



The Way to Fusion Energy

第16届全国核电子学与核探测技术学术年会



ITER中子注量监测器(NFM)研制进展 新型裂变室中子学测试

杨进蔚 杨青巍

(核工业西南物理研究院)

黄国良 (中核(北京)核仪厂)

殷泽杰 (中国科学技术大学)

王志强 (中国原子能研究院)

第十六届全国核电子学与核探测技术学术年会

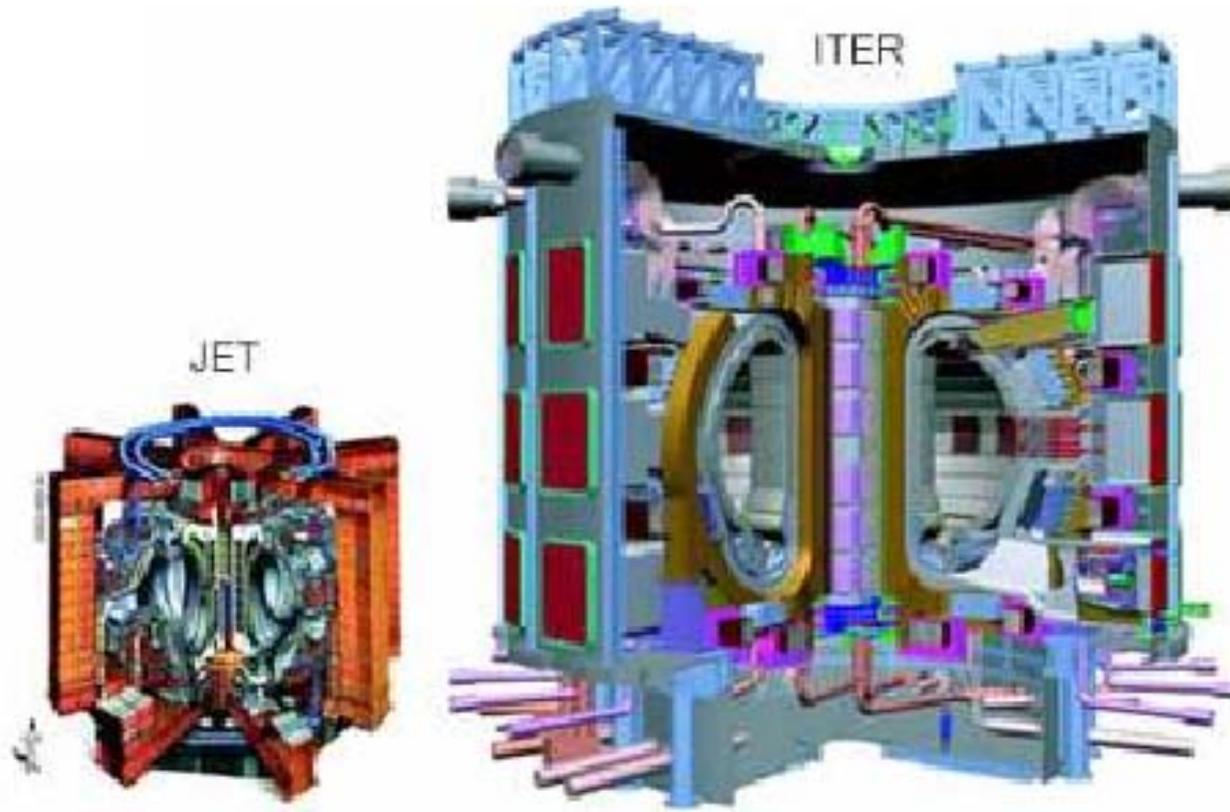
2012年8月15日 四川省绵阳市

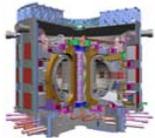


国际热核实验堆(ITER)

