

大亚湾中微子试验中的FLUKA模拟研究

李登杰

lidengjie@ihep.ac.cn

中国科学技术大学 - 高能物理所

August 18, 2015

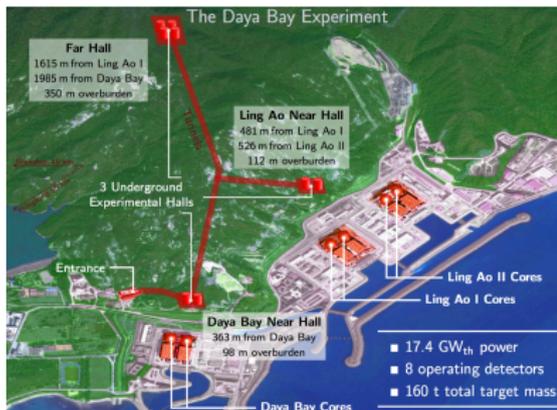
Outline

- 1 大亚湾中微子实验简介
- 2 FLUKA软件简介
- 3 Muon模拟研究
- 4 总结

大亚湾中微子实验简介

- 1 大亚湾中微子实验简介
- 2 FLUKA软件简介
- 3 Muon模拟研究
- 4 总结

大亚湾中微子实验简介



实验目的: 通过中微子反 β 衰变反应测量中微子震荡矩阵中的混合角 θ_{13} , 可用于确定未来理论物理领域未来的研究方向, 比如现在结果表明, 我们可以进一步探测CP破坏相位角, 进而确定大统一理论范畴。

大亚湾实验站鸟瞰图

实验理论基础: 电子中微子在传播过程中发生震荡, 从 $\nu_e \rightarrow \nu_\mu$ 或 ν_τ , 这个转化概率为: $P = f(\theta_{13})$.

探测方法: $\nu_e + p \rightarrow e^+ + n$, 根据信号的能量和时间特征, 探测 e^+ 和中子信号, 以此确定探测到一个中微子信号。

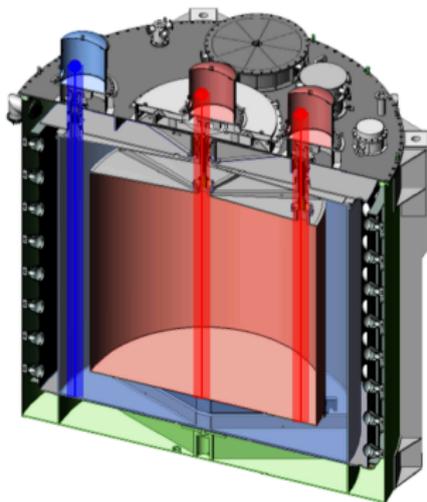
大亚湾中微子实验简介

实验规划: 深圳大亚湾核电站，大亚湾和岭澳作为近点探测点，（大约1700m）外为远点探测点，简单理解，近远点探测到的信号数量的比值，即为未转化概率 P 。

试验中的模拟方法: 蒙特卡洛 (Monte Carlo) 模拟。

模拟软件: GEANT4/FLUKA

模拟内容: 包括探测器模拟（几何结构、实验材料、PMT系统，探索设计可行性），物理反应过程（得到信号特征）。



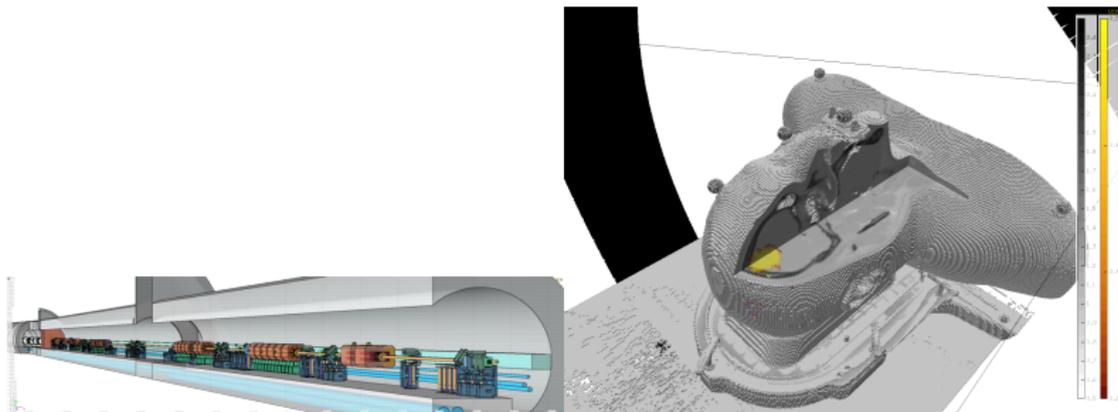
探测器模拟图 (by
GEANT4)

