



锦屏深地中微子实验 500吨探测器本底的预先研究



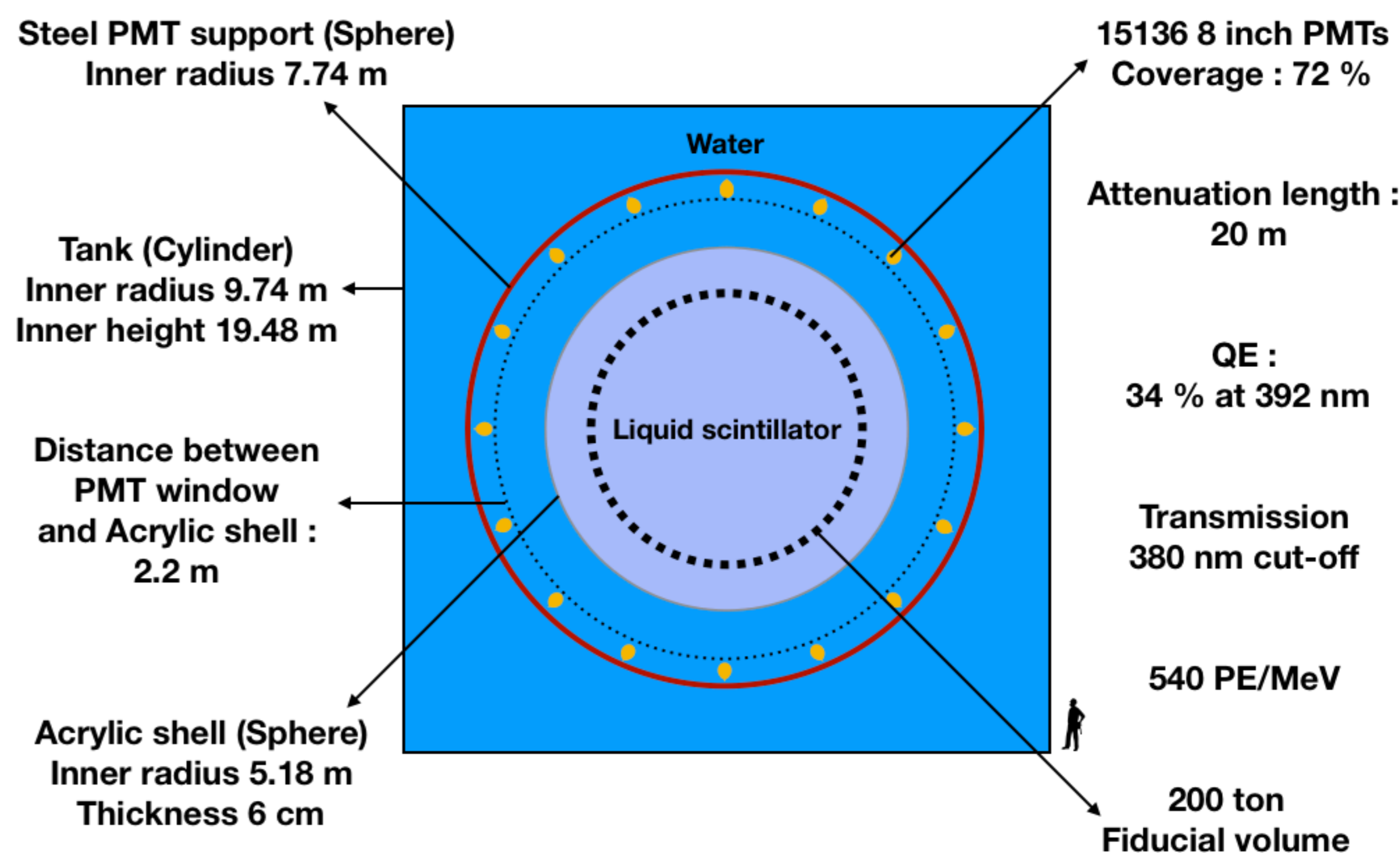
骆文泰, 锦屏中微子实验研究组
中国科学院大学物理科学学院

中国物理学会高能物理分会第十届全国会员代表大会暨学术年会, 2018年6月20日~24日

简介

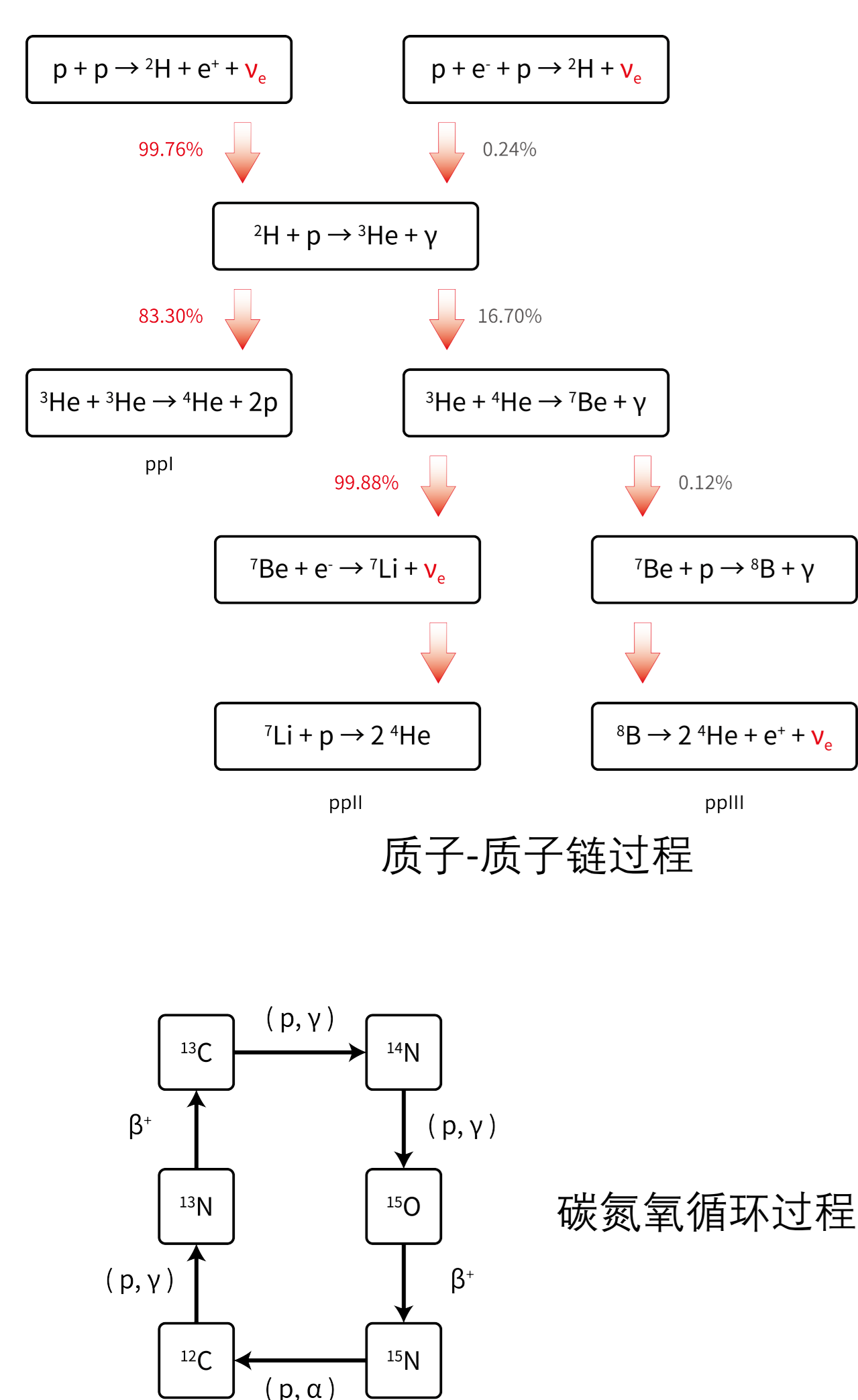
- ◆ 在2400米埋深的中国锦屏地下实验室(CJPL)建造千吨级探测器[1], 开展中微子实验, 研究兆电子伏量级的太阳中微子、地球中微子、超新星中微子等物理。
- ◆ 探测器中每种材料 都可能存在铀(U)、钍(Th)、钾(K)或氡(Rn)的放射性同位素本底 [2], 其衰变产生的 α 、 β 、 γ 粒子会对中微子信号造成极大的影响, 因此对其研究至关重要。
- ◆ 通过参考Borexino和SNO两个太阳中微子实验的不同材料的放射性同位素含量以及探测器构成, 对500吨探测器进行了模拟研究, 对其自身本底能谱及含量进行估计并与预期的太阳中微子信号进行对比, 优化探测器设计。