建造 5 billion €, 运行 5 billion €

世界上正在运行的最大Tokamak JET与ITER





ITER

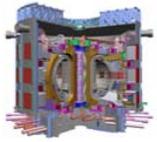
The Way to Fusion Energy

第16届全国核电子学与核探测技术学术年会



内容提要

- 待测FC
- 电子学
- 实验现场和实验方法
- MCNP计算
- 标定实验结果
- 小结



ITER

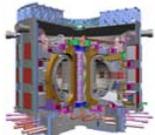
The Way to Fusion Energy

第16届全国核电子学与核探测技术学术年会



待测新研发的FC及慢化体



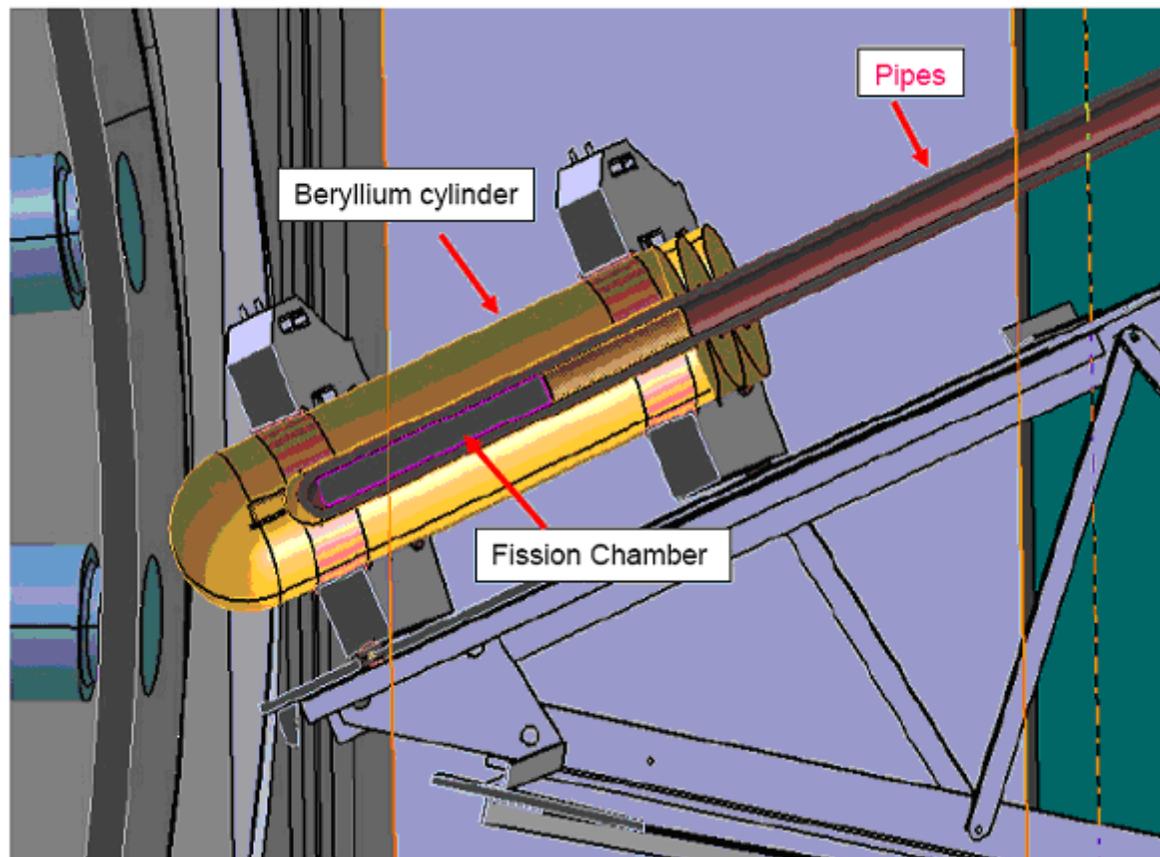


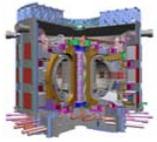
ITER



The We

7#水平窗口介面





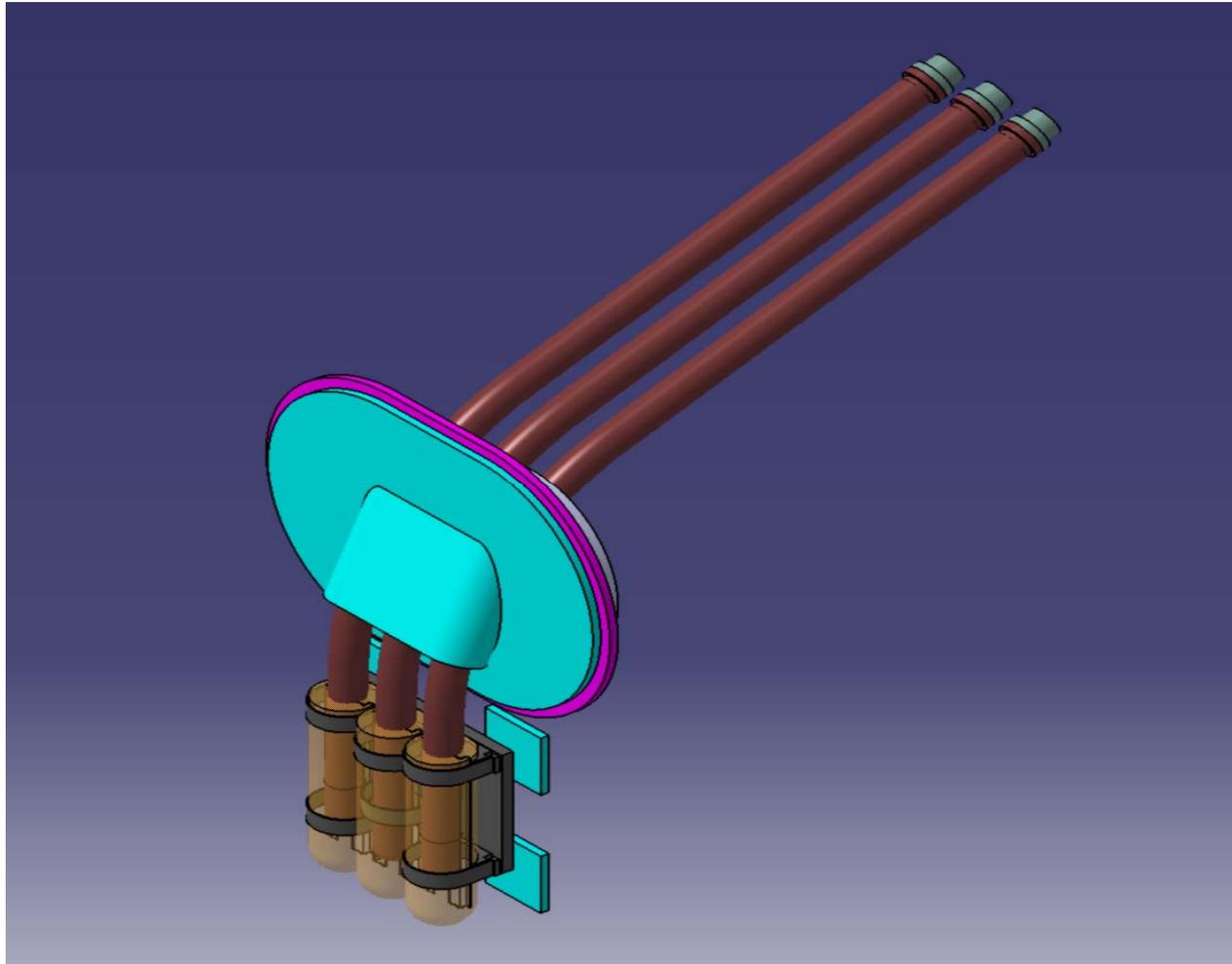
ITER

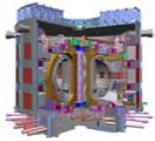
The Way to Fusion Energy

第16届全国核电子学与核探测技术学术年会



7#水平窗口另一种介面设计





ITER

The Way to Fusion Energy

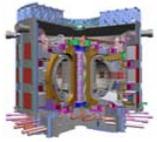
第16届全国核电子学与核探测技术学术年会

前放及屏蔽体



序号	代号	名称	数量	材质	单重	总重	备注
14	G33098.6-66	内六角螺钉M10x35	18	不锈钢	0.034	0.612	外购标准件
13	G33098.6-66	螺母 M10	18	不锈钢	0.012	0.216	外购标准件
12	G33098.6-66	垫圈 M10	36	不锈钢	0.003	0.108	外购标准件
11	PSB-01-10.00	半屏蔽箱体	2	前置放大器和半屏蔽箱体	31.264	62.528	
10	G33098.6-66	M3x10十字槽沉头螺钉	4	不锈钢	0.001	0.004	外购标准件
9	PSB-01-05	磁头电缆头	3	磁头	0.058	0.175	外购标准件
8	PSB-01-08	高压电缆插头	1	真空电缆头	0.159	0.159	外购标准件
7	PSB-01-07	软铁盒盖	1	2mm厚软铁板	0.053	0.053	
6	PSB-01-06	软铁盒	1	2mm厚软铁板	0.706	0.706	
5	PSB-01-05	钨合金屏蔽盒盖	1	0.5mm厚钨合金	0.013	0.013	
4	PSB-01-04	钨合金屏蔽盒	1	0.5mm厚钨合金	0.166	0.166	
3	PSB-01-03	铜屏蔽盒盖	1	0.5mm厚紫铜皮	0.014	0.014	
2	PSB-01-02	铜屏蔽盒	1	0.5mm厚紫铜皮	0.183	0.183	
1	PSB-01-01	前置放大箱体	1	铝盒	1.504	1.504	140x75x50

				核工业西南物理研究院		
				聚变科学所		
				前置放大器屏蔽箱		
标记	处数	分区	更改文件号	数量(件)	重量(Kg)	比例
绘图	程恩	2009-12-23	张 准		66.44	1:1
设计	程恩					
审核						
工艺			标准化	共 张	第 张	