FLUKA软件简介

- 1 大亚湾中微子实验简介
- 2 FLUKA软件简介
- 3 Muon模拟研究
- 4 总结

FLUKA软件简介

FLUKA is a fully integrated particle physics MonteCarlo simulation package. It has many applications in high energy experimental physics and engineering, shielding, detector and telescope design, cosmic ray studies, dosimetry, medical physics and radio-biology.

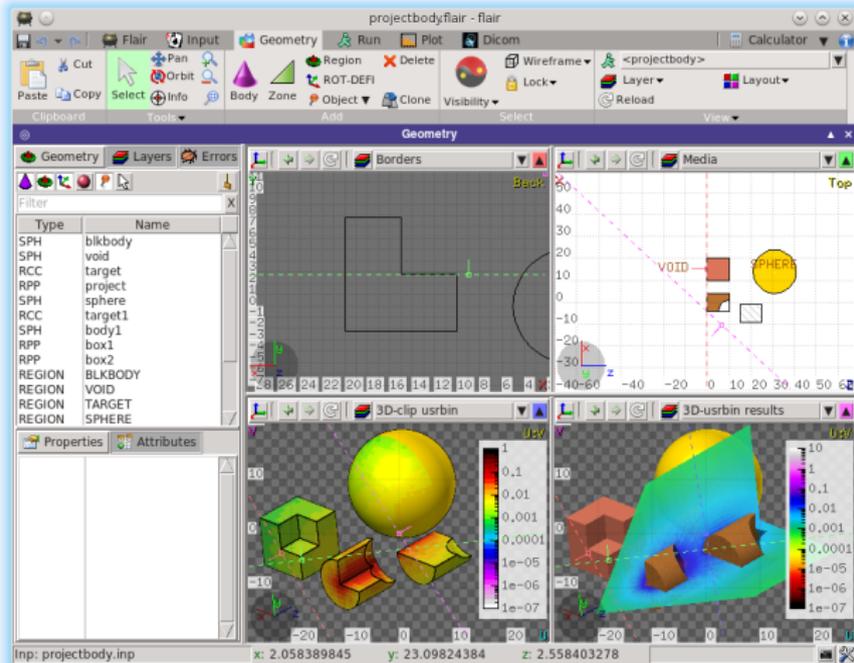


官网：<http://www.fluka.org/>

邮件列表检索：http://www.fluka.org/FLUKA/web_archive/earchive/new-fluka-discuss/index.html

FLUKA软件简介

Flair



FLUKA软件简介

1 代码框架:

1) dayabay.inp

*...+...1....+...2....+...3....+...4....+...5....+...6....+...7....+...8

产生子:

BEAM -8.0 MUON+

BEAMPOS 300. 0.0 9950. NEGATIVE

材料:

MATERIAL 1.0 WATER

COMPOUND 2.0 HYDROGEN 1.0 OXYGEN WATER

几何:

RPP OWS -3100. -766. -1100. 1000. 200. 1200.

