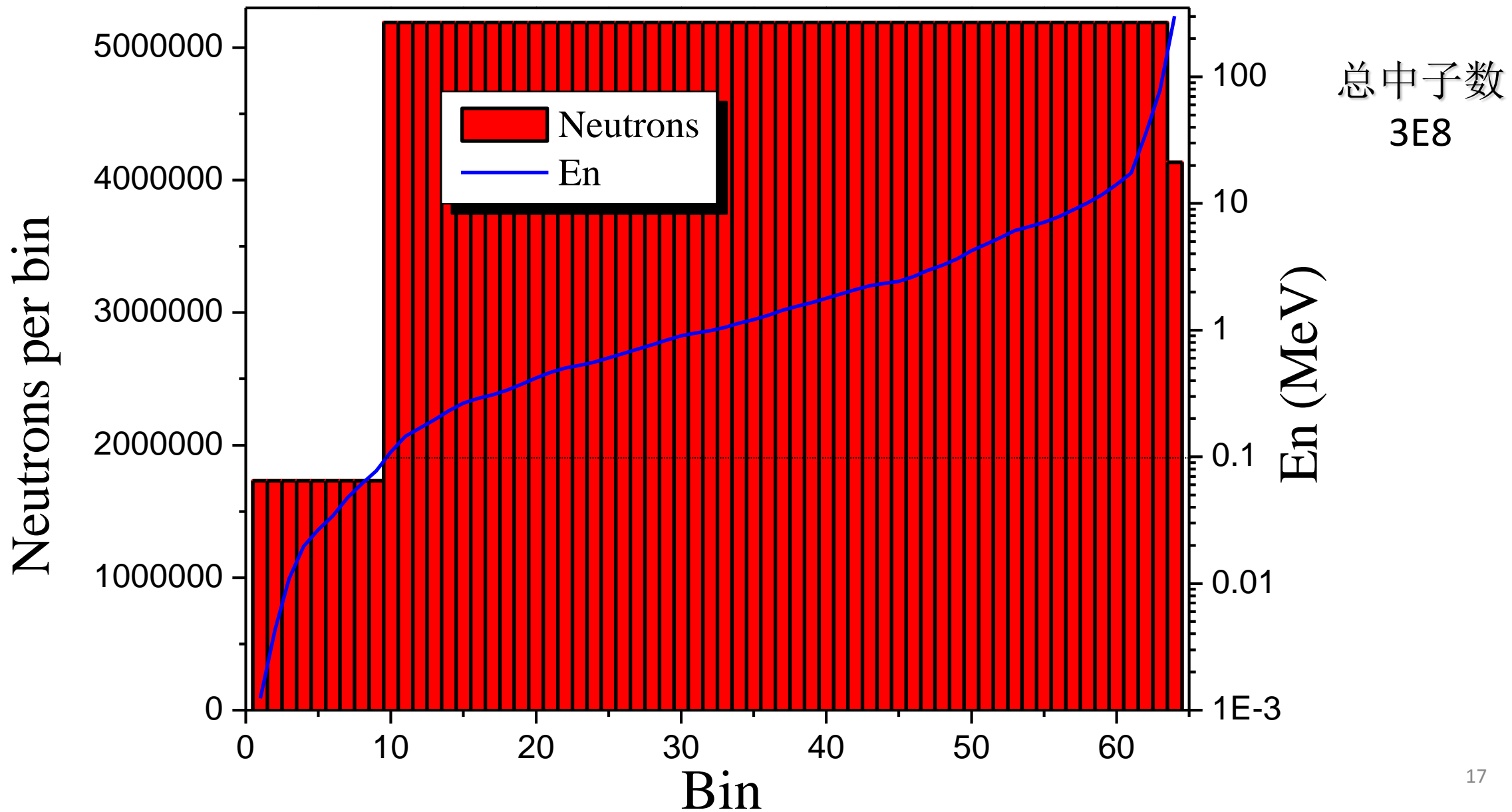
- 正常功率 双束团模式
通量密度 1.5×10^7 n/(s cm²)
注量率 3×10^8 n/s ($\phi 50$ mm)
- 1/10功率 则1/10 单束团模式 再减半
- 中子能谱与通量应有专门的实验测量
保证束斑的空间均匀性与位置稳定性

中子源强度与能量 (模拟结果)

根据李强数据改画



重新划分能量间隔 (合道)



3. 样品参数

- 待测样品

${}^6\text{LiF}$ (${}^6\text{Li}$ 富集度91%)

厚度 1.0 mg/cm^2 (不均匀性 $<8\%$ ${}^6\text{Li}$ 核数误差 $<2\%$)

直径 50 mm

- 衬底/本底片 (本底需要测量)

Ta片 厚度0.1mm 背对背双样品

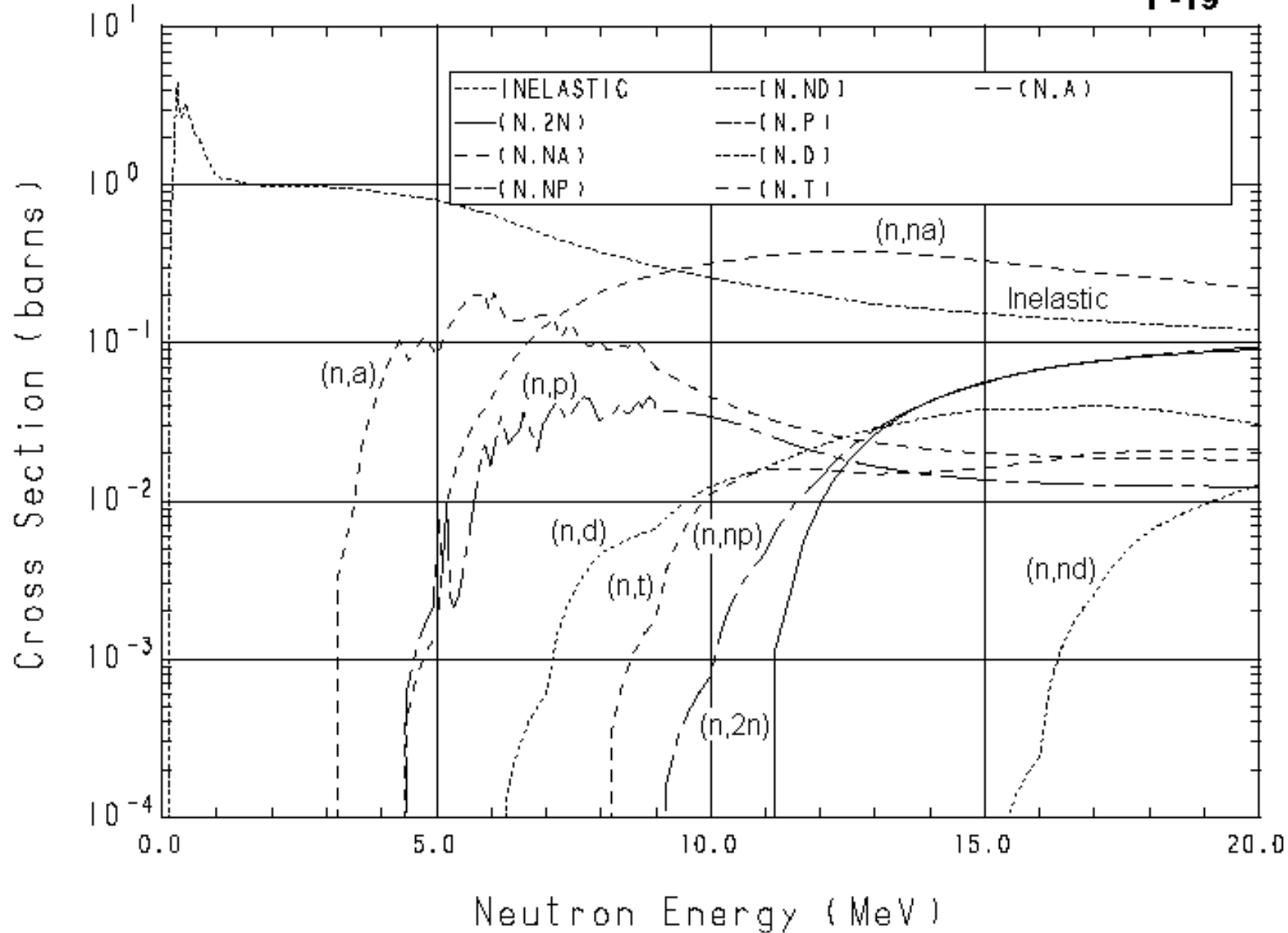
(或mylar($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_4$)膜 厚度0.8 mg/cm^2 单样品)