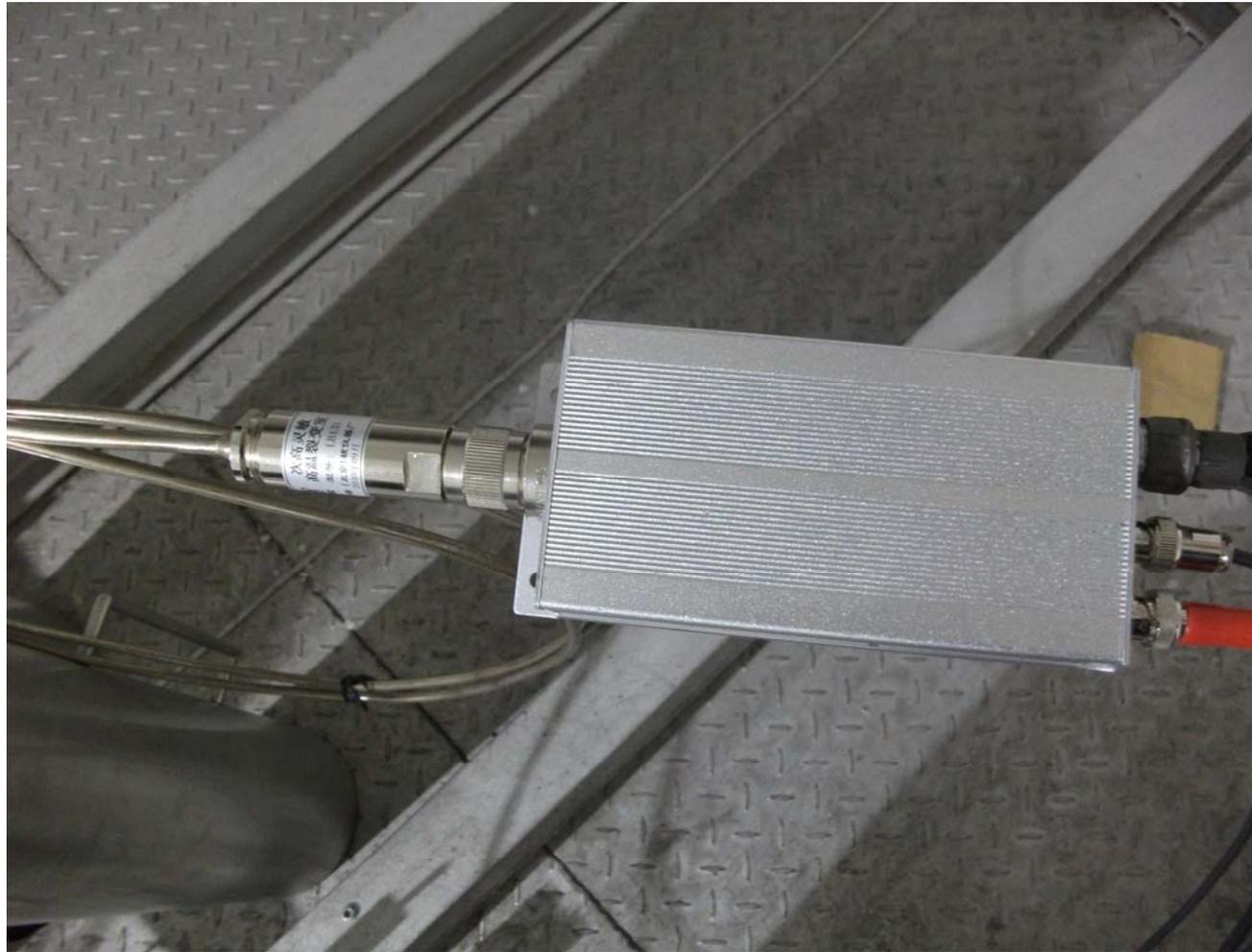
ITER

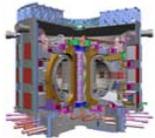
The Way to Fusion Energy

第16届全国核电子学与核探测技术学术年会



前置放大器



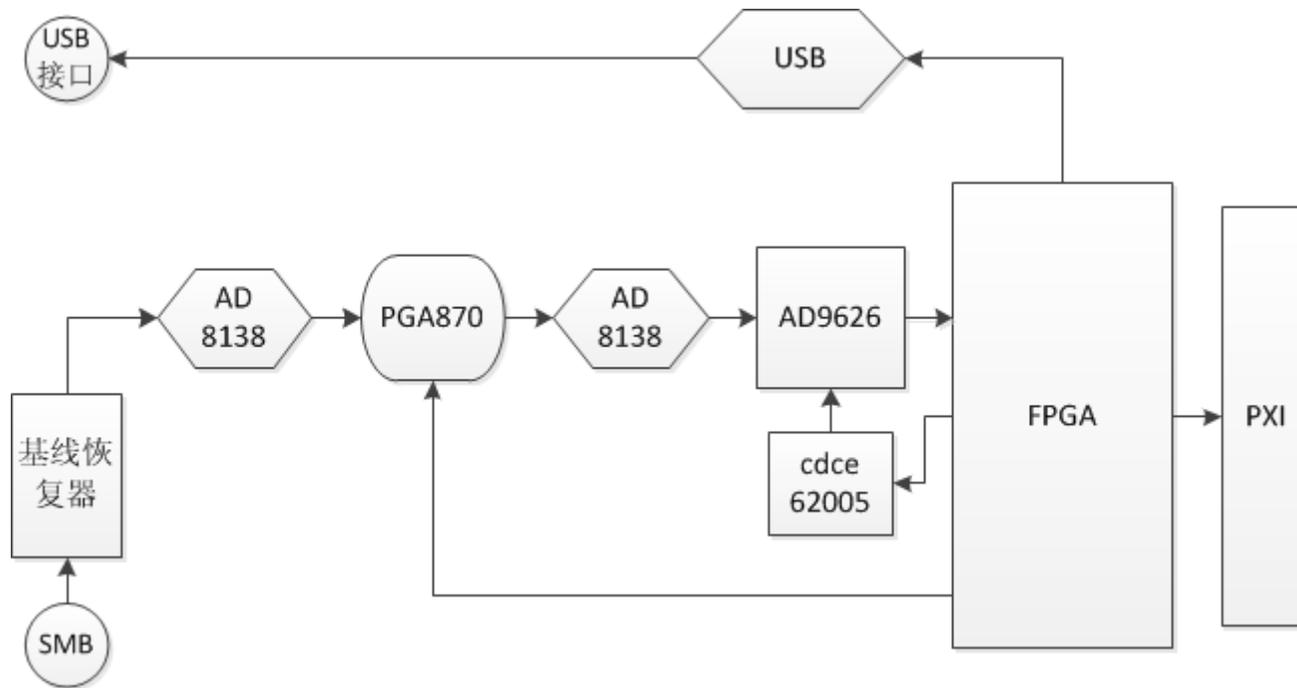


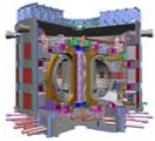
ITER

The Way to Fusion Energy



电子学与数据信息采集、控制与传输





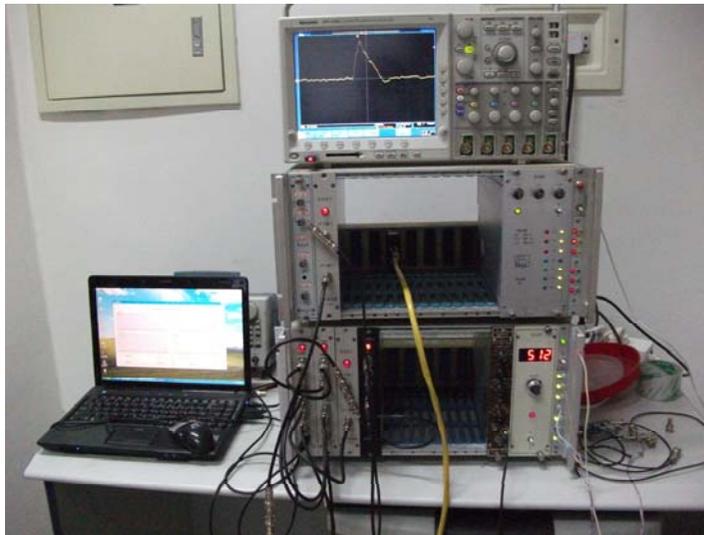
ITER

The Way to Fusion Energy

第16届全国核电子学与核探测技术学术年会



电子学及数据采集

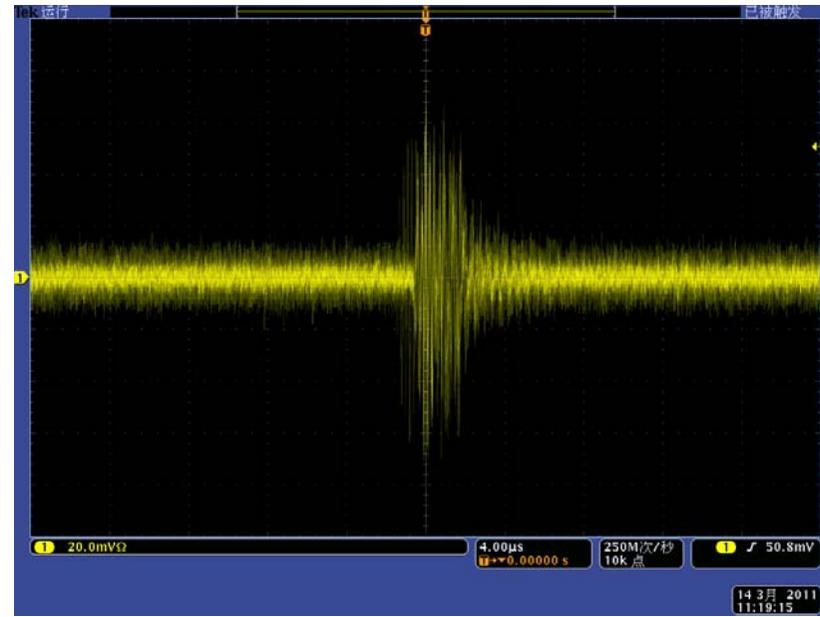


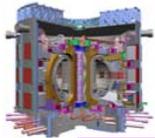


The W



强烈的天电干扰信号



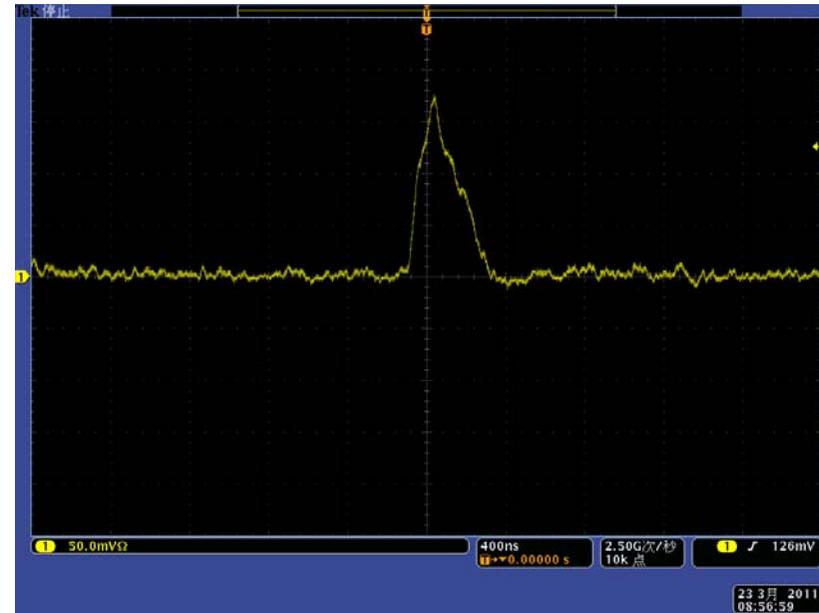
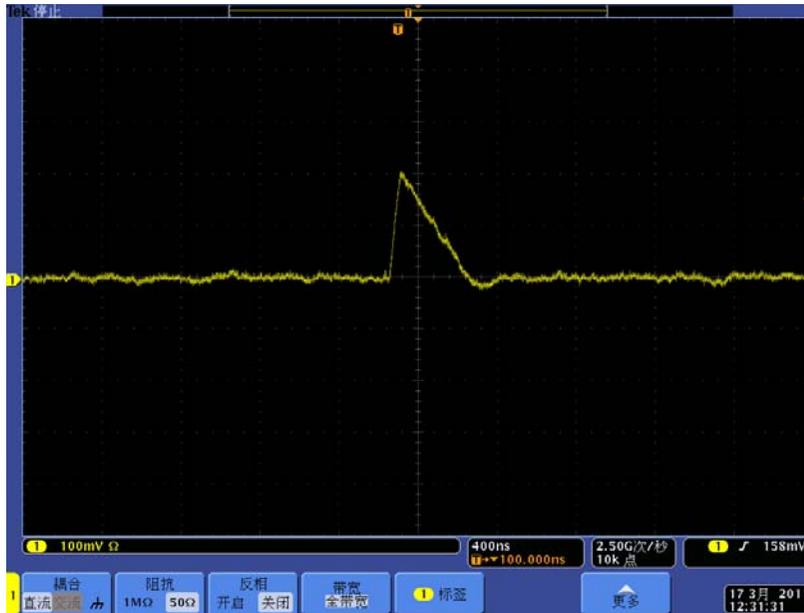


ITER



The W

排除干扰后前放输出的脉冲信号



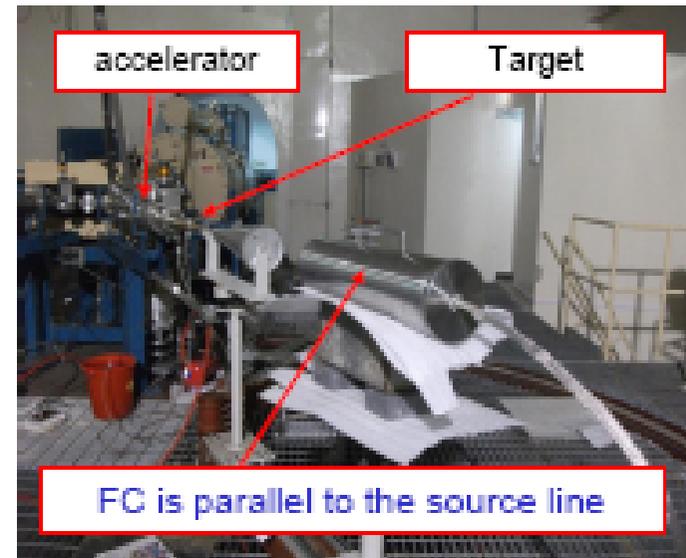
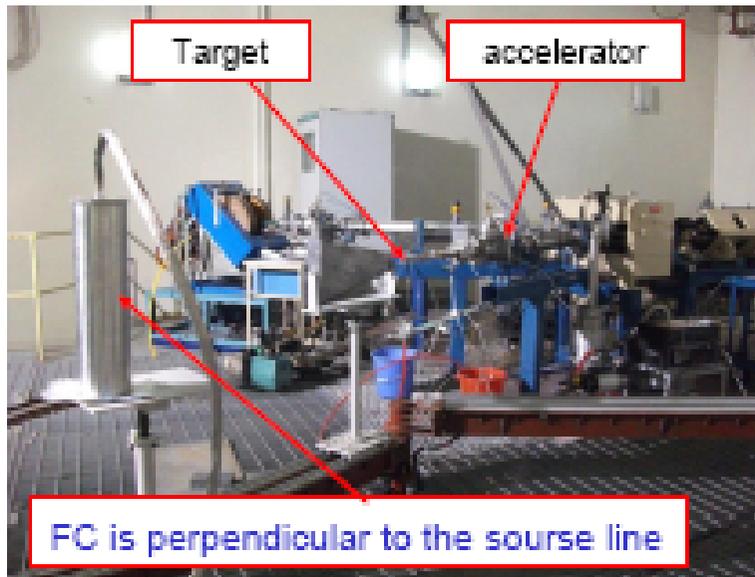


ITER

The W



实验现场



- ◆ 在加速器准单能中子源上，标定了两个探测器七个能量点的探测效率。
- ◆ 探测器轴与加速器靶线平行时，中子入射方向与法线夹角小于5度
- ◆ 探测器轴与加速器靶线垂直时，中子入射方向与法线夹角小于10度。

中子能量、产生方式及中子注量测量方法

序号	中子能量/MeV	产生方式	注量测量方法
• 1	0.144	${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 反应	次级标准长计数器
• 2	0.250	${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 反应	次级标准长计数器
• 3	0.565	${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 反应	次级标准长计数器
• 4	1.2	$\text{T}(p, n){}^3\text{He}$ 反应	次级标准长计数器
• 5	2.5	$\text{D}(d, n){}^3\text{He}$ 反应	次级标准长计数器
• 6	5.0	$\text{T}(p, n){}^3\text{He}$ 反应	次级标准长计数器
• 7	14.8	$\text{T}(d, n){}^4\text{He}$ 反应	伴随 α 粒子装置
• 8	2.16	${}^{252}\text{Cf}$	强度检定装置 (锰浴法)