500吨探测器结构设计平面图

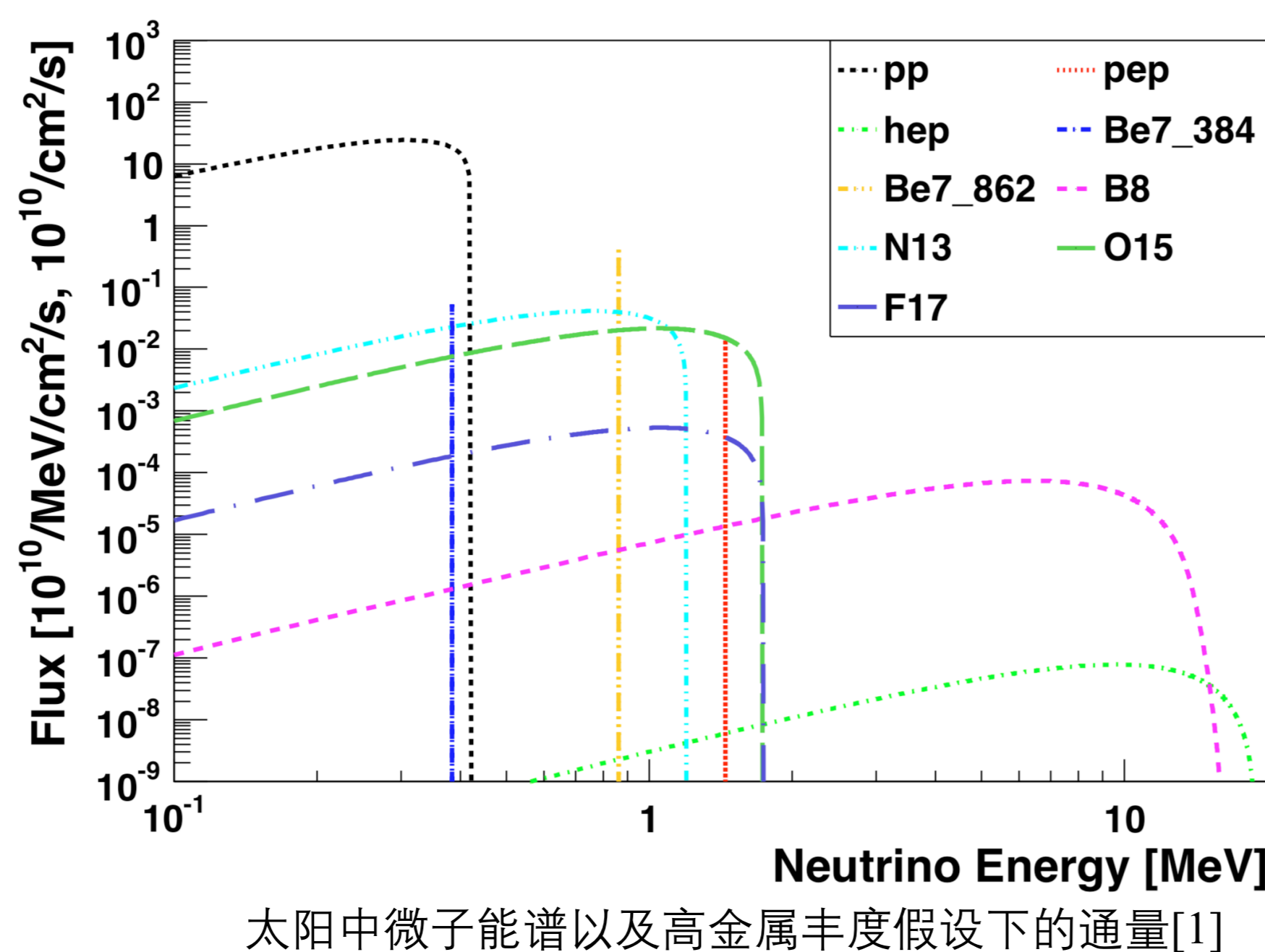


- ◆ 500吨探测器放置于高19.5米、半径为9.75米盛满纯水的钢桶内, 探测器由慢液闪、亚克力容器、水隔离层、光电倍增管、光电倍增管支架组成。
- ◆ 其结构设计参考Borexino的探测器, 其中有效靶质量为200吨, 在一定的参数设置下, 能标达到540 PE/MeV。
- ◆ 模拟研究表明, 水层每增加半米将使放射性本底减小一个量级, 增加水隔离层厚度可极大降低来自外界的本底。