材料与几何组合:

ASSIGNMA WATER OWS

物理过程:

能量传输阈值:

EMFCUT -1.E-3 1.E-3 0. 2. @LASTREG

FLUKA软件简介

EMFCUT -1.E-3 1.E-3 1. 3. @LASTMAT PROD-CUT

光核作用：

PHOTONUC 1. 3 @LASTMAT

2) *.f (FORTRAN语言)

用户自定义操作：(自定义产生子 source.f、保存需要的事例信息)

在*.inp里用相应的指令调用这些*.f

SOURCE

2 运行方式

make 得到可执行文件DYB

rfluka -e DYB dayabay.inp -N0 -M1

3 与ROOT结合，保存数据到.root，供后续使用。

FLUKA软件简介

Muon;1

- EventID
- InitKineE
- InitTime
- InitLocalX
- InitLocalY
- InitLocalZ
- InitLocalXCos
- InitLocalYCos
- InitLocalZCos
- OwsTrackLength
- IwsTrackLength
- MoTrackLength
- LsTrackLength
- GdLsTrackLength
- NumOfNeutron
- NumOfIsotope
- MuonCharge

Neutron;1

- InitKineE
- InitTime
- InitLocalX
- InitLocalY
- InitLocalZ
- CapLocalX
- CapLocalY
- CapLocalZ
- CapTime
- CapGammaESum
- EventID
- CapGammaNum
- MotherFlukaNumber
- MotherInteractionType
- CapVolumeName

Spallation;3

- x
- y
- z
- dE
- time
- quenchedDepE
- EventID
- FlukaNumber
- EnergyDepositedType
- MotherFlukaNumber
- MotherInteractionType
- Volume

Muon模拟研究

- 1 大亚湾中微子实验简介
- 2 FLUKA软件简介
- 3 Muon模拟研究
- 4 总结

Muon模拟研究

为何粒子物理需要模拟研究：

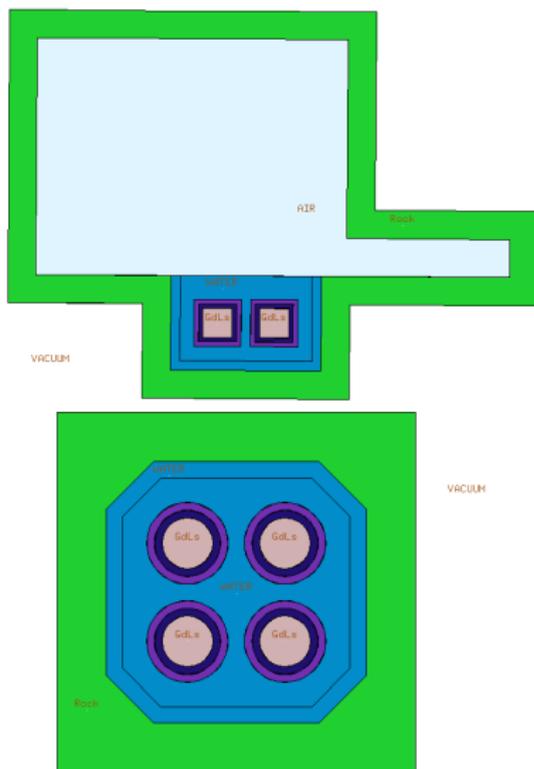
- 1) 实验前期，可用来模拟探测器，根据模拟结果，向着目标修改设计。
- 2) 试验中，用来模拟具体的物理过程，对物理场景给出定量定性的物理理解。
- 3) 分析中，信号遵循特定的显式的物理公式，无需一般的模型验证，但须与模拟结果保持吻合来说明分析的正确性，确保没有遗漏某些特征。即用模拟来验证真实数据分析的正确性。

研究目的：通过模拟大亚湾试验中宇宙线muon产生的中子和同位素，分析物理信号特征

- 1) 研究中微子试验中的中子和同位素本底
- 2) 以及Muon物理，研究中子产额和同位素产额

1 构建探测器几何

Muon模拟研究



3号试验大厅FLUKA模拟图

Muon模拟研究

2 填充材料

Region:	vacuum	rock	air	OWS	IWS	SST	MO	OAT
Material:	vacuum	Granite Rock	Air dry (near sea level)	Water	Water	Steel	Mineral Oil	Acrylic
	LS	IAT	GDLS					
	Liquid Scintillator	Acryli	Gd Liquid Scintillator					