加速器及监控设备调节

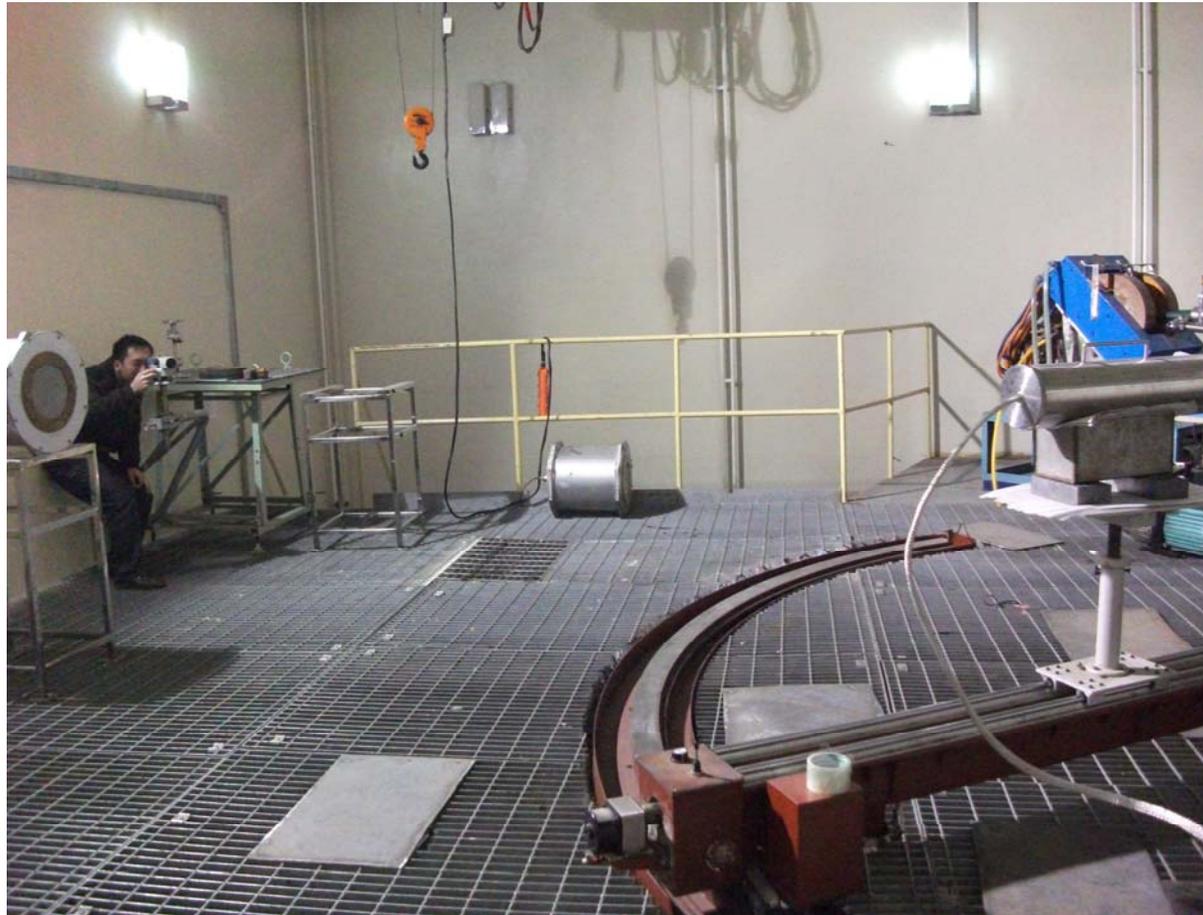




The W



经纬仪校准探测位置



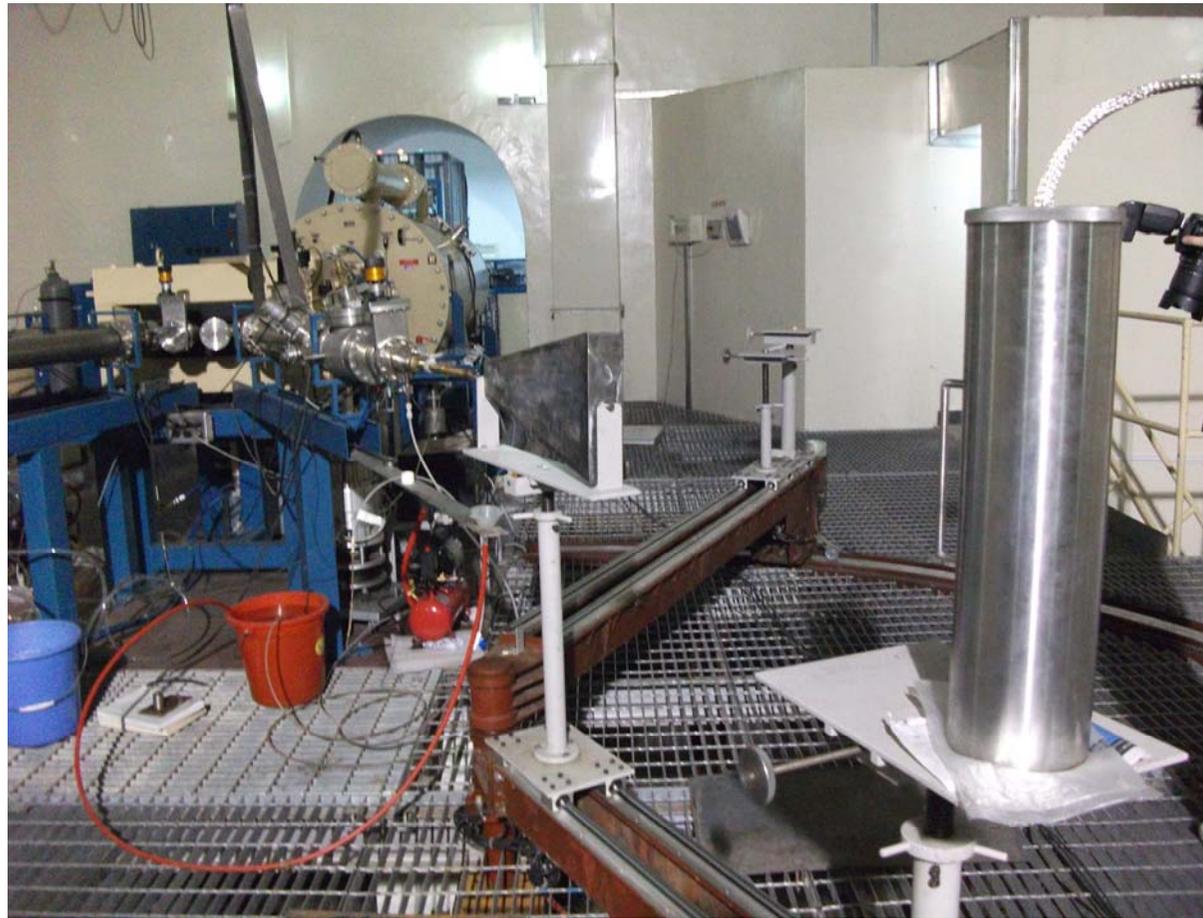


The Way to Fusion Energy

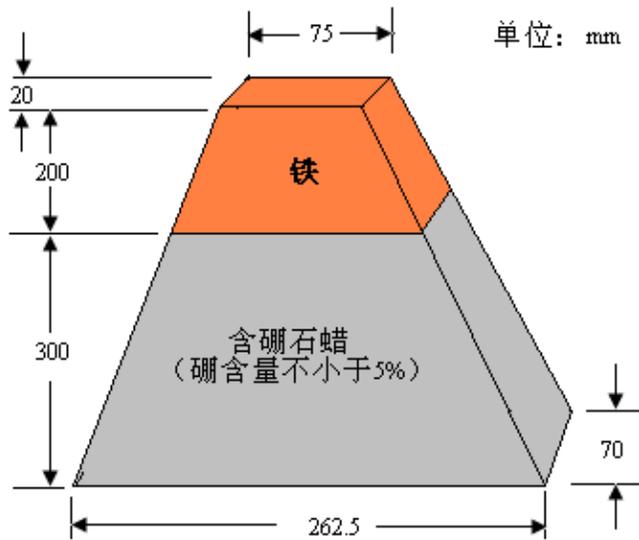
第16届全国核电子学与核探测技术学术年会



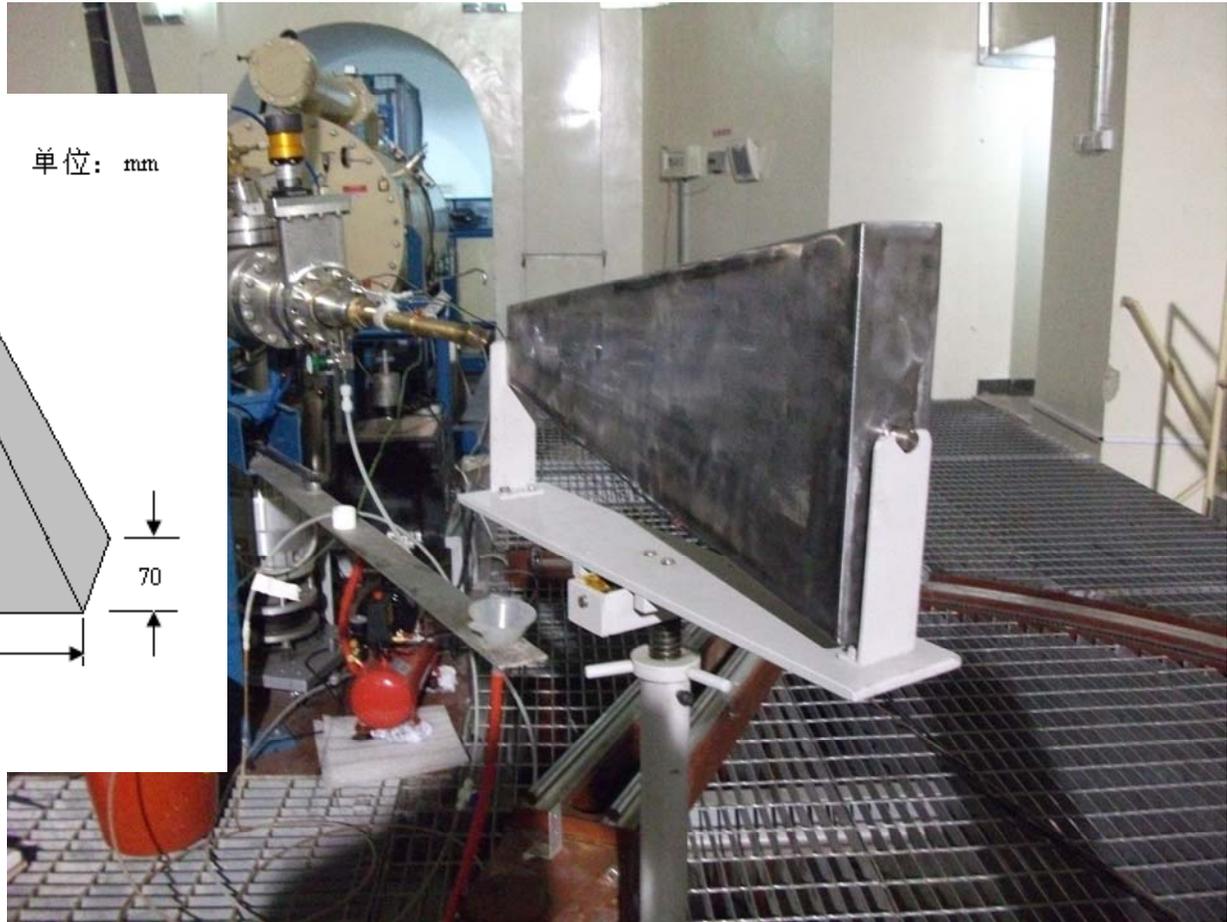
垂直位置本底散射中子测量



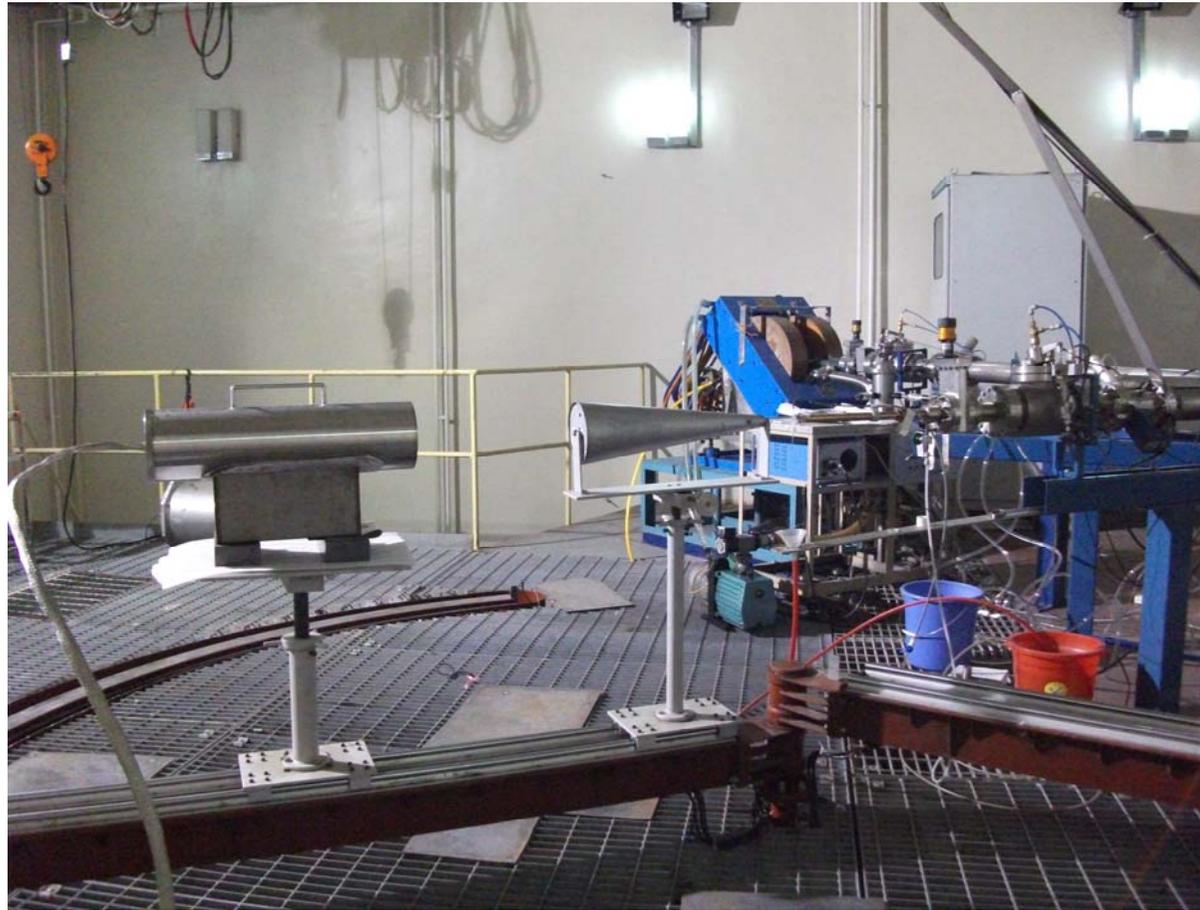
矩形屏蔽锥体



影锥结构示意图



水平同轴位置的散射本底测量





ITER

The W

第16届全国核电子学与核探测技术学术年会



2.5MeV源中子角响应测量





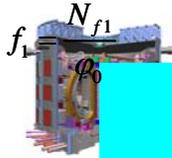
The W

第16届全国核电子学与核探测技术学术年会



14.8MeV源中子角响应测量





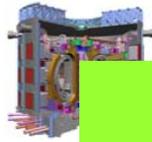
The Way to Fusion Energy



MCNP计算

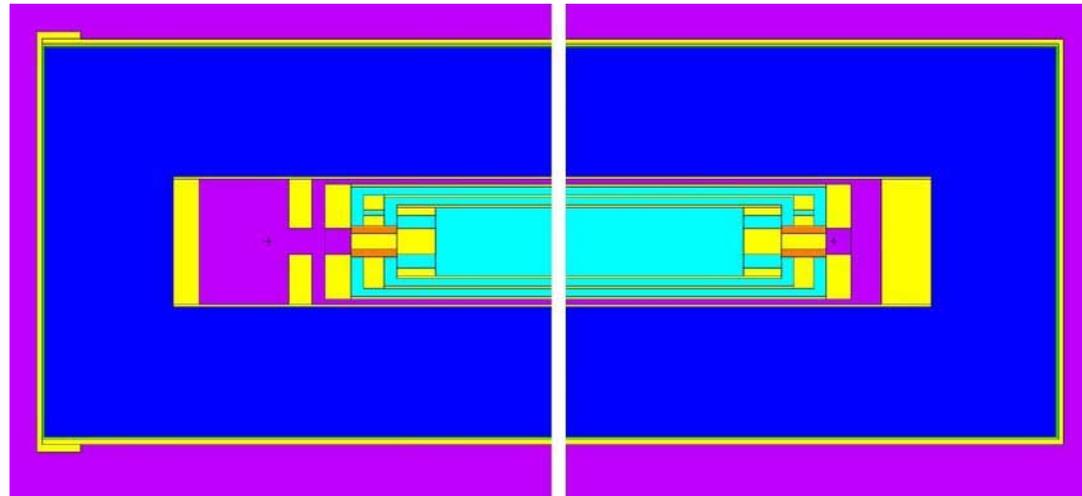
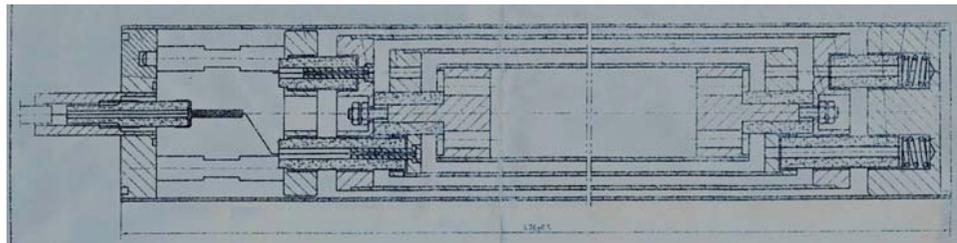
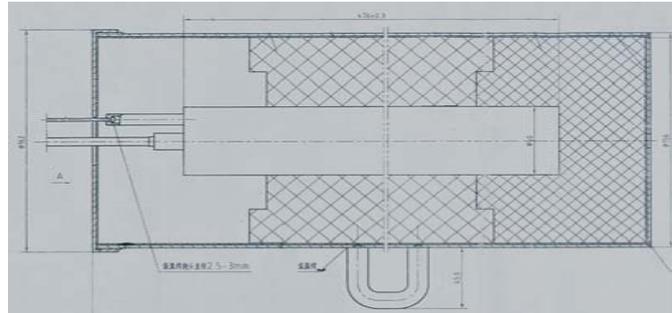