直径 60 mm

$n+^{19}\text{F}$ 主要反应道

F-19

丰度100%



- $^{19}\text{F}(n,\alpha)$
Q=-1.525MeV
- $^{19}\text{F}(n,p)$
Q=-4.038MeV

4. 粒子探测器

- 2类探测器

$\Delta E-E$ 面积 $3.0 \times 3.0 \text{cm}^2$

Si半导体 $2.5 \times 2.5 \text{cm}^2$

- 位置

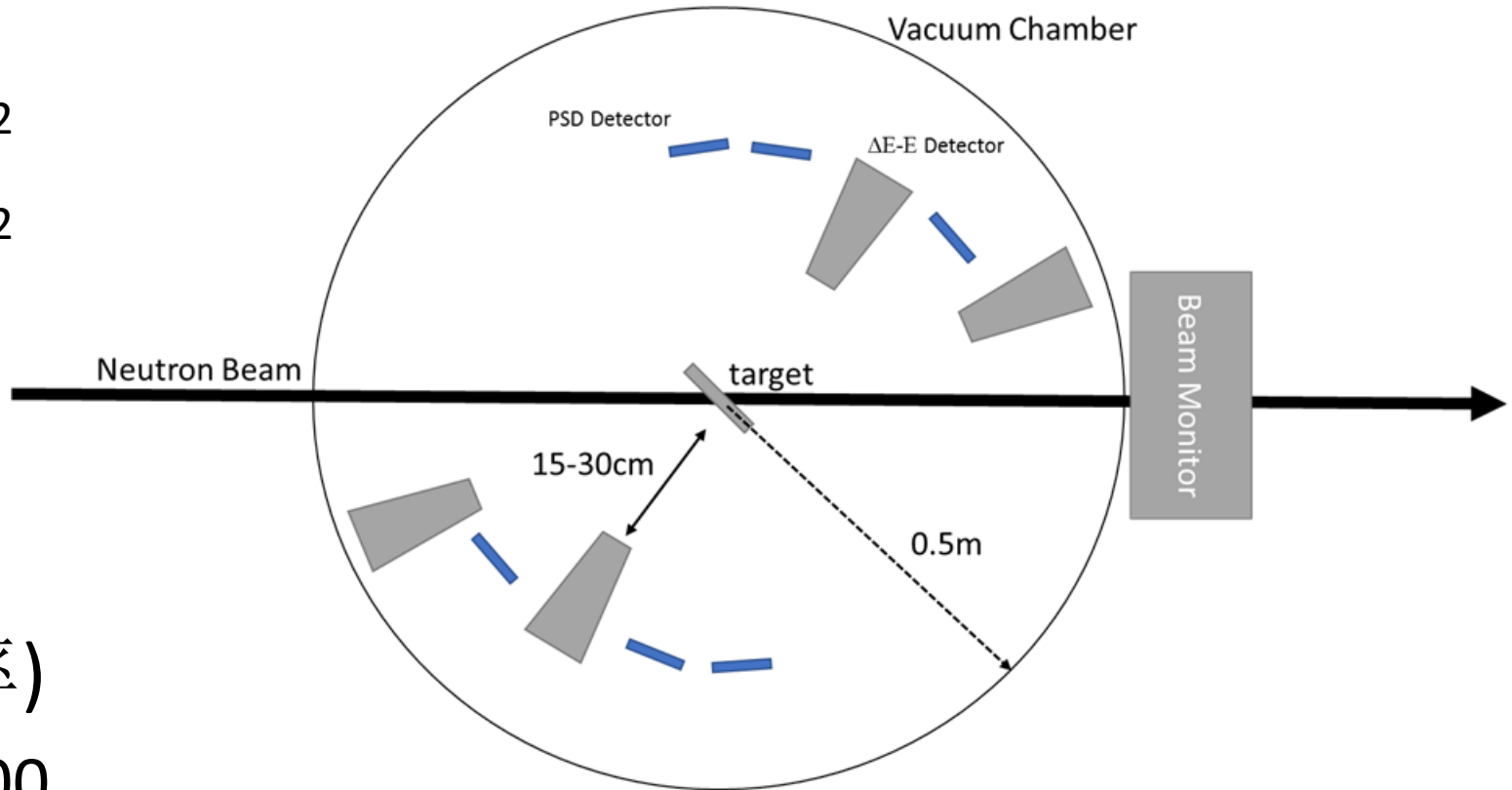
8个以上角度

距离样品 $\sim 20 \text{cm}$

- 探测器立体角(效率)

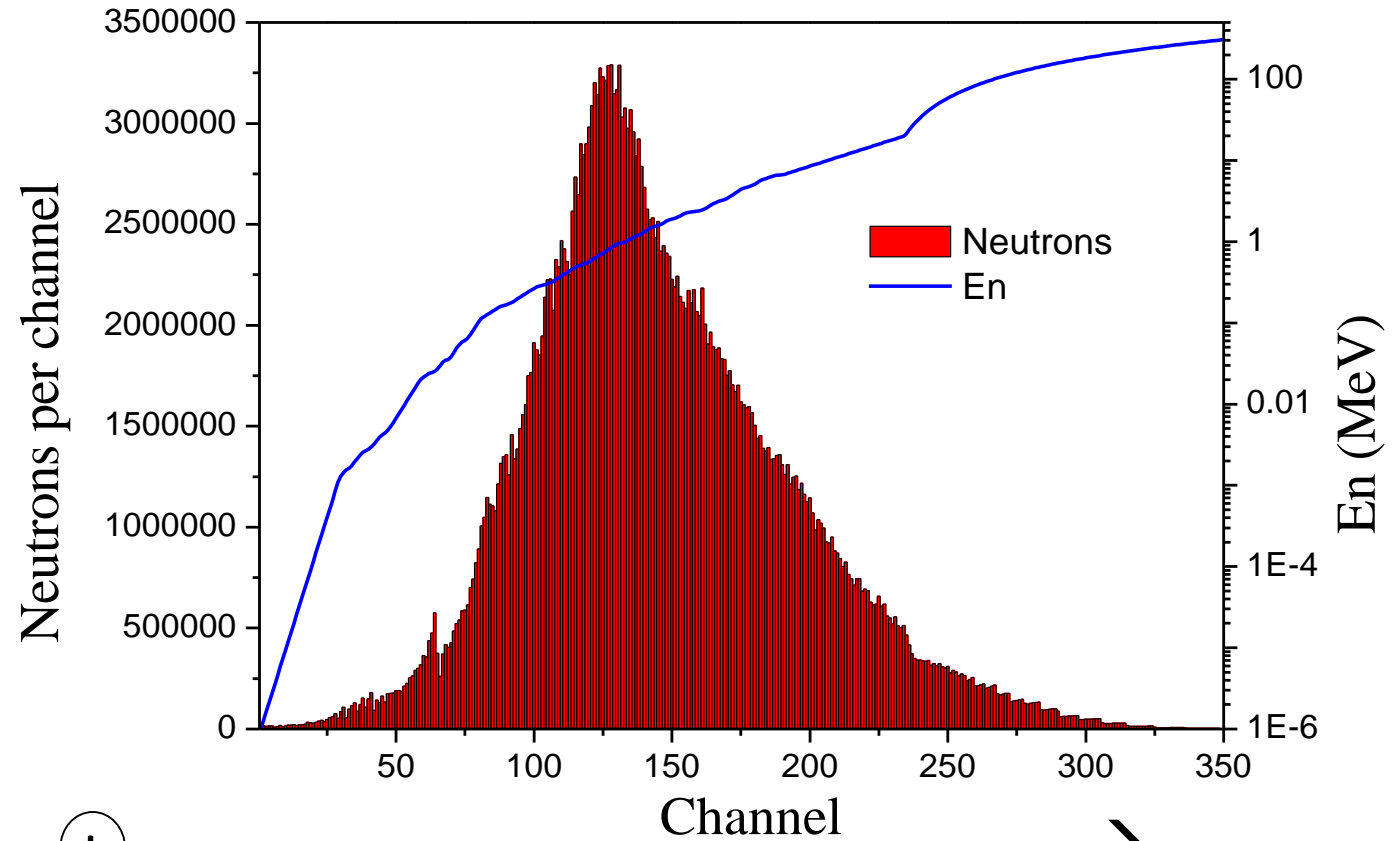
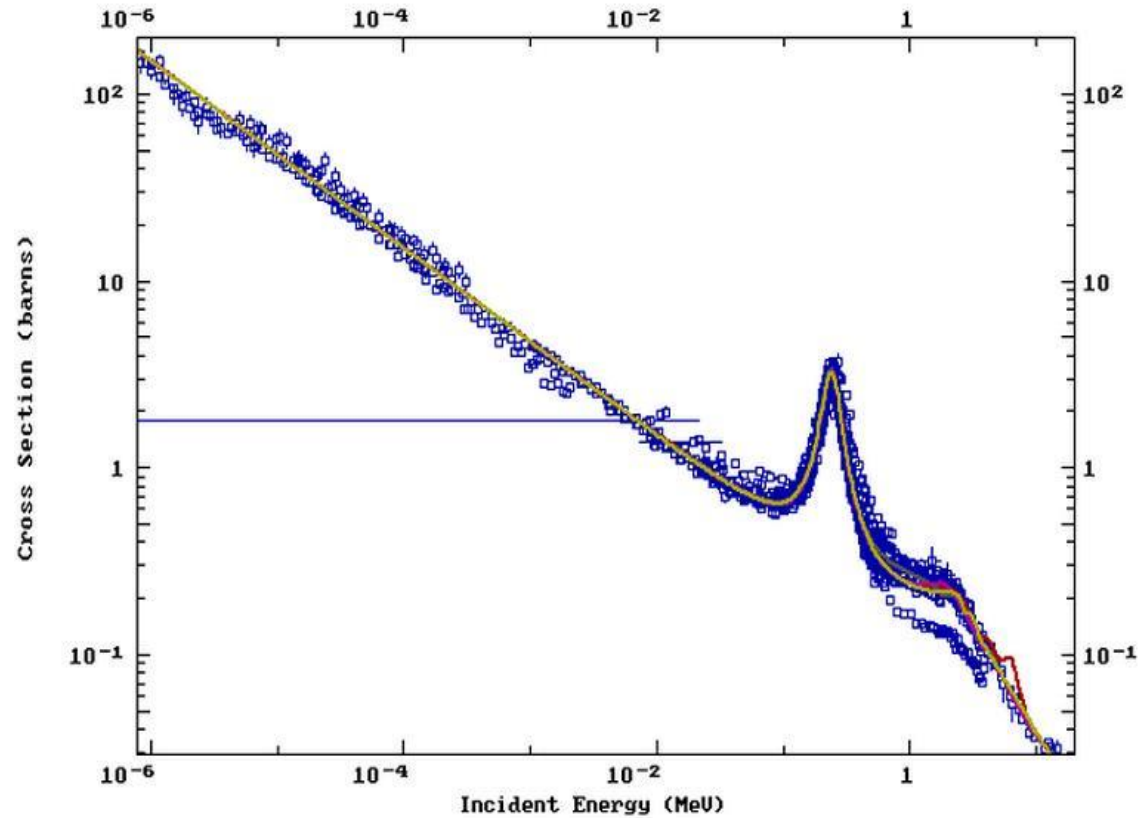
$$6.25 / (4\pi \times 20^2) = 1.2 / 1000$$

