

4

Observatório Auger

O mérito do Observatório Pierre Auger (37) é construir um detector capaz de solucionar o quebra-cabeça do espectro, a origem e a composição dos UHECR. Para responder essas questões, o Auger usa a combinação do detector de fluorescência e um sítio no solo para medir os raios cósmicos de alta energia. Na seção seguinte, o mesmo será descrito em detalhe.

4.1

Descrição

O Observatório Pierre Auger é um detector de desenho híbrido para estudar a grande faixa de energia de raios cósmicos do espectro acima de 10^{18} eV. Combinando um grande sítio de detectores de água Cherenkov (WCD) e detectores de fluorescência (FD), o qual captura a luz produzida por chuviros extensivos de ar na atmosfera (35). A combinação dessas duas técnicas permite confrontar as medidas de parâmetros do chuviro, a calibração dos detectores, e também representa o primeira arranjo gigante no qual as duas técnicas são utilizadas. Foi concebido para medir o fluxo, a direção e a composição dos raios cósmicos ultra energéticos de forma bastante precisa. As medidas simultâneas de diferentes variáveis possibilitam a reconstrução do chuviro, reduzindo possíveis erros sistemáticos, fornecendo uma resolução temporal mais precisa e permite confrontar a calibração. Além disso, ambas as técnicas enxergam chuviros de ar de forma complementar. O arranjo no solo mede a distribuição lateral do chuviro, que permite separar as componentes eletromagnéticas e muônica, enquanto os detectores de fluorescência gravam o perfil longitudinal durante o desenvolvimento através da atmosfera.

O Observatório completo irá consistir de dois instrumentos, localizados nos hemisférios Norte e Sul a fim de cobrir de forma homogênea todo o céu e ser capaz de observar as fontes de UHECR com abertura suficiente. O Observatório Sul irá cobrir uma área de aproximadamente 3000 quilômetros quadrados, atualmente está no último estágio de construção e opera de forma estável desde o início de 2004. Está localizado em Pampa Amarilla, próximo a cidade de Malargue na província de Mendoza - Argentina. Terá 1600 WCD distribuídos

em um arranjo de rede triangular com 1500 metros de separação entre cada um, propagando-se por toda a área e com quatro prédios de detectores de fluorescência, cada um dos quais hospedando seis telescópios, observando a atmosfera acima de toda a área de superfície dos detectores.

Na figura 4.1 é mostrado um esquema do Observatório Pierre Auger desde abril de 2007.