- 实验所用²³⁵U裂变电离室结构如图所示，铀探测片为浓缩铀，其成分为：²³⁵U，90.0229%；²³⁸U，8.5480%；²³⁴U，1.2011%；²³⁶U，0.2280%；高、低灵敏度两种电离室铀片总质量分别为为2 g和20mg，其中高灵敏度电离室将2 g浓缩铀均匀涂在电离室的内外涂筒上，低灵敏度电离室将20mg浓缩铀均匀涂在电离室的外涂筒上。中子进入探测器后，引起裂变材料的裂变，设探测片中 ²³⁸U、²³⁵U、²³⁴U和²³⁶U的原子核数分别为n₈、n₅、n₄、n₆，它们与能量为E的中子的裂变反应截面分别为 $\sigma_{238U}(n, f)(E)$ 、 $\sigma_{235U}(n, f)(E)$ 、 $\sigma_{234U}(n, f)(E)$ 、 $\sigma_{236U}(n, f)(E)$ ，中子注量率谱为，则探测器探测到的总裂变计数率即为：

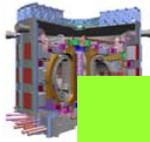
$$N_f = \int (n_8 \cdot \sigma_{238U}(n, f)(E) + n_5 \cdot \sigma_{235U}(n, f)(E) + n_4 \cdot \sigma_{234U}(n, f)(E) + n_6 \cdot \sigma_{236U}(n, f)(E)) \cdot \phi(E) dE$$



The W

MCNP计算模型



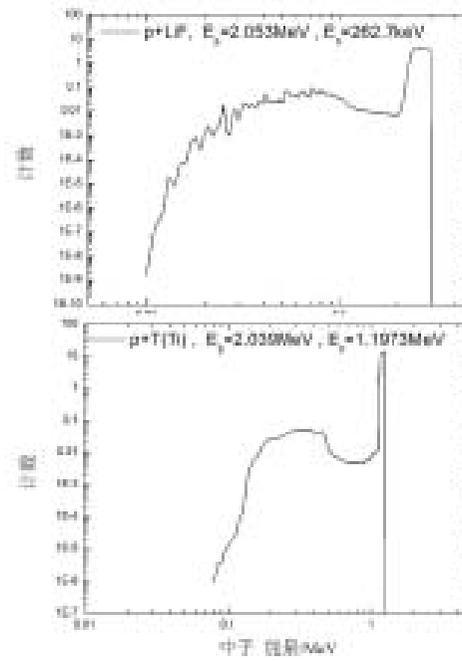
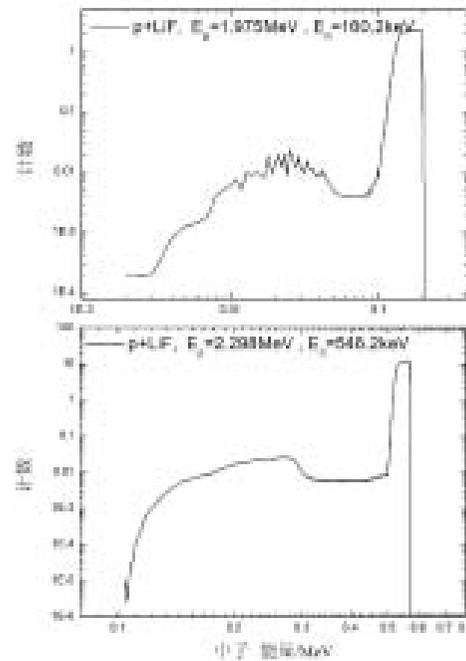