模拟计算 实验测量(α 源)



样品与束流成 45°

5. 计数率估计



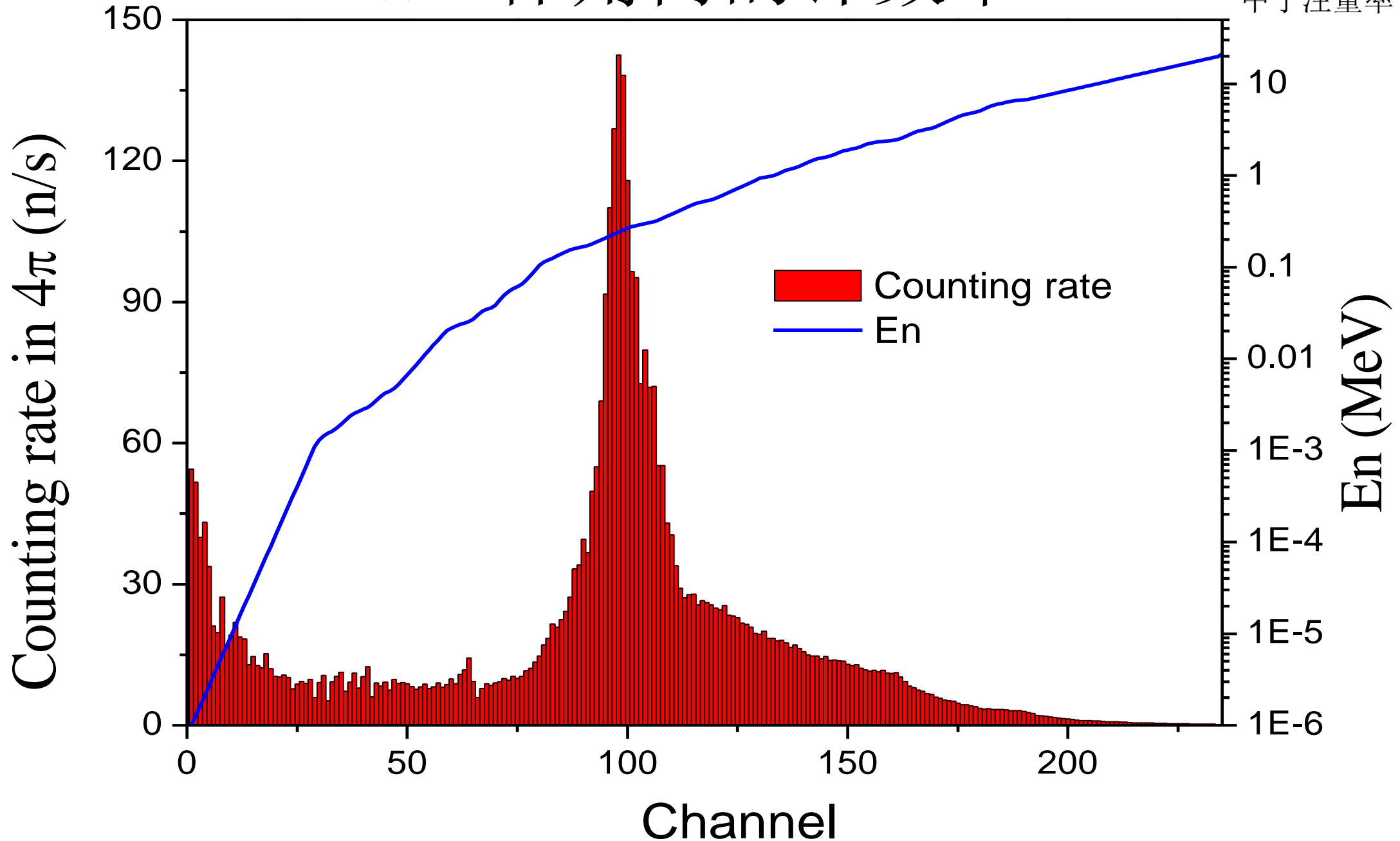
+



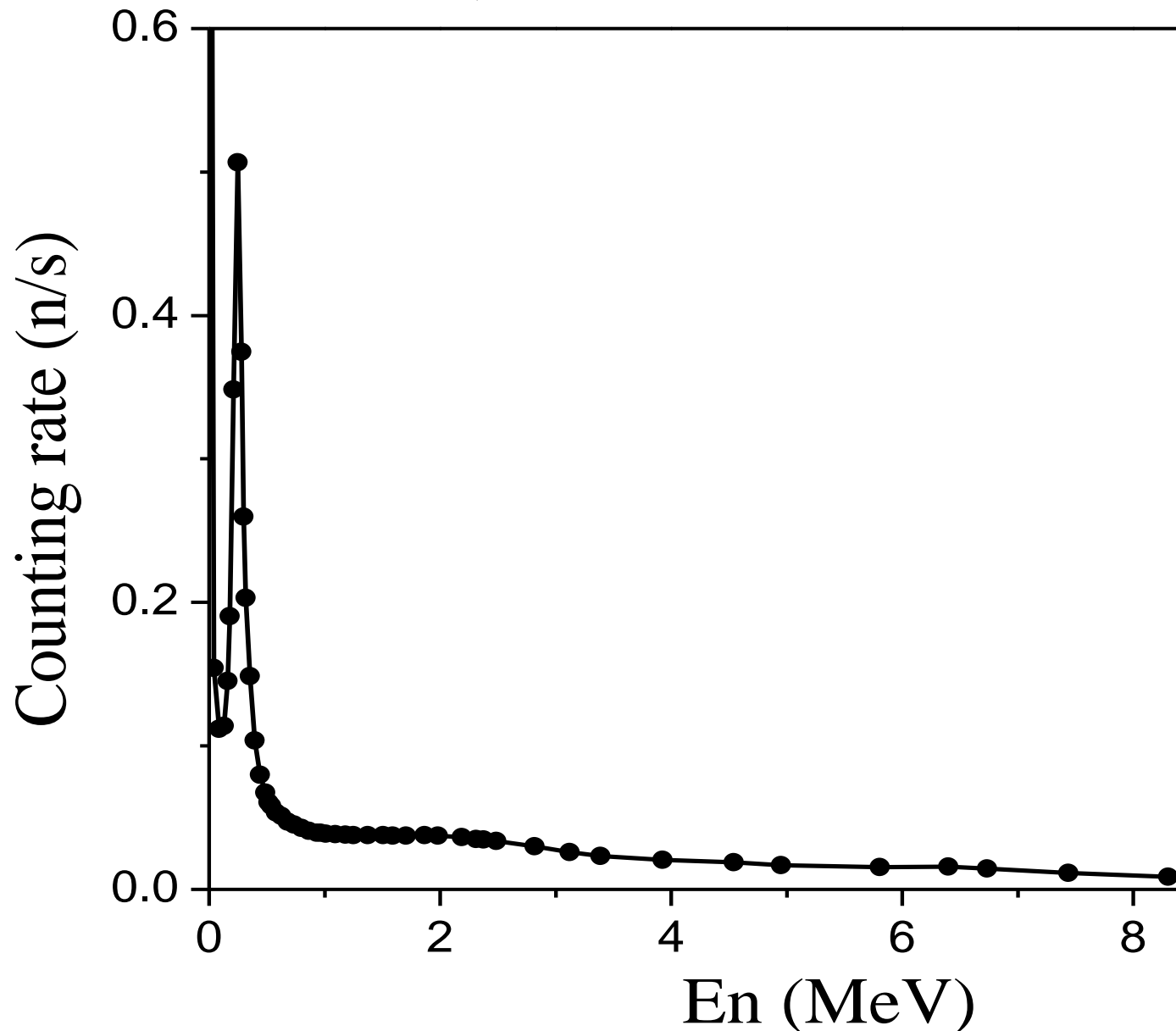
4 π 立体角内的计数率

^6LiF 样品厚度 1mg/cm 2

中子注量率 3E8 n/s



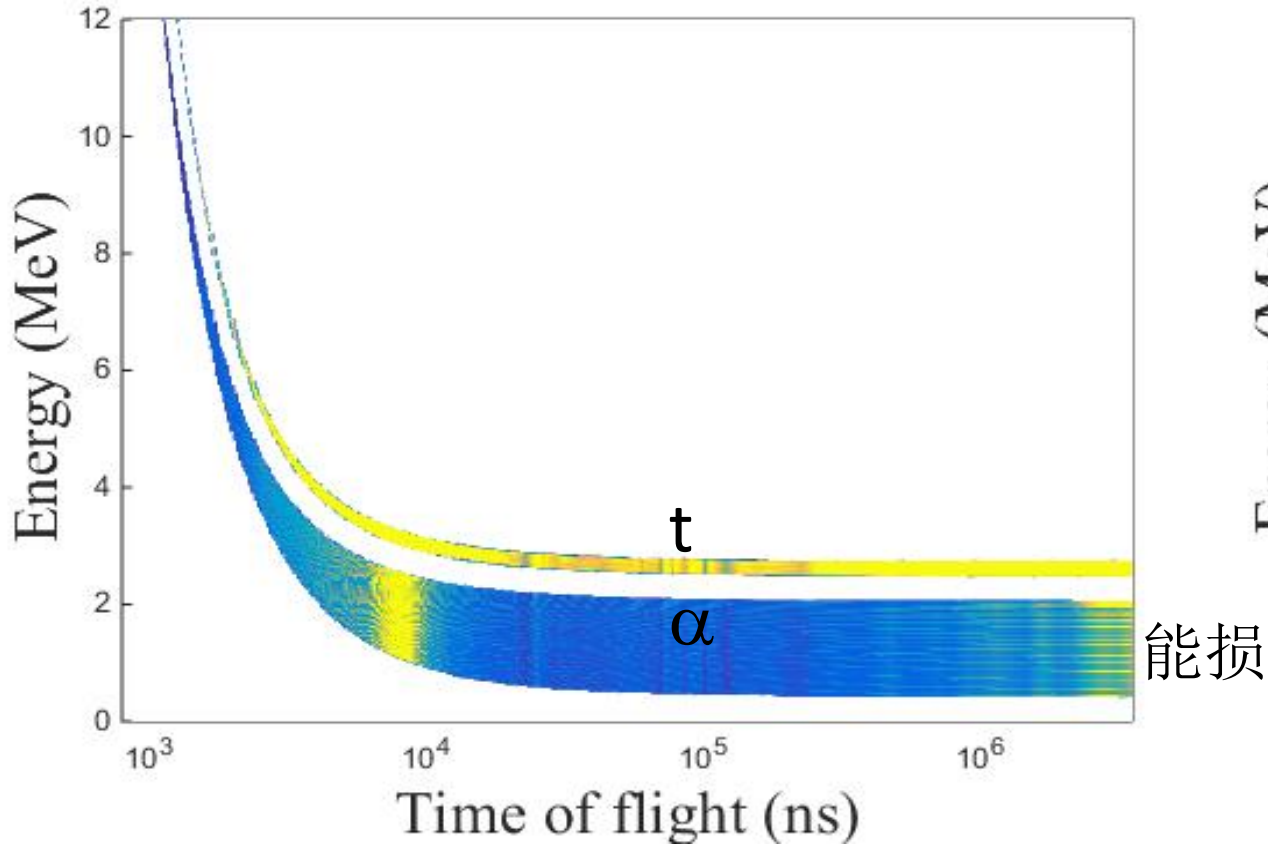
单个探测器平均计数率 (能量合道后)



- 1MeV平均计数率 ~ 0.04 Count/s
- 4MeV附近平均计数率减半
- 8MeV附近平均计数率再减半：
→ 0.01 Count/s
400计数 (统计误差5%)
需要40000s = 11h
- 1/10功率 单束团 需220h= 2周
- 还要测量本底 (~1周)
- 束流时间**3—4周**
- 如样品厚度减半 时间加倍
- 更好的统计需要更长的时间