太阳中微子与天然放射性同位素



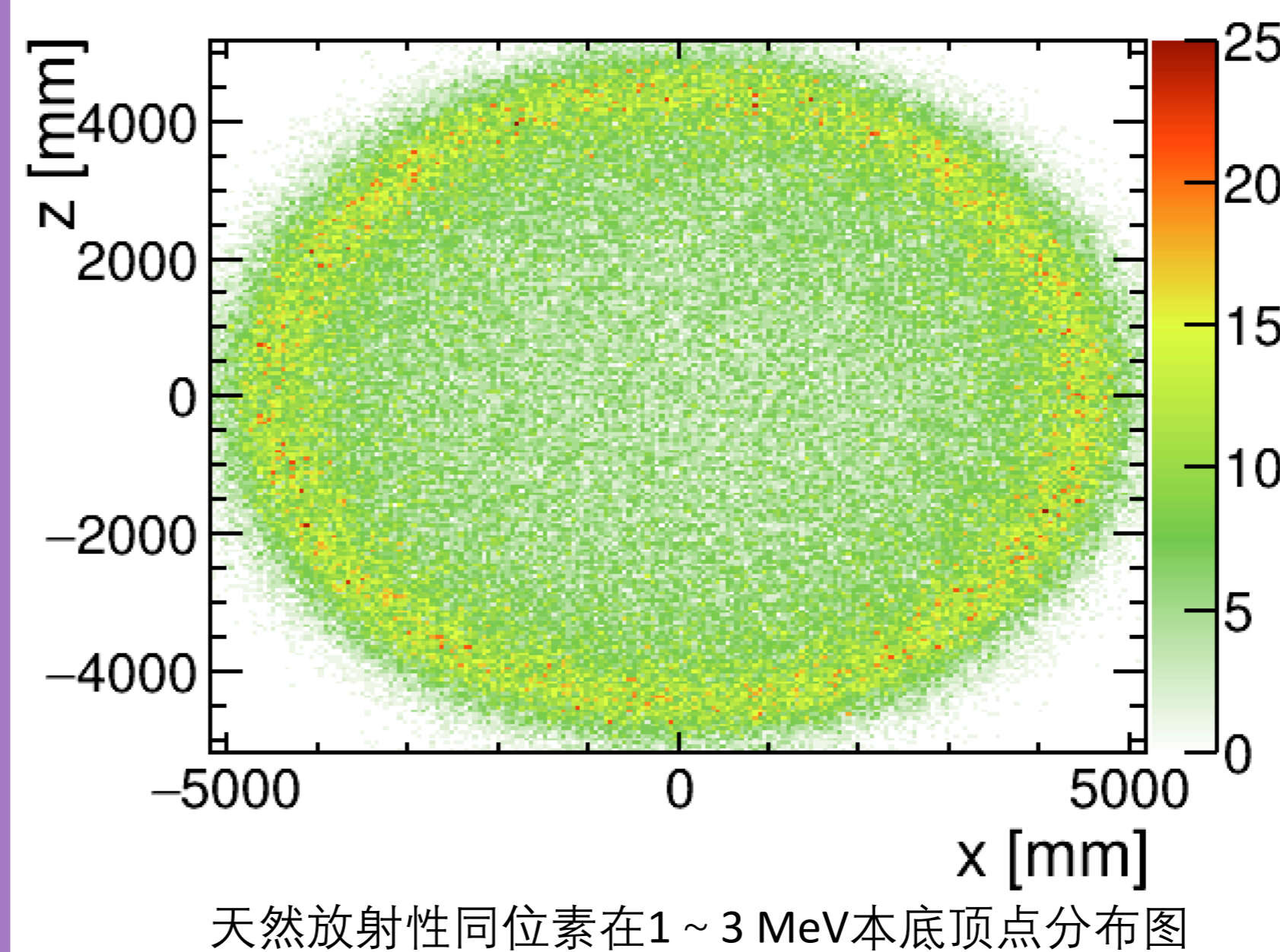
- ◆ 太阳中微子产生于太阳高密度内核的核聚变。
- ◆ 太阳中微子产生方式有质子-质子链和碳氮氧循环两种, 其中质子-质子链贡献了太阳产生全部能量的99%。
- ◆ 对太阳中微子通量的精确测量可以用来检验太阳标准模型, 并寻找与物质相互作用的新模式。



