

# FÍSICA DE NEUTRINOS DE REATORES

## 1 – Introdução:

A Física de Neutrinos teve um avanço fantástico na última década. A comprovação experimental que neutrinos podem oscilar entre seus diferentes estados físicos e a implicação que possuem massa constituem um dos resultados mais importantes da Física de Partículas em anos recentes e uma forte evidência da existência de uma Física além do modelo padrão. Paralelamente houve também nos últimos anos grandes avanços nas técnicas de detecção de neutrinos que possibilitam hoje a realização de experiências de grande precisão que permitiram o surgimento de novas aplicações da física de neutrinos. O fato dos reatores nucleares serem fontes abundantes de neutrinos provenientes da fissão nuclear dos elementos combustíveis possibilita usá-los tanto para o estudo de propriedades fundamentais destas partículas como também para obter informações sobre a queima do combustível nuclear e a evolução de sua composição.

O projeto Física de Neutrinos de Reactores se propõe a explorar estas duas possibilidades: estudo de propriedades fundamentais dos neutrinos através do experimento Double Chooz na França e estudo da aplicação da detecção de neutrinos para monitoramento de reatores nucleares através do experimento Neutrinos Angra no Brasil, com a utilização do reator Angra II como fonte de neutrinos. Uma forte componente do projeto é o desenvolvimento de instrumentação científica para alcançar estes dois objetivos

## Experimento Neutrinos Angra:

Reatores nucleares são uma intensa fonte de antineutrinos e a potência térmica liberada no processo de fissão dos elementos combustíveis é diretamente relacionada com o fluxo emitido de antineutrinos. Como os antineutrinos interagem muito fracamente com a matéria e escapam do reator sem nenhuma mudança significativa no seu número, a medida do fluxo de antineutrinos pode dar em tempo *quasi-real* informação sobre o *status* do reator (ligado/desligado) e sua potência térmica.



Utilizando o reator nuclear Angra II pretendemos desenvolver técnicas para monitorar reatores nucleares através da medida do fluxo de antineutrinos emitido. Estas técnicas além de oferecerem um método alternativo e independente do operador para medir o estado e a potência térmica do reator podem também ser usadas para estimar a composição isotópica do combustível nuclear no final do ciclo de combustível, podendo constituir-se numa nova técnica para implementação de salvaguardas nucleares. Este projeto de física aplicada despertou o interesse da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN e da Agência Internacional de Energia Atômica – IAEA. No momento estamos construindo um detector Cherenkov de antineutrinos e pretendemos iniciar as medidas em 2012. Este projeto nos permitirá adquirir *know-how* na detecção de neutrinos, técnica experimental ainda não desenvolvida no Brasil.

## Experimento Double Chooz:

O fenômeno de oscilação quântica de neutrinos entre estados de diferente sabor foi bem estabelecido na última década pelo estudo de neutrinos solares e de neutrinos atmosféricos, que permitiram medir os ângulos de mistura  $\theta_{12}$  e  $\theta_{23}$  da matriz de mistura leptônica que relaciona os três autoestados de sabor aos três autoestados de massa. Entretanto o terceiro ângulo de mistura  $\theta_{13}$  ainda não foi medido, existindo apenas um limite superior para seu valor. Assim uma das mais importantes questões em aberto na física de neutrinos atual é o valor do ângulo de mistura  $\theta_{13}$ .

Como consequência do projeto Neutrinos Angra fomos convidados em 2007 para participar da colaboração Double Chooz. O objetivo do experimento Double Chooz é exatamente observar o fenômeno de oscilação do antineutrino do elétron em outros tipos de neutrinos e assim medir o valor do ângulo de mistura  $\theta_{13}$ .



A técnica usada para comprovar o fenômeno de oscilação e medir  $\theta_{13}$  é observar o desaparecimento, entre dois detectores idênticos colocados a diferentes distâncias do reator, de parte do fluxo esperado de antineutrinos do elétron gerados no reator nuclear.

O primeiro detector, o mais distante, já foi concluído e iniciou a tomada de dados em abril de 2011. O segundo detector, que

ficará mais próximo ao reator, deverá entrar em operação no primeiro semestre de 2013.

A contribuição brasileira ao experimento Double Chooz foi o desenvolvimento e construção de uma eletrônica capaz de medir a energia dos múons cósmicos que cruzam o detector. Isto possibilitará rotular múons altamente energéticos e candidatos a produzir nêutrons por espalação, uma das fontes mais importantes de ruído para eventos de neutrinos. Isto permitirá reduzir os erros sistemáticos na medida de  $\theta_{13}$ . A eletrônica foi projetada no CBPF e os módulos para o detector distante estão sendo construídos em cooperação com indústrias brasileiras e serão adicionados ao detector central em março de 2012 por ocasião de uma parada para manutenção.

## Bibliografia:

- [1] J. C. Anjos *et al.*, Nucl.Phys. B (Proc. Suppl.) **155**, 231 (2006).
- [2] J. C. Anjos *et al.*, Braz. J. Phys. **36**, 1118 (2006).
- [3] J. C. Anjos *et al.*, Proc. NuFact09, AIP Conf.Proc.1222:427-430, 2010.
- [4] Final Report: Focused Workshop on Antineutrino Detection for Safeguards Applications, Vienna, IAEA Report STR-361 (2008).
- [5] Phys. Lett. B 420, 397, 1998
- [6] Phys. Lett. B 466, 415, 1999
- [7] M. Goodman, T. Lasserre, [arXiv:hep-ex/0606025v4](https://arxiv.org/abs/hep-ex/0606025v4), (2006)