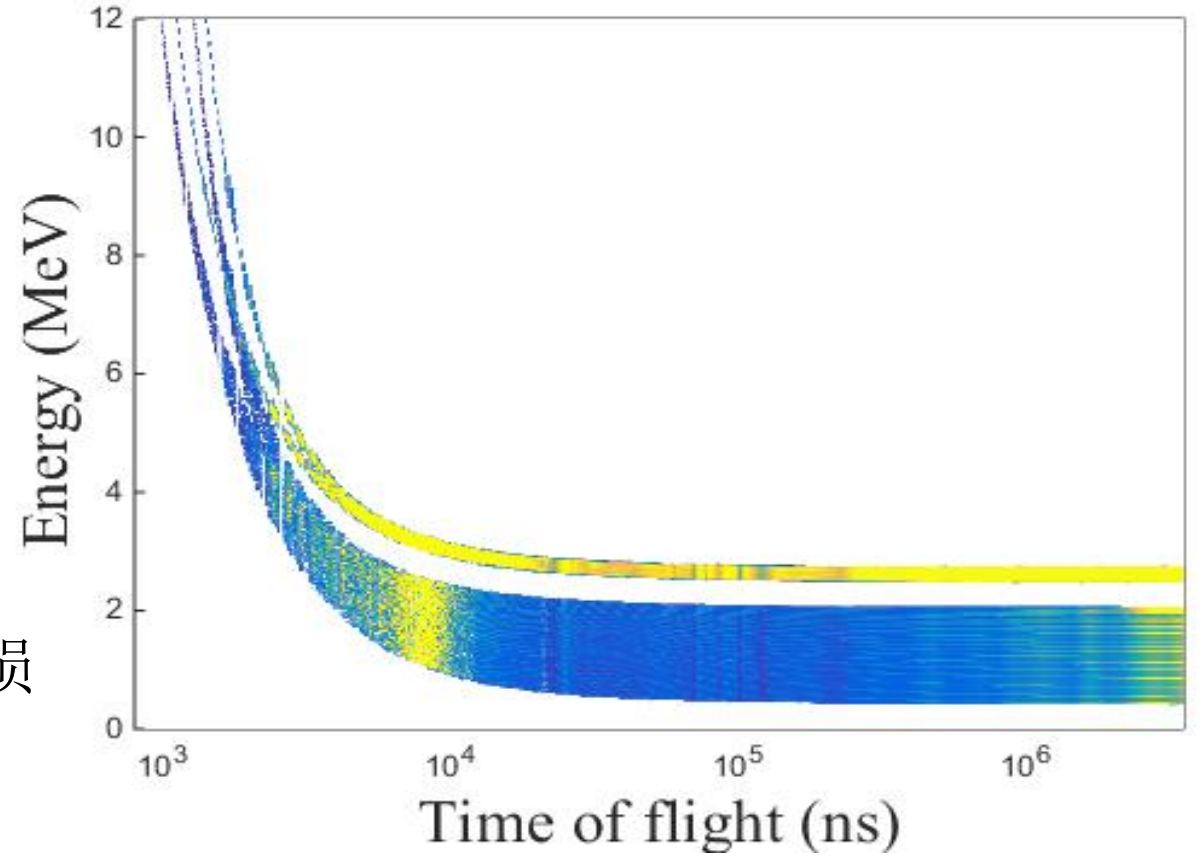
预测实验谱

$\theta=20^\circ$



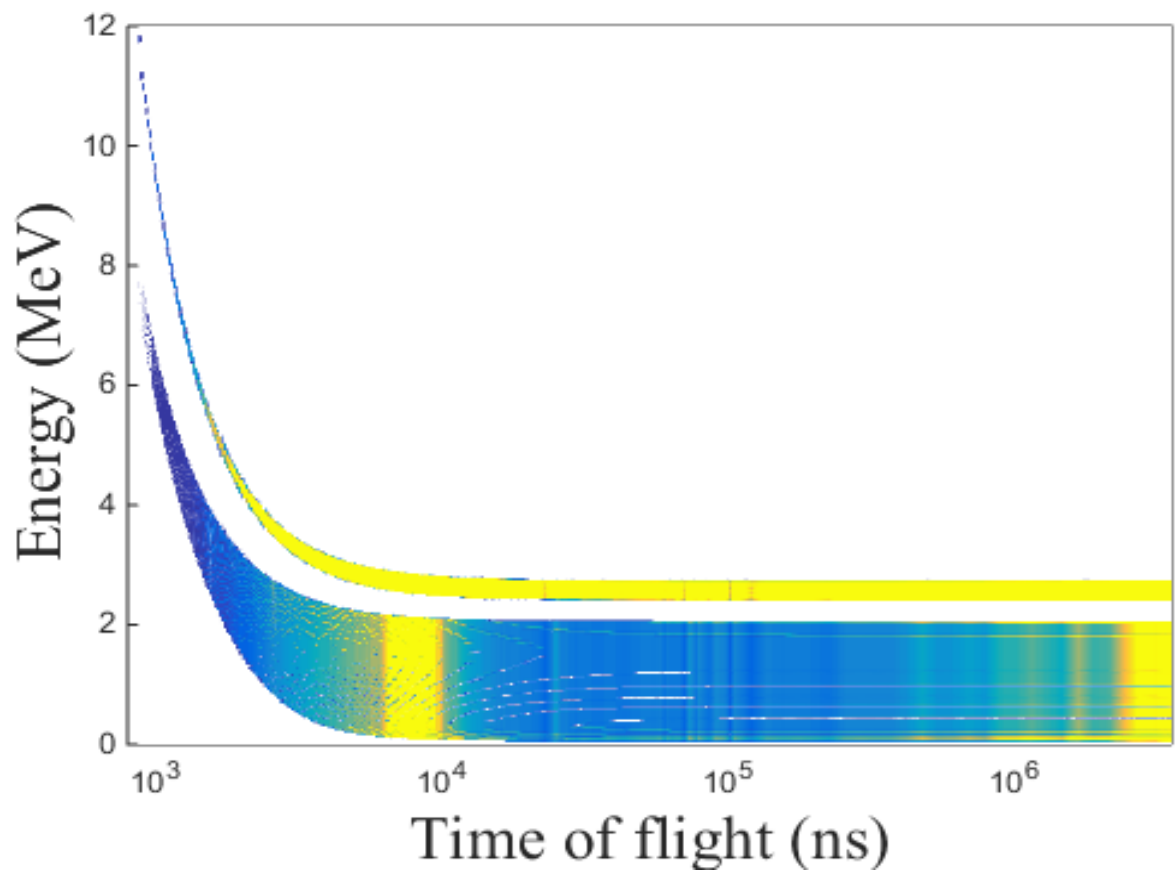
单束团

$\theta=20^\circ$

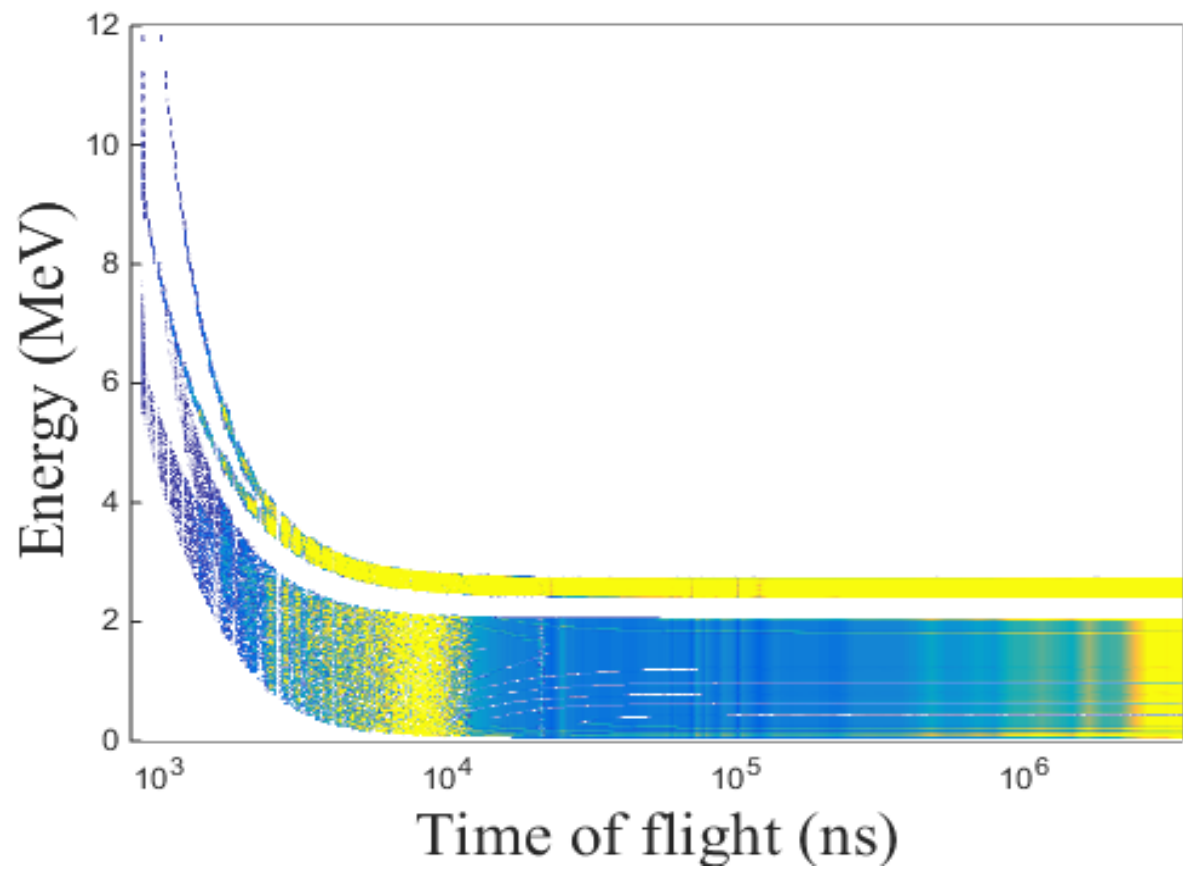


双束团

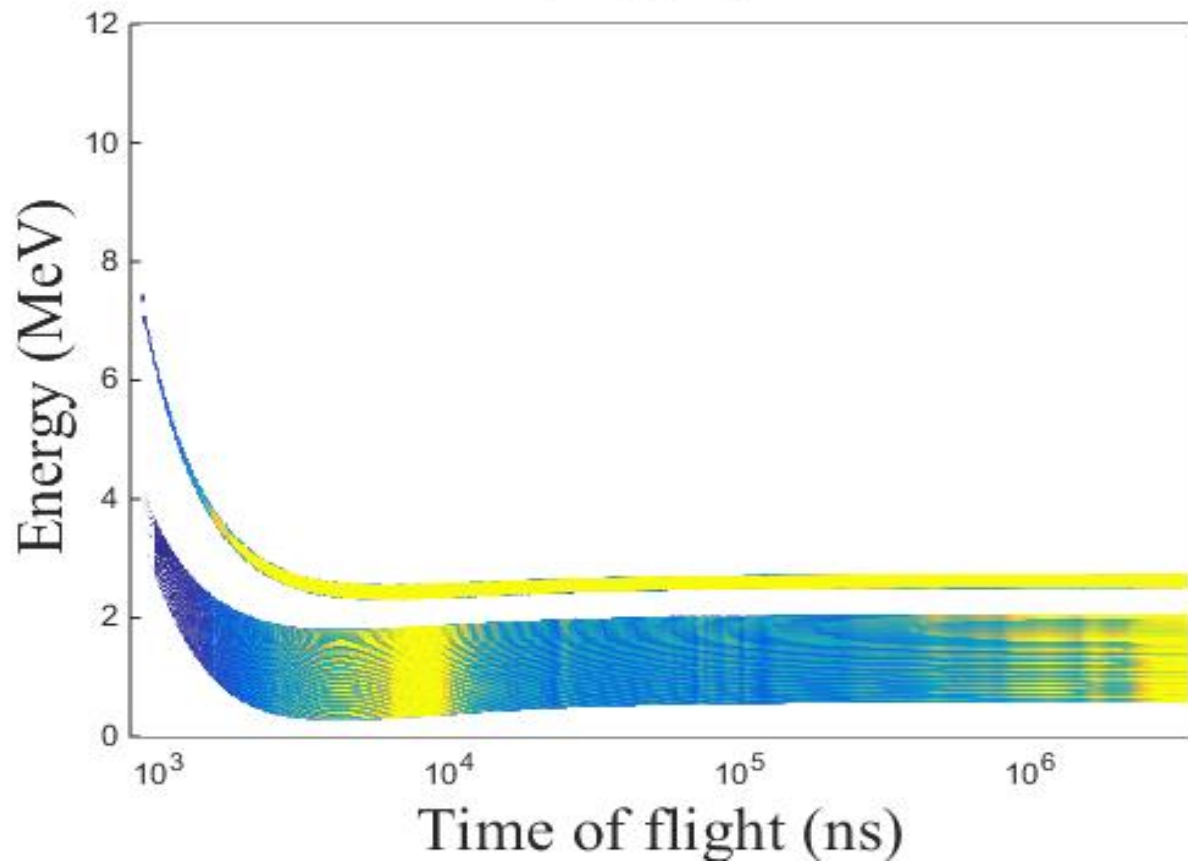
$\theta=90^\circ$



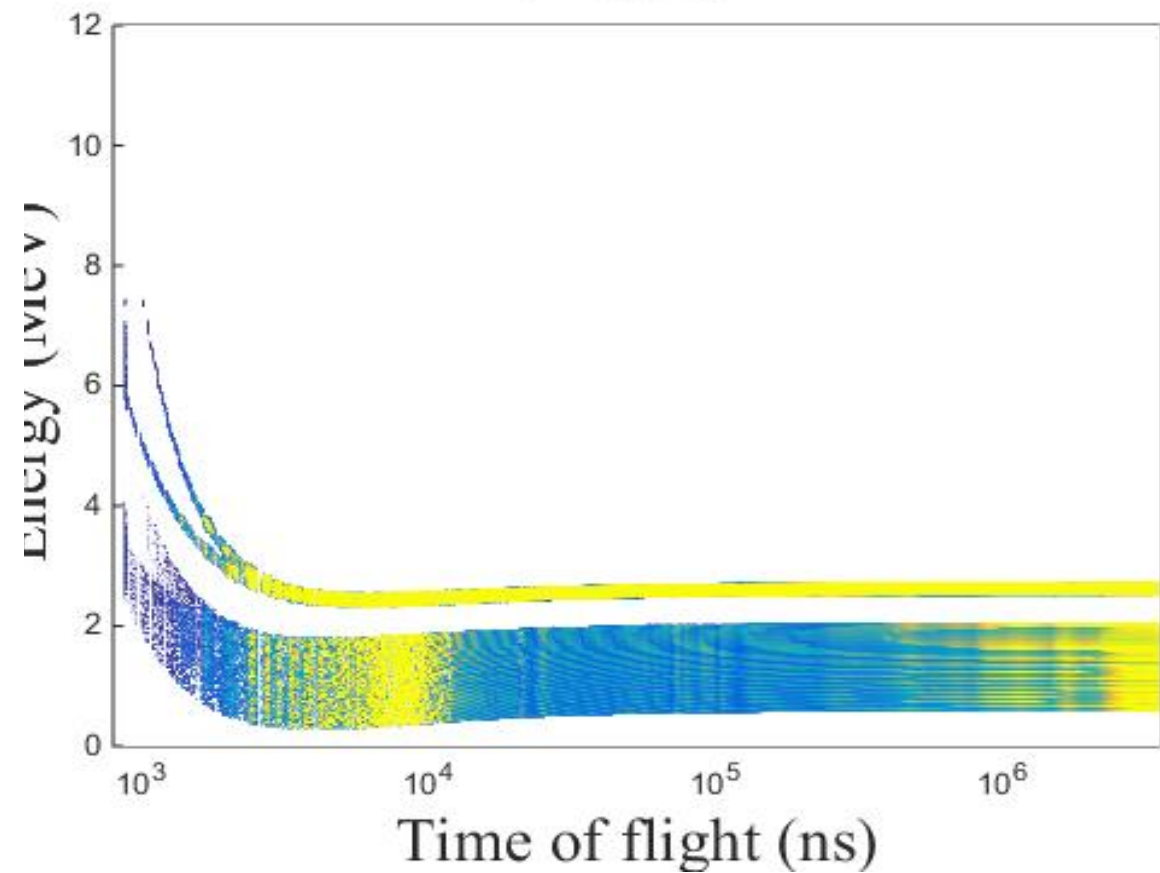
$\theta=90^\circ$