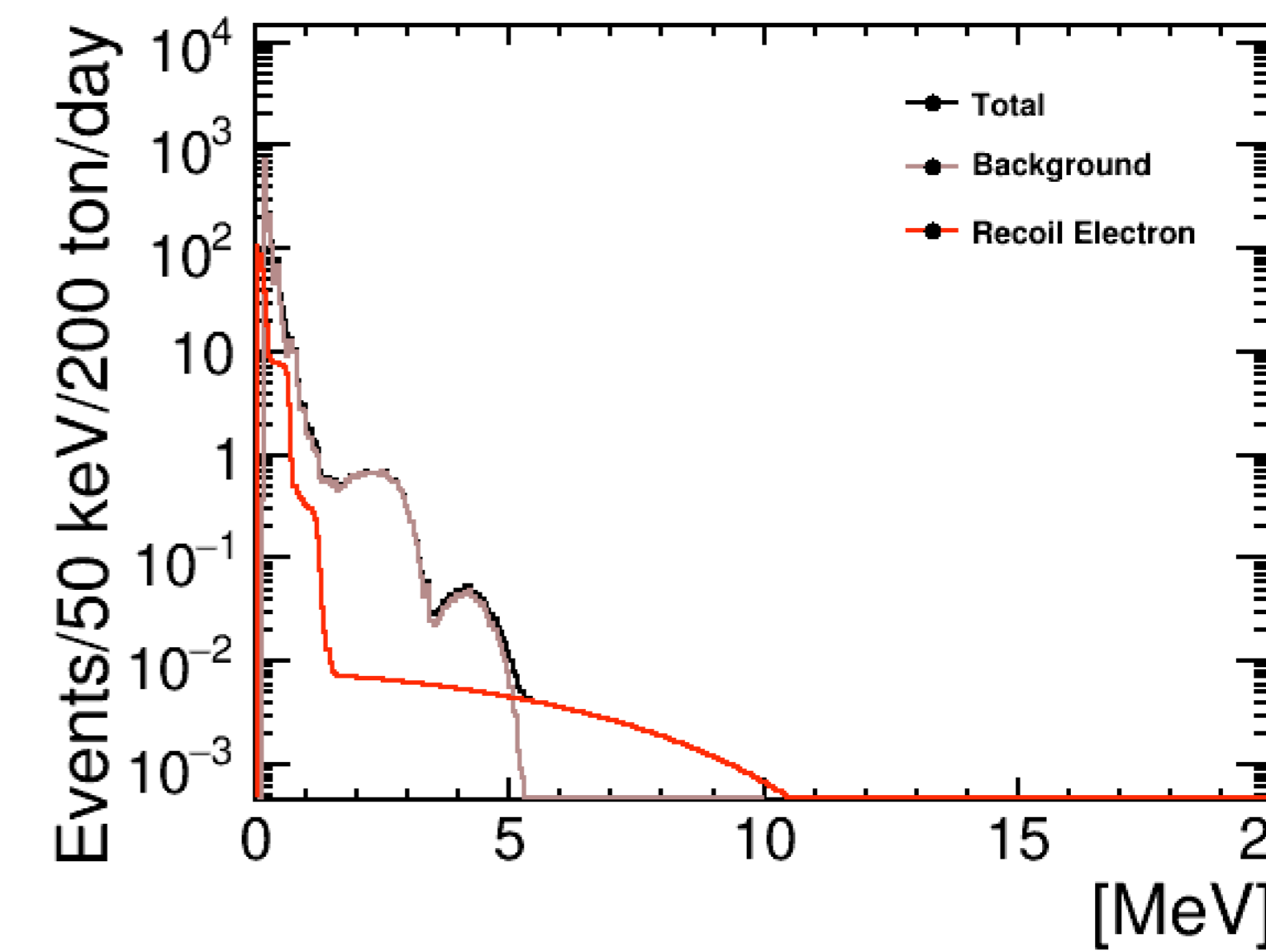
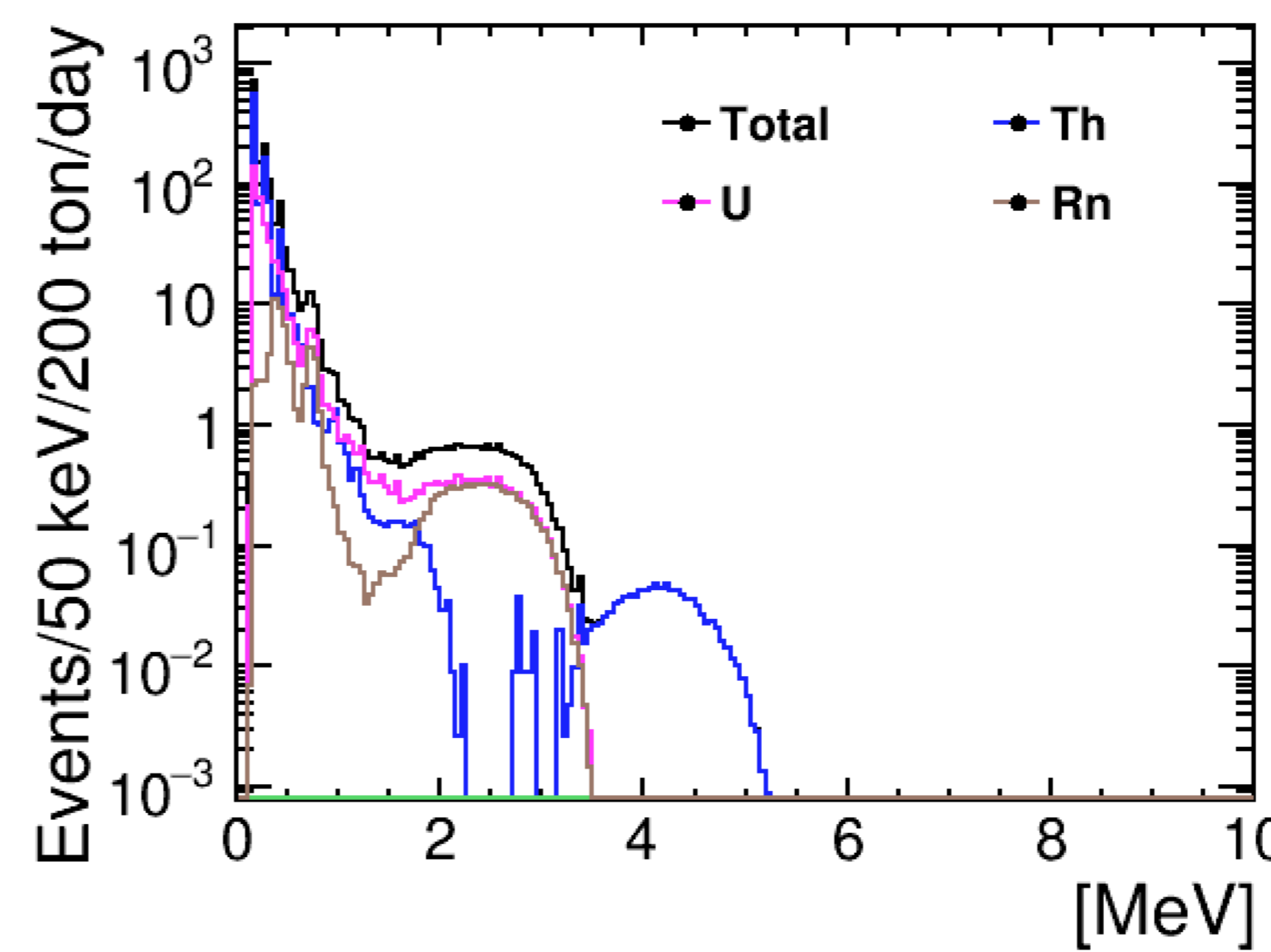
- ◆ 探测器中所含物质均含有一定的放射性同位素。
- ◆ 参考Borexino与SNO两个实验的设计参数, 锦屏中微子实验模拟中加入了铀、钍、钾或氡的放射性同位素含量。