INET

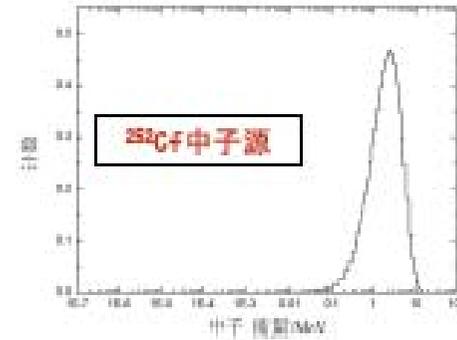
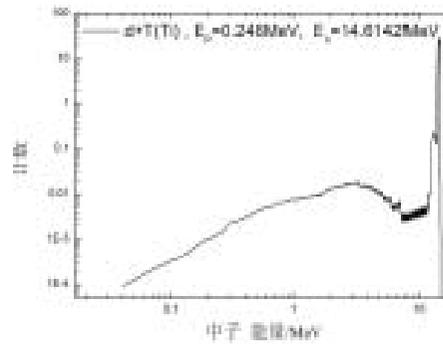
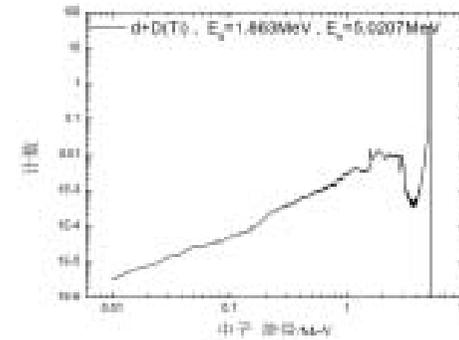
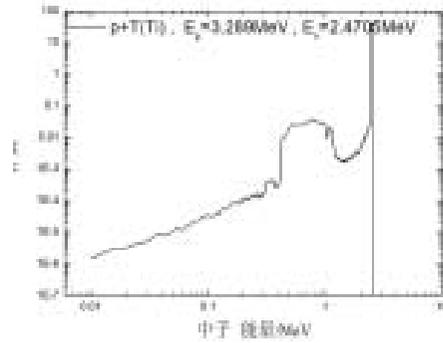
The W



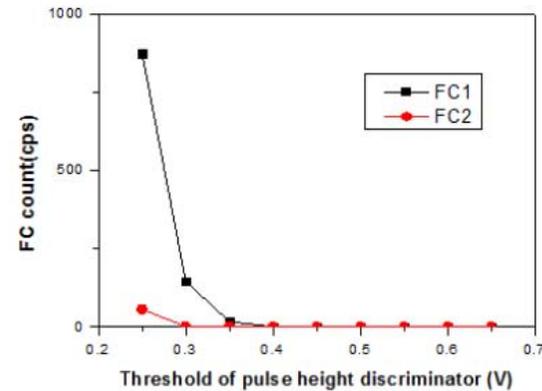
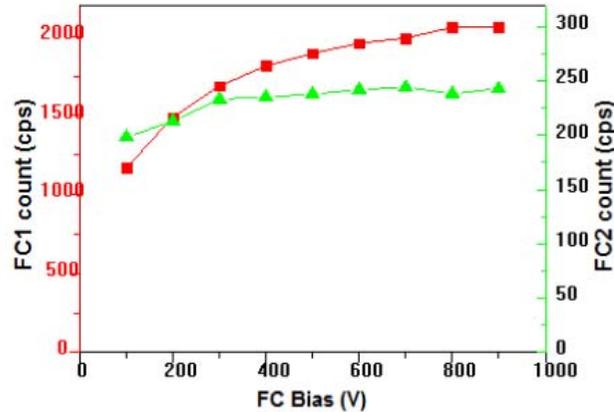
MCNP计算时依据的源中子能谱(1)



MCNP计算时依据的源中子能谱(2)



工厂初步测试结果



- 左图是探测器输出的脉冲计数随加在裂变室两极上的偏压的变化。在偏压高于几百伏以后，探测器的输出随偏压变化较小，也就是达到了裂变室的电压坪。其中，**FC2**的电压坪曲线更加平坦。
- 右图是无中子源的情况下，裂变室的输出信号的幅度分布。可以看出两个裂变室中 α 产生的信号幅度在**0.4**伏以下。

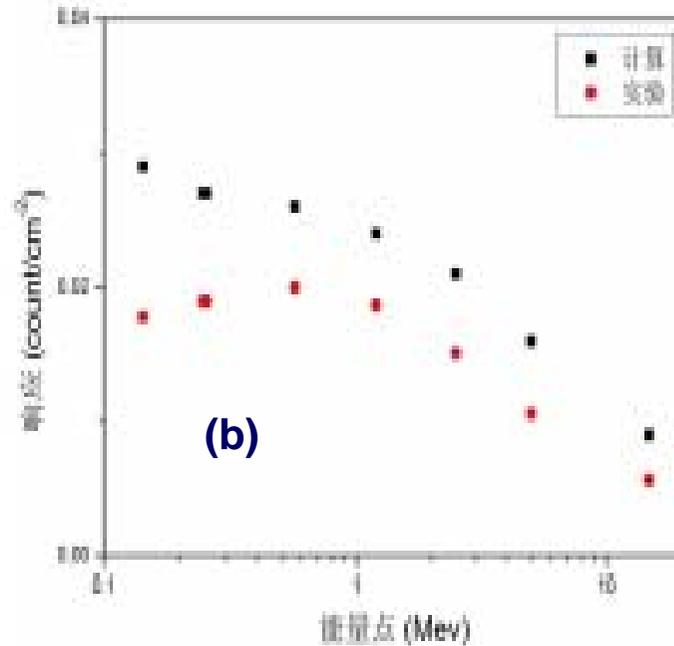
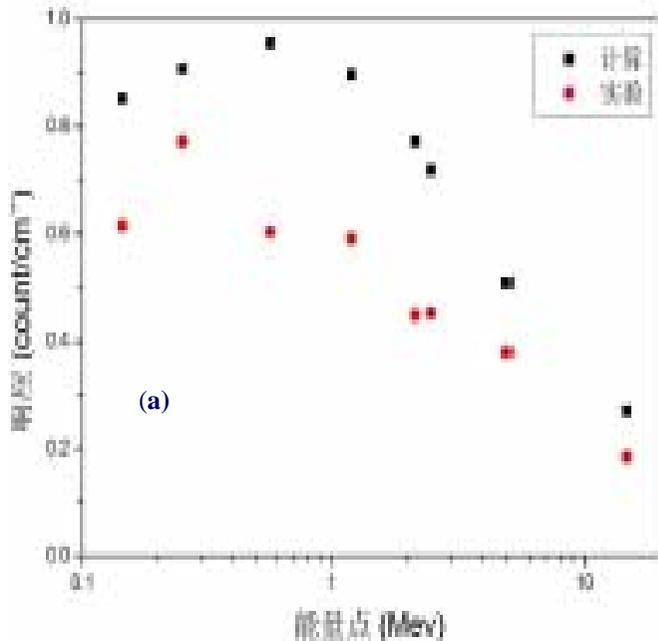


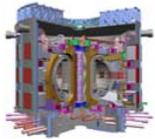
ITER

The W



垂直放置时高、低灵FC的探测效率实验测量值与MCNP计算值的比较



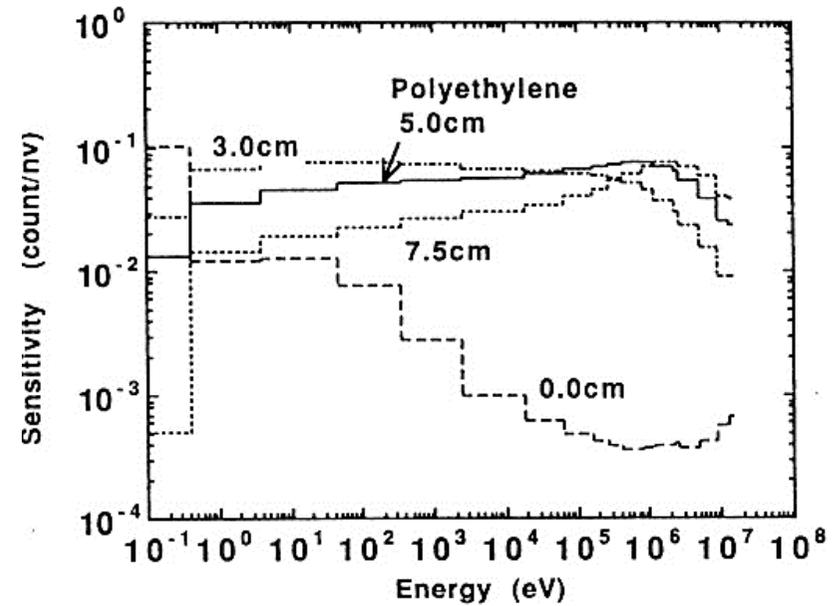
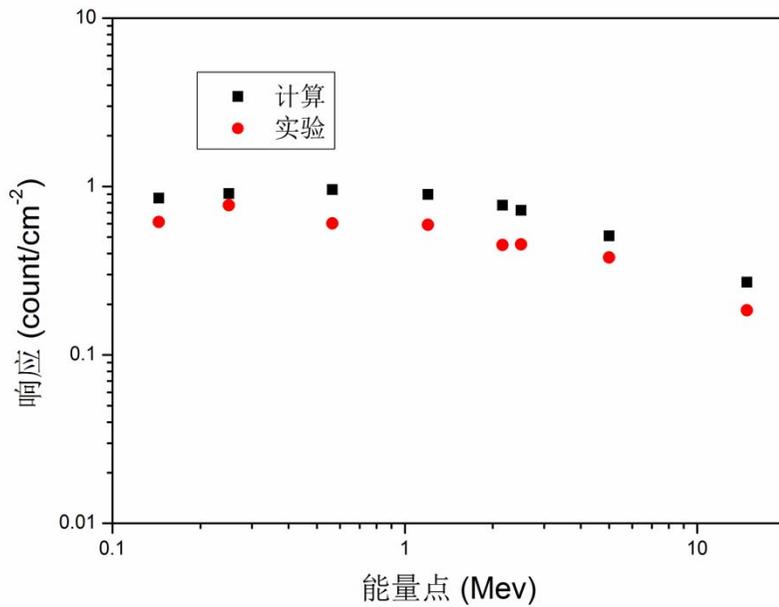