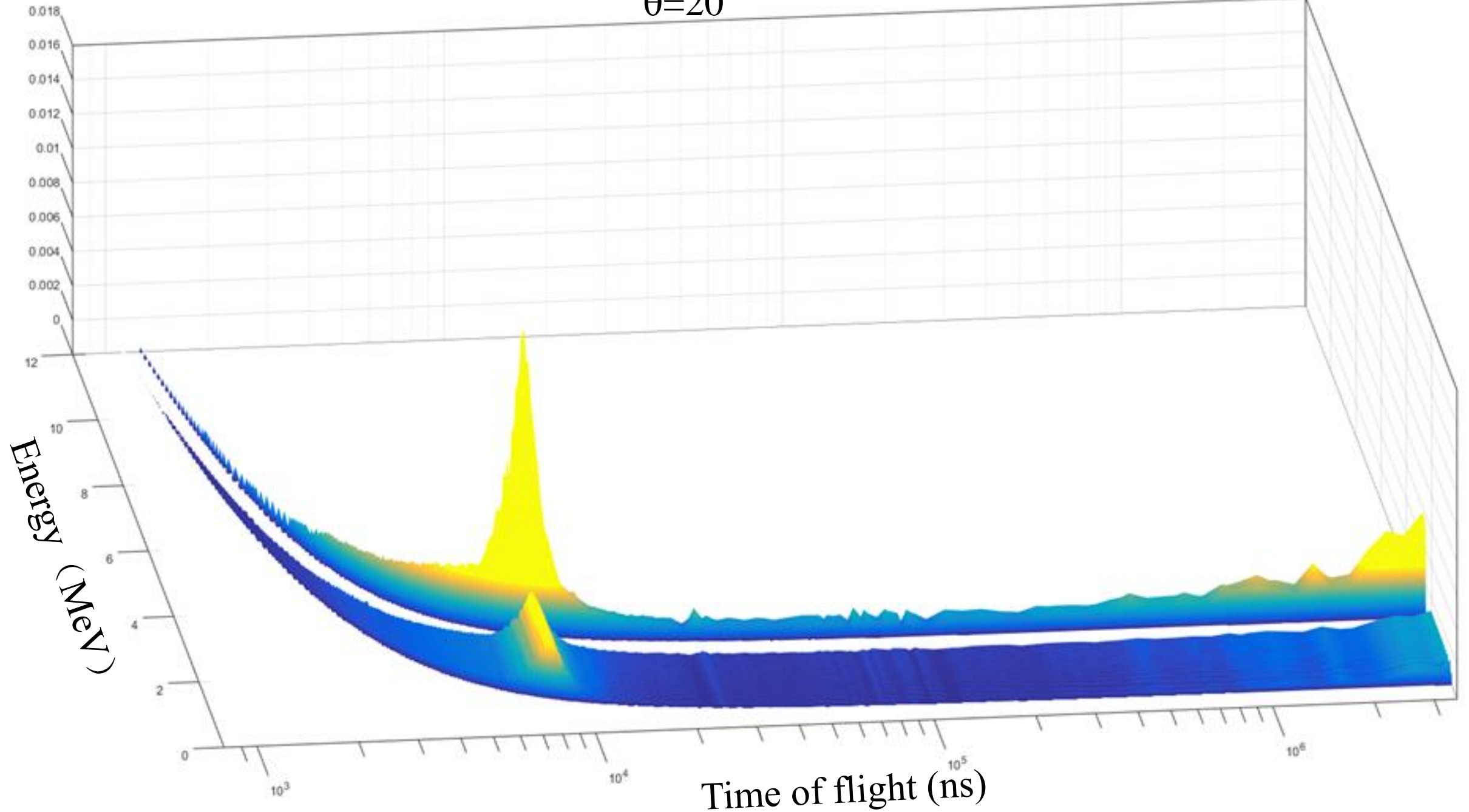
$\theta=135^\circ$



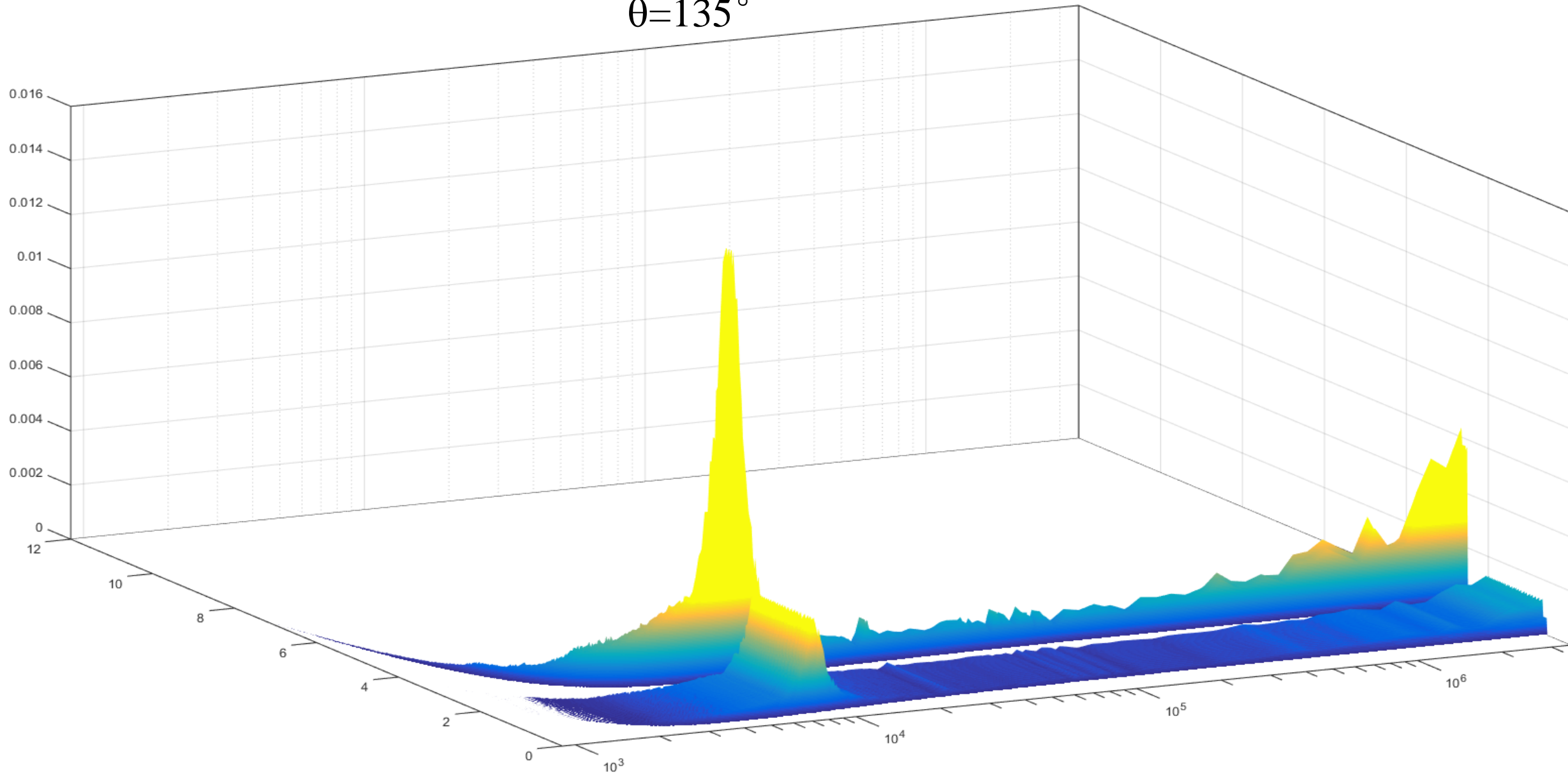
$\theta=135^\circ$



$\theta=20^\circ$



$\theta=135^\circ$



核心问题

CSNS ${}^6\text{Li}(n,t){}^4\text{He}$ 反应 带电粒子实验测量

- 低能粒子因吸收(下阈)及本底(+噪声)而探测不到
探测器下阈越低越好
- 高能粒子因反应截面低而统计不够
中子源强越高越好

结论

- CSNS首批实验 ${}^6\text{Li}(n,t){}^4\text{He}$ 测量
在1/10功率中子源强情况下
如果中子源均匀稳定+探测器及获取系统等正常
- 得到0.1~0.4MeV能区的数据相对容易(~2周束流时间)
得到1~10MeV能区的数据需要~1个月的束流时间

以上计划需要检查、确认与完善。

请各位提出批评与建议！

谢谢！

下一步工作

- **探测器(靶室)的测试**

探测器立体角(效率)测量

探测器单元的数据获取

- **编制实验数据处理软件**

实时显示已获取的测量事件

数据处理得到微分截面与截面(含误差分析)