Material	Exp	U238 g/g	Th232 g/g	K40 g/g	Rn222
Liquid Scintillator	JPSim	1E-16	1E-16	1E-18	1E-06 Bq/kg
	Borexino	1E-16	1E-16	1E-18	1E-06 Bq/kg
Acrylic	JPSim	6E-13	1.6E-12		
	SNO	6E-13	1.6E-12		
Fe(304 L)	JPSim	3.7E-10	2.8E-09	4.5E-07	
	Borexino	2E-10	1E-10	1E-11	
Water	JPSim	5E-14	5E-14	1E-14	1E-06 Bq/m ³
	Borexino	1E-13	2E-13	2E-14	1E-06 Bq/m ³
	SNO	5E-14	5E-14		
PMT window	JPSim	7.78E-08	1.72E-07	9.62E-05	
	Borexino	3E-08	1E-08	2E-09	
Rock	JPSim	8.1E-07	2.46E-07	3.23E-03	

500吨探测器全本底能谱的预先研究

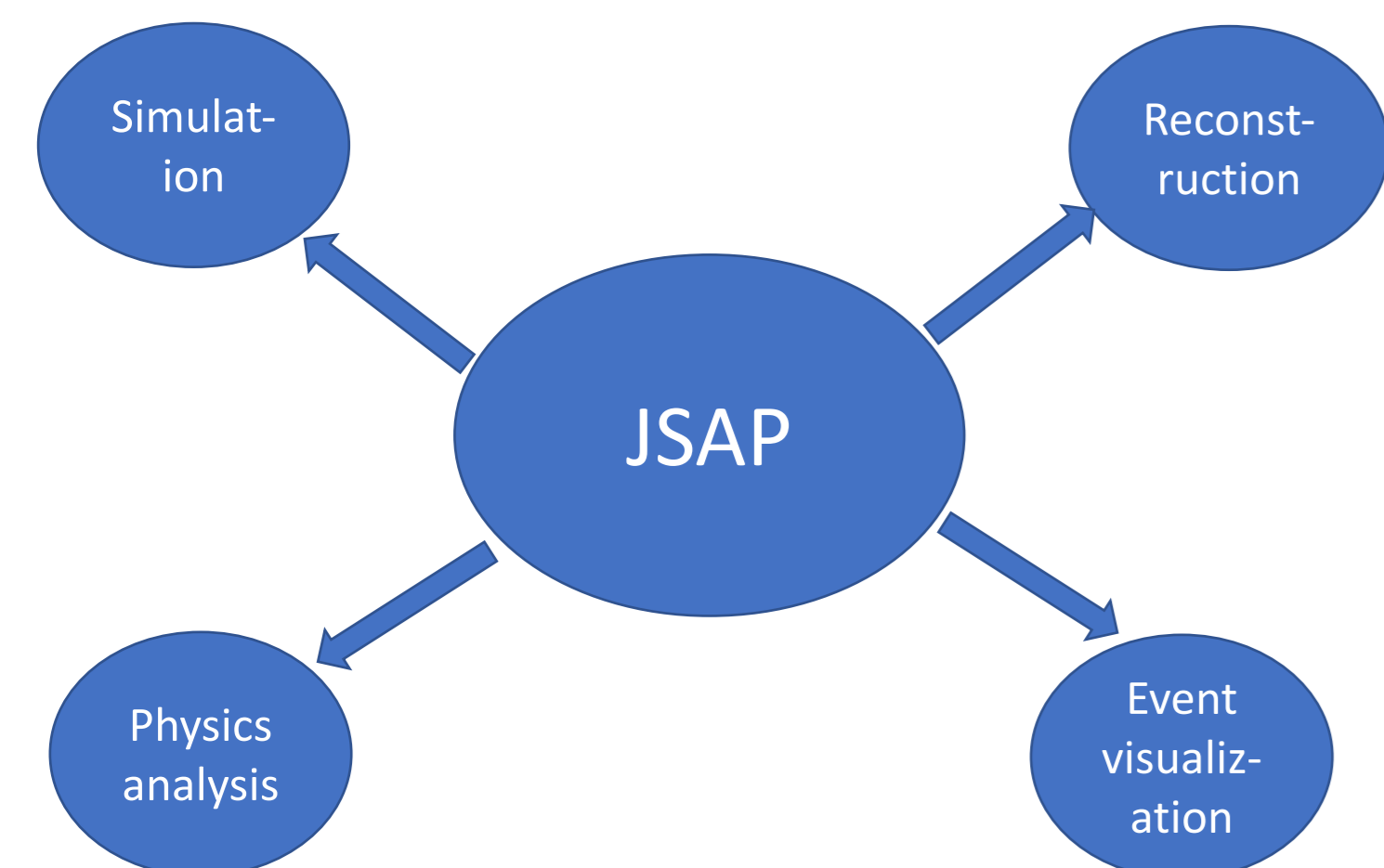


- ◆ 利用JSAP模拟软件, 针对500吨探测器不同结构, 对其天然放射性同位素进行模拟。
- ◆ 探测器内部本底 (慢液闪、亚克力容器、水隔离层) 在有效靶体积内本底数目贡献最多的为亚克力容器, 其中U衰变链中的Bi214以及Th衰变链中的Ac228和Ti208贡献较大。
- ◆ 探测器外部本底 (光电倍增管、支架), 其本底数目贡献最多, 能进入到有效靶体积内的同位素只有Bi214和Ti208, 但其主要贡献在低能区(<0.5 MeV)。