ITER

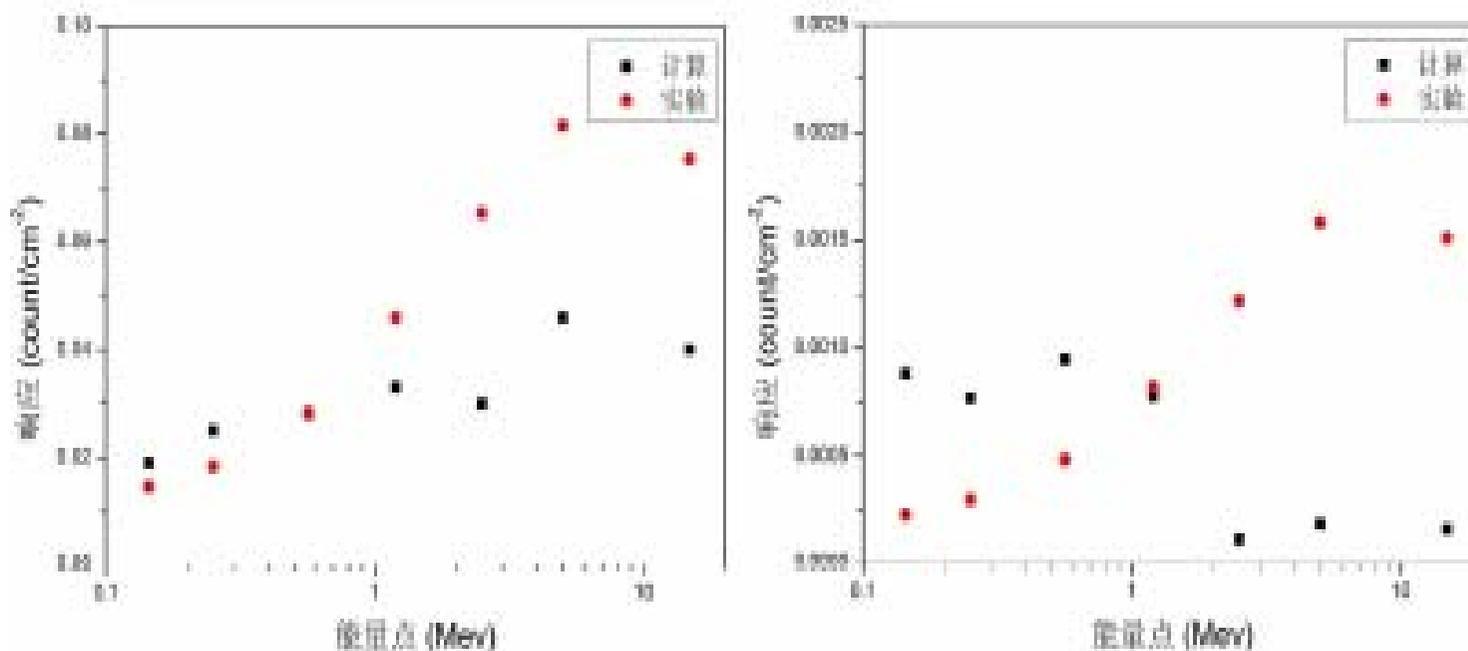
The Way to Fusion Energy



实验与MCNP计算与国外文献结果比较

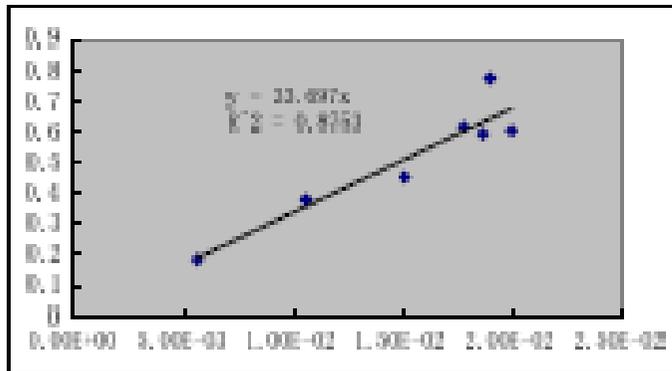


水平放置时高、低灵FC的探测效率实验测量值与MCNP计算值的比较

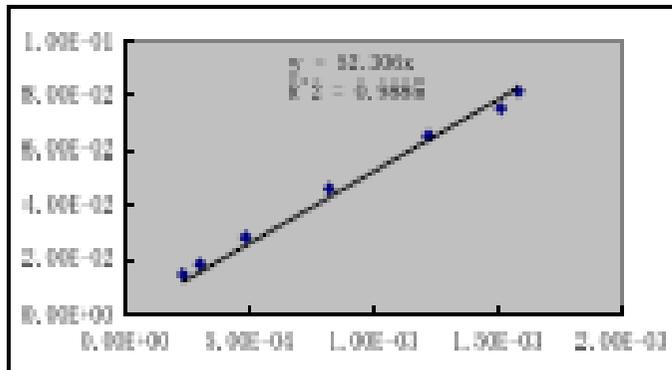


- ◆ 平行时，两探测器效率与计算值的比较
- ◆ 两个探测器，实验结果与计算符合较差。

两只FC探测效率相关性比较



- 左上图是探测器垂直时，两个探测器在不同能量点探测效率的相关性。
- 左下图是探测器平行时，两个探测器在不同能量点探测效率的相关性。



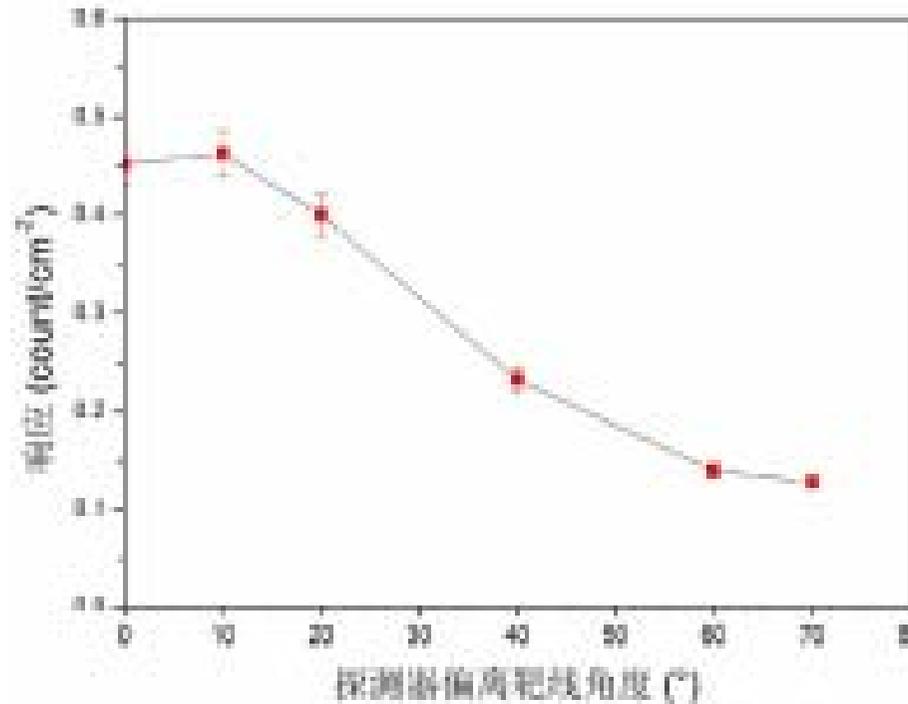


ITER

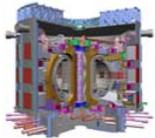
The W



2.5MeV源中子角度响应测量



探测器测量的中子源的角度分布

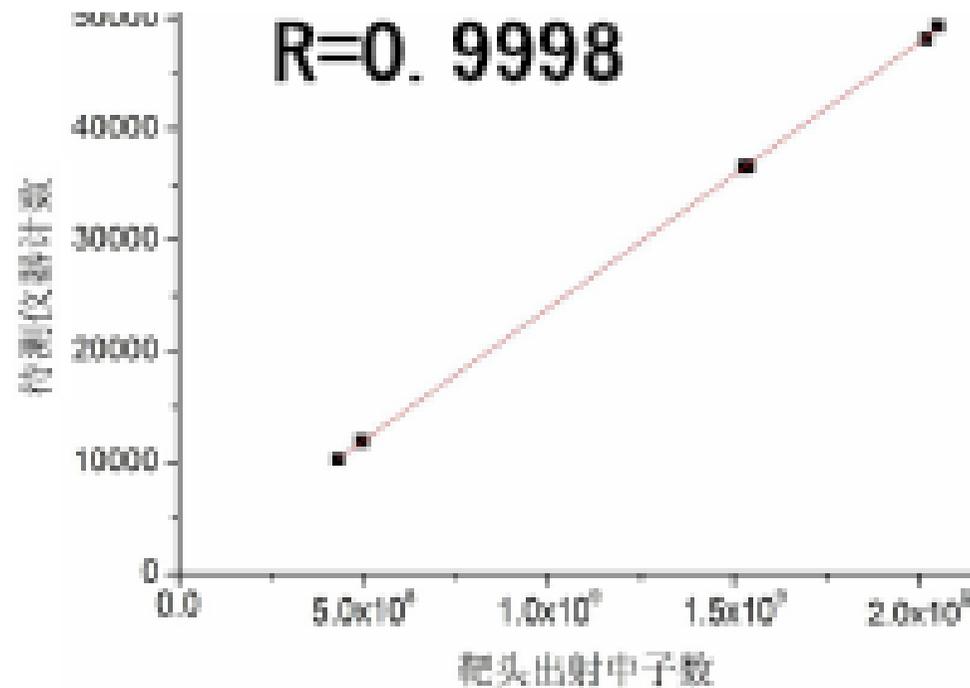


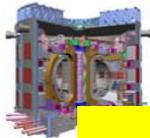
ITER



The W

FC对有限范围2.5MeV中子产额正比性测试



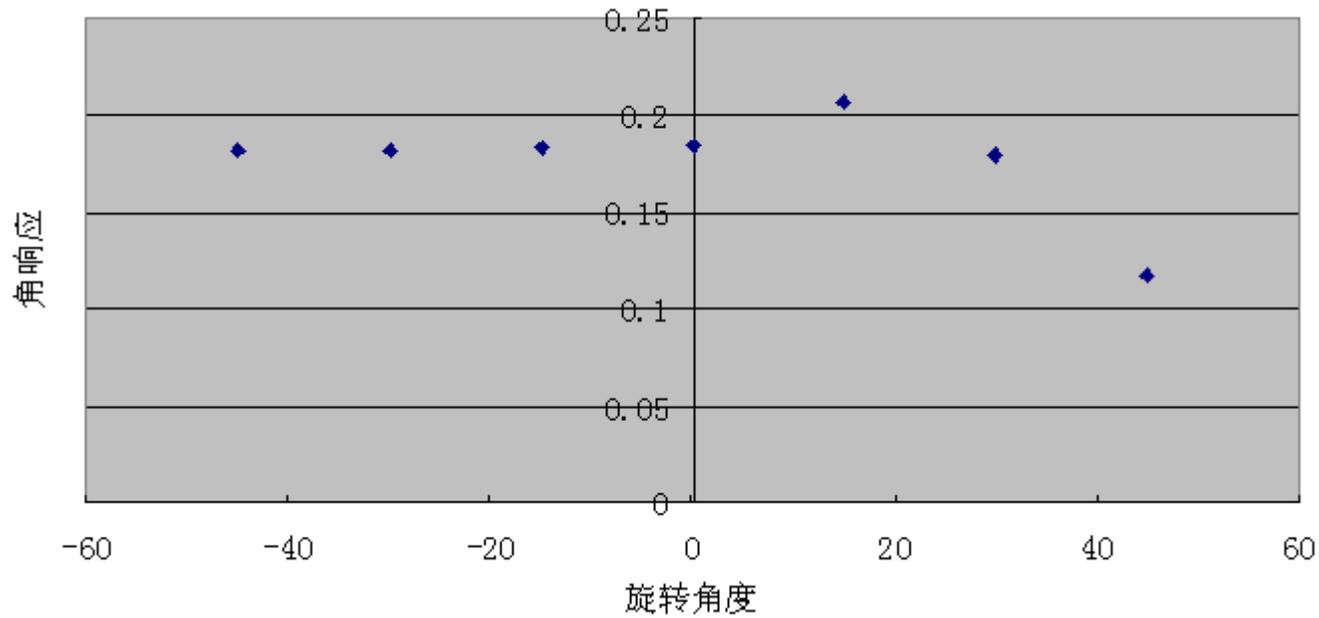


ITER

The W



14. 8MeV源中子角度响应



NFM的环境测试

仪器型号	仪器名称	仪器编号	有效期
SDJ-378	步入式高低温 湿热试验箱	928.07-006	2011.07.12
TT-200	运输颠簸试验台	566.07-004	2011.05.10
MHS-250	机械振动试验系统	566-07-003	2011.06. 12