3 构造Muon产生子

上游 MUSIC 软件模拟宇宙线产生muon的过程，得到宇宙线产生的muon的能量和角度信息。利用这些结果信息，把这些Muon作为产生子输入到我这一部分模拟工作作为初始粒子。确保这些muon均匀入射大亚湾实验大厅。

4 选择合适的物理过程，关闭不必要的模拟步骤节省模拟时间不模拟低能电子和光子的传播过程，直接沉积全部能量，停止模拟。

5 保存事例信息到本地，与ROOT结合。

Muon模拟研究

6 后续分析模拟数据

- 1) 挑选每个muon产生的中子，同时记录muon在探测器中的径迹长度，然后计算中子的产额。
- 2) 记录中子的能量位置时间信息，为真实实验分析的能量时间cut估计效率。
- 3) 分析muon的行为信息，给出实验分析中的muon相关效率值。

用ROOT软件储存读取数据，做基本的统计分析，画图，最小二乘拟合，最大似然拟合。

一次性写入数据，不可后续修改更新已有的数据，但强在于一次处理TB/PB级别的数据。

ROOT website : <https://root.cern.ch>

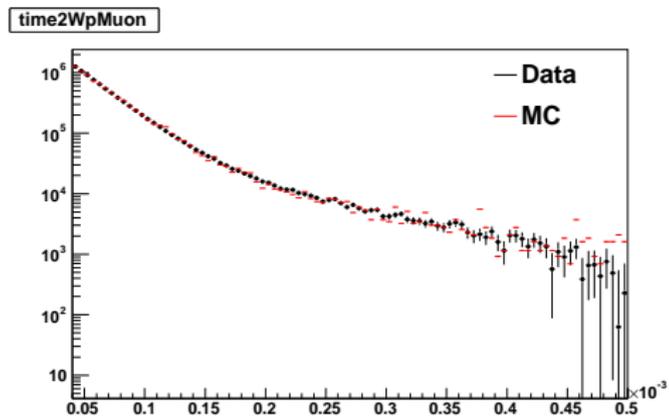
7 结果举例

Muon模拟研究

P14A+P14B	DYB	relative err	LA	relative err	FAR	relative err
Neutron Number	16463000	0.025 %	11153600	0.030 %	2470040	0.064%
$\xi_6 - 12\text{MeV}$	0.917	0.920%	0.917	0.920 %	0.917	0.920%
$\xi_{20} - 500\mu\text{s}$	0.602	2.44 %	0.599	2.44 %	0.604	2.44%
$\xi_{\text{Gd}} / (\text{Gd} + \text{H})$	0.828	1.21 %	0.830	0.964 %	0.829	1.09%
ξ_{spill}	0.938	1.44 %	0.936	0.0584%	0.915	4.59%
ξ_{μ}	0.589	5.26 %	0.589	5.26 %	0.597	3.86%
Average Track Length(cm)	204	2.65 %	204	2.65 %	206	2.65 %
AD Muon Number	3338940000	0.002%	2235420000	0.002 %	310685000	0.006%
$\rho_{\text{GDLs}} (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	0.860	0.00 %	0.860	0.00 %	0.860	0.00%
RESULT($\text{g}^{-1} \mu^{-1} \text{cm}^2$)	1.11E-04	6.71 %	1.13E-04	6.51 %	1.79E-04	7.14%
MC from FLUKA	0.83E-04	0.25%	0.87E-04	0.38%	1.72E-04	0.21%

Yield of muon induced neutron.

Muon模拟研究



Neutron captured time to previous muon

总结

- 1 大亚湾中微子实验简介
- 2 FLUKA软件简介
- 3 Muon模拟研究
- 4 总结

总结

1. 简述大亚湾中微子实验
2. 介绍高能物理中常用的一款蒙特卡罗模拟软件FLUKA
3. 用FLUKA模拟数据研究了muon产生的中子和同位素。