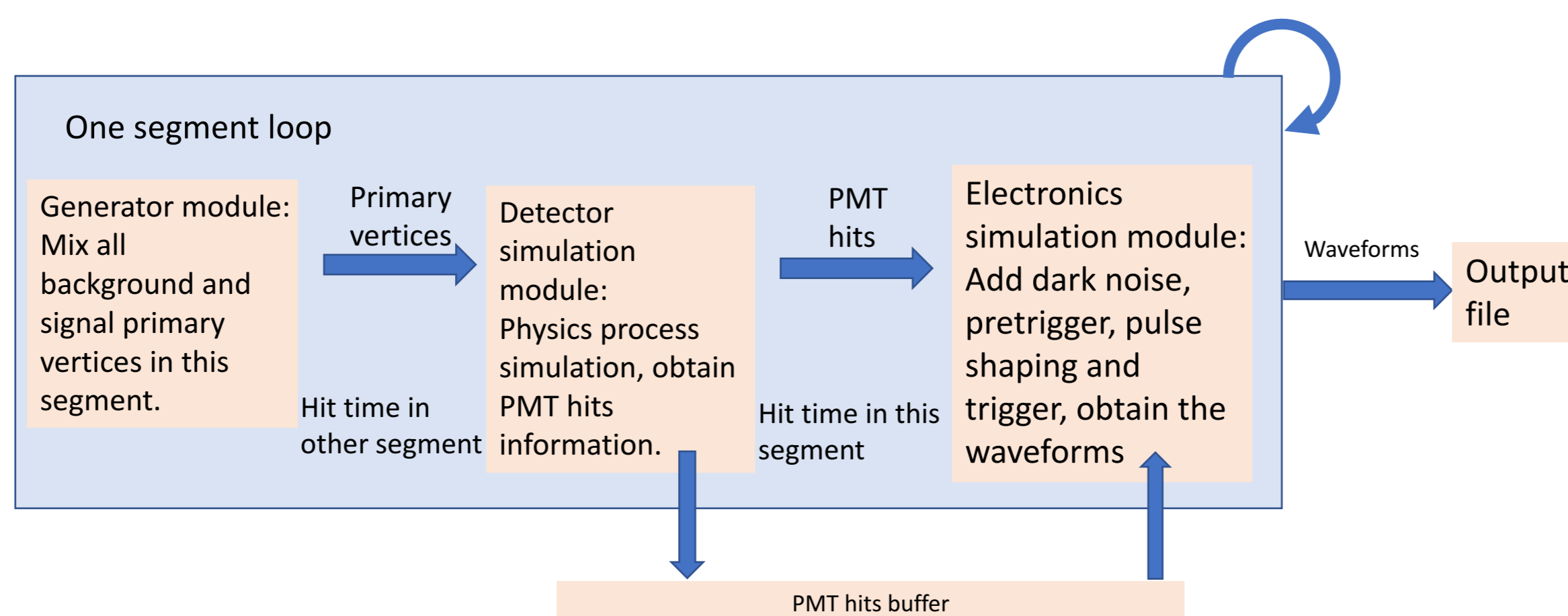
- ◆ 为了寻找与物质相互作用的新模式, 特对1~3 MeV的能区进行研究, 其主要本底贡献为探测器中的亚克力。
- ◆ 通过在1~3 MeV的本底顶点分布图可得知, 本底集中在液闪边缘部分, 因此寻找本底分布较为均匀的部分, 取这一部分为有效靶质量(200吨), 可使本底数目显著降低。

JSAP模拟软件



- ◆ JSAP(Jinping Simulation and Analysis Package) 是基于Geant4开发的专为锦屏中微子实验服务的软件。
- ◆ JSAP利用GDML来构建几何结构, 其优势是便于修改和设计。
- ◆ JSAP中包含了模拟、重建、分析以及单事例显示等程序。
- ◆ 模拟部分使用了触发模拟、电子学模拟, 并通过波形读出。

- ◆ 不同于对撞机物理中逐事例的模拟触发, JSAP提供了流式触发模式。



- ◆ 流式触发模式是在一个模拟循环中记录一个时间段的所有事例数。

总结与展望

- ◆ 利用500吨探测器对不同结构的放射性同位素进行模拟, 研究了铀、钍、钾和氡的放射性本底的能谱及其影响, 研究了减少放射性本底的关键技术问题。
- ◆ 在目前设计下, 在1~3 MeV的能区内可以控制信噪比为1:10, 未来可通过更换亚克力容器为气球模型并进行液闪纯化[2]来降低此能区的本底。
- ◆ 通过对500吨探测器的研究, 我们了解了本底的来源以及降低本底的方法, 这些对未来千吨探测器的设计与研究提供极大的帮助。

主要参考文献:

- [1] Chinese Physics C 41, 023002 (2017)
- [2] Phys.rev.d, 2013, 89 (11) :115-122

联系方式:

Email: luowentai15@mails.ucas.ac.cn
Tel: 13521737064