VEB GERATE-UNDREGLER- WERKE TELTOW	冲击试验台		
CA6543	高阻测量仪	R—19	2011.04.12
MY-6013A	电容测试仪	DE—1032	2011.07.06
2671	万能击穿装置		



ITER

The W

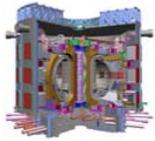


研制进展小结

小结

^{235}U 型裂变室、聚乙烯作慢化剂的中子探测器，制造完成，并完成了以下实验：

- ◆ 热中子实验，测定了探测器的电压坪， α 信号的幅度坪；
- ◆ 抗 γ 实验，对高通量的1MeV左右的 γ 不敏感；
- ◆ 快中子实验，能探测到高能快中子；
- ◆ 准单能中子场效率标定实验，测量了两个探测器在七个能量点和 ^{252}Cf 中子源的探测效率，并与计算结果进行了比较；
- 探测器轴心与加速器靶线垂直时，测量结果与计算结果符合很好；
- 探测器轴心与加速器靶线平行时，符合较差；
- 两个探测器在不同能量点的探测效率相关性很好。



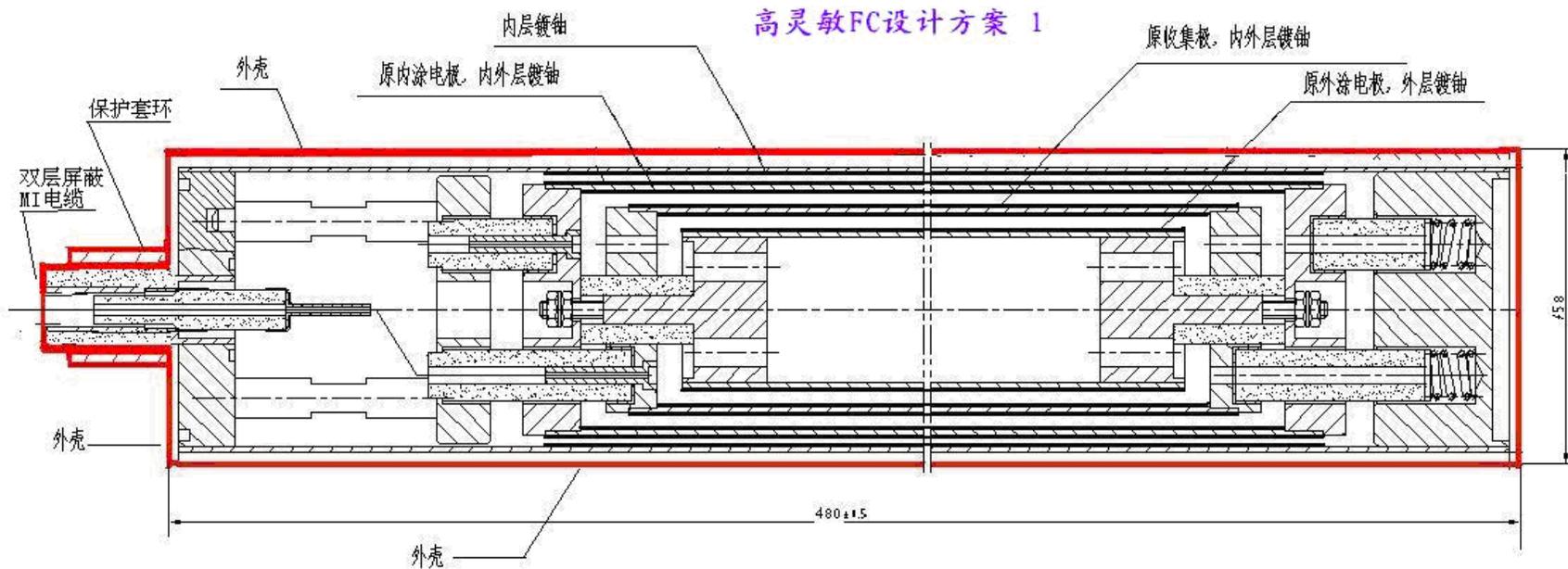
ITER

The Way to Fusion Energy



甚高灵敏度FC的研制

- 目标：灵敏度高于 1.0cps/nv



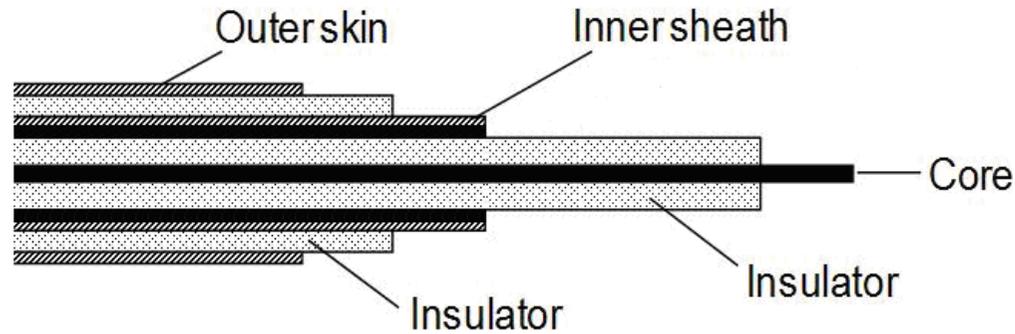
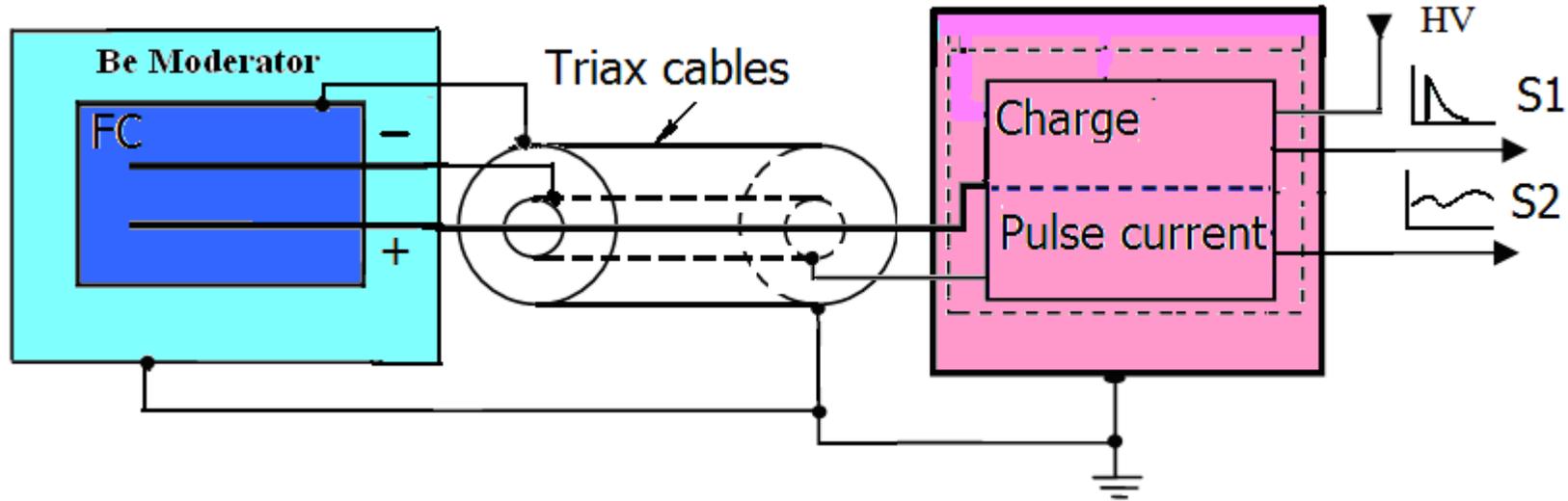


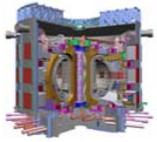
ITER



The W

电子初步及三同轴MI电缆





ITER

The Way to Fusion Energy

第16届全国核电子学与核探测技术学术年会



谢谢在座各位专家