- **理论分析与模拟计算**

R矩阵分析 RAC MCNPX GEANT4

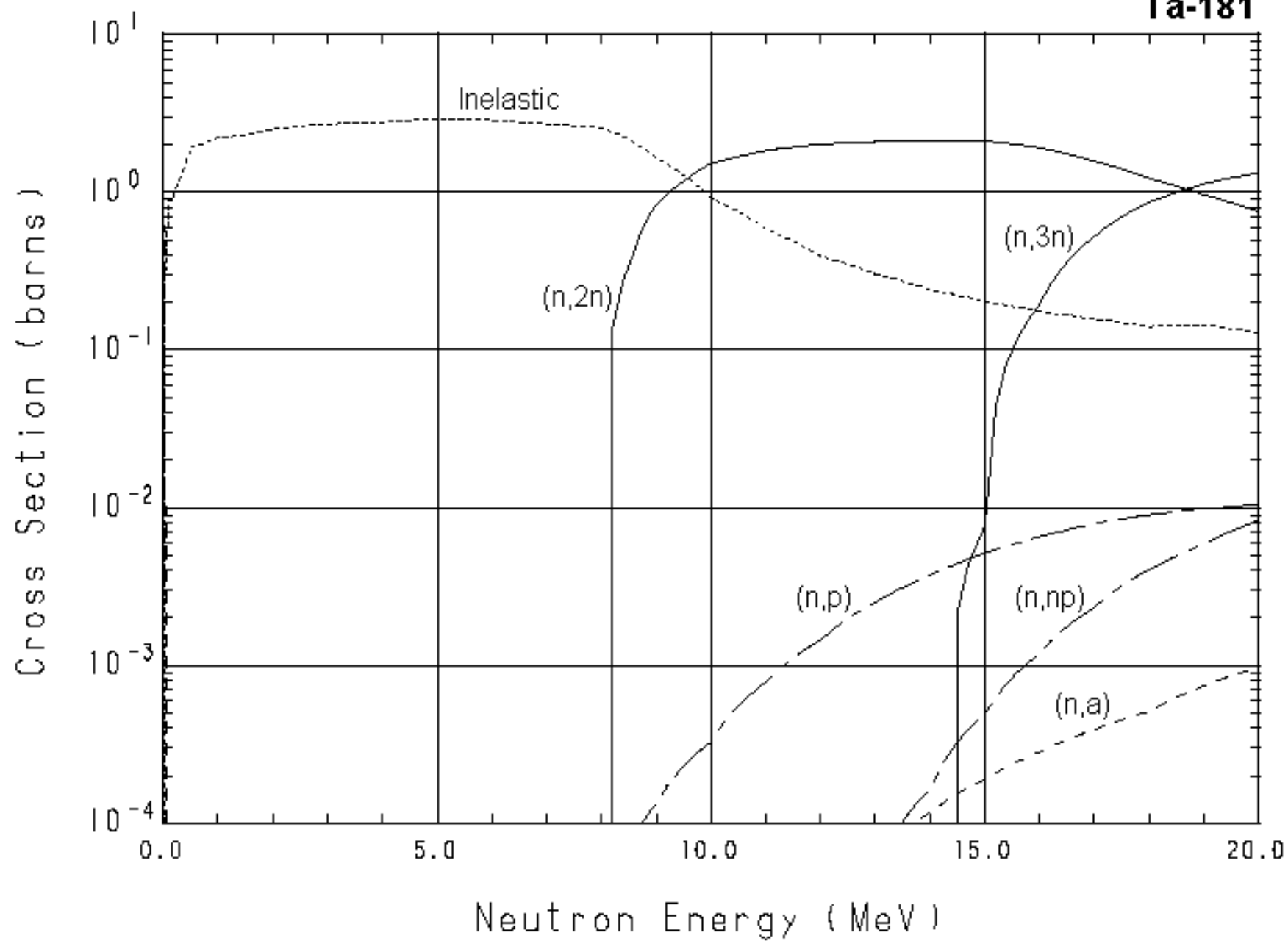
不同能量的中子飞行时间

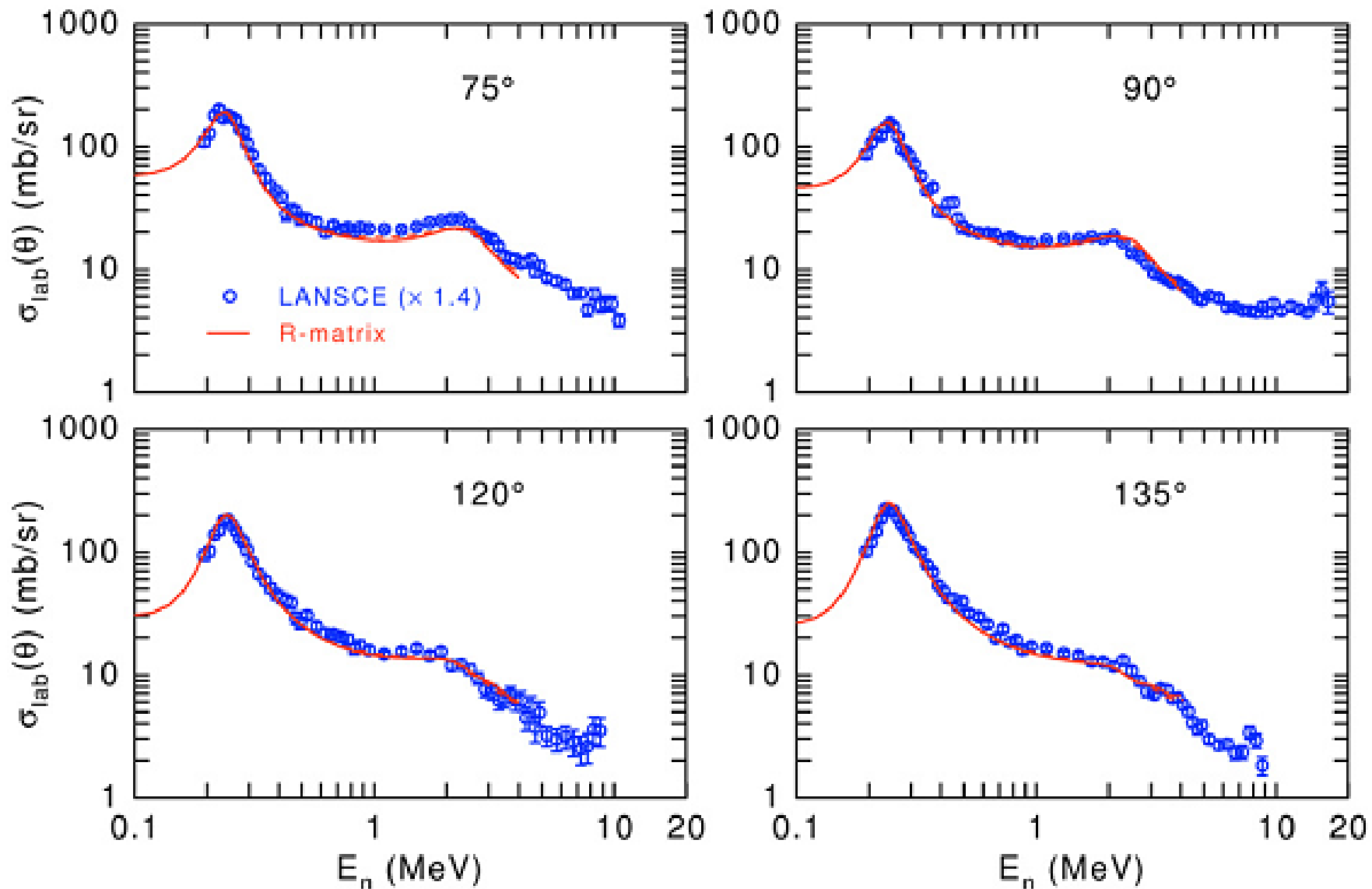
En/MeV	1.0 E-6	5.0 E-6	1.0 E-5	5.0 E-5	1.0 E-4	5.0 E-4	1.0 E-3	5.0 E-3	0.01	0.05
t (l=55m)/us	3971	1776	1256	561.6	397.1	177.6	125.6	56.16	39.71	17.76
t (l=80m)/us	5777	2583	1826	816.8	577.6	258.3	182.6	81.68	57.76	25.83

En/MeV	0.1	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
t (l=55m)/us	12.557	5.617	3.973	2.811	2.296	1.990	1.781	1.626	1.506	1.410	1.330	1.262
t (l=80m)/us	18.265	8.170	5.779	4.088	3.340	2.894	2.590	2.365	2.191	2.051	1.934	1.836

$$1/25 \text{ s} = 0.04\text{s} = 40 \text{ ms} = 40000 \text{ us}$$

Ta-181





- 实验室系氘的
微分截面
随入射中子
能量的变化

(θ_{lab} 一定)

- International Conference on Nuclear Data for Science and Technology 2007
- DOI: 10.1051/ndata:07563

MCNPX模拟结果 实验室系中出射t的角分布