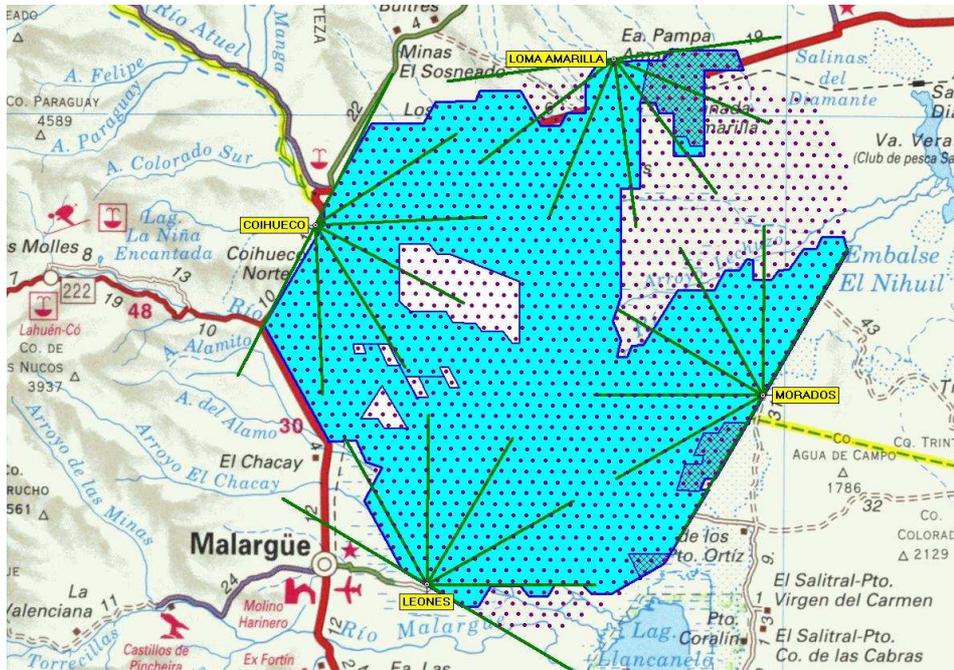


Figura 4.1: Desenho em abril de 2007 do Observatório Sul. No mapa são mostrados os detectores Cherenkov (pontos) e os quatro detectores de fluorescência (rótulos com o correspondente nome do prédio). A área sombreada corresponde às estações que estão em funcionamento.

O Observatório Norte é desenvolvido para completar o prosseguimento de busca do Observatório Sul.

O Auger Norte manterá basicamente o mesmo funcionamento e propriedades do Auger Sul. O sítio norte localizado no Colorado-EUA terá uma área 3,5 vezes maior que o Observatório Sul. Cobrindo uma área de 10370 km² com uma rede quadrada de tanques Cherenkov na forma 135 × 77 km sendo observados de forma complementar por três prédios de fluorescência, cada um com seis telescópios provendo uma cobertura híbrida. A área total está incrementada a fim de obter mais estatísticas para eventos com energias acima de 10¹⁹eV (39). Sua construção terá início tão logo a do Observatório Sul esteja terminada.

4.2

Detectores de Superfície

O princípio de funcionamento de um Detector de Superfície (SD) é chamado radiação Cherenkov, emitida quando uma partícula carregada atravessa um meio translúcido (tipo a água) a uma grande velocidade maior que a velocidade da luz nesse meio. Isto causa a emissão de uma radiação eletromagnética na forma de luz. A luz é capturada pelo Tanques de água Cherenkov (WCD) na forma de um sinal, o qual é analisado.

4.2.1

Características e Descrição



Figura 4.2: Foto de um detector de água Cherenkov no campo.

Uma estação de SD consiste em um tanque cilíndrico de polietileno, preenchido com água pura. A luz Cherenkov é medida por três tubos fotomultiplicadores (PMT), colocados de forma padrão no topo do tanque, apontando para baixo. Na figura 4.2 é mostrada uma figura de um WCD.

O conjunto de detectores é sincronizado por um Sistema de Posicionamento Global (GPS) que permite fazer uma reconstrução da direção de chegada. As estações se comunicam com o Sistema Central de Aquisição de Dados (CDAS), via um sistema de comunicação sem fio (wireless). As estações são alimentadas por dois painéis solares carregados com duas baterias de 12 Volts, de forma que cada detector seja independente do outro no arranjo.

Os detectores de superfície se mostram perfeitamente eficientes para energias acima de 3×10^{18} eV e estão aptos a coletar dados durante todo o ciclo. Este desenho foi escolhido por sua durabilidade, baixo custo e viabilidade (37).

Com um SD obtemos uma medida da densidade do sinal no solo, e reconstrói a direção de chegada e a energia dos chuveiros de ar, pelo ajuste das medidas para um dado modelo frontal do chuveiro e a densidade do sinal observado como função da distância ao eixo do chuveiro, respectivamente.

As características específicas de cada estação são descritas a seguir:

Tanque As estações são formadas por tanques de polietileno moldados em forma circular com 3,6 metros de diâmetro e 1,5 metro de altura, contendo um volume cilíndrico de água pura de 1,2 metros cúbicos. O topo do tanque foi desenvolvido para abrigar 3 fotomultiplicadoras e fornecer rigidez, de forma a suportar a pressão exercida pelos painéis solares.

Os tanques precisam ser opacos para garantir que nenhuma luz consiga penetrá-los. Entretanto, para reduzir o impacto ecológicos e os efeitos do aquecimento durante os dias de sol, que poderia ser causado por tanques negros, eles são rotomodulados em duas camadas. A camada externa é composta

Com um pigmento bege, para imitar as cores da areia do terreno e a camada interna é revestida com duas camadas negras espessas. Além disso, para proteger contra a degradação dos raios ultra-violeta uma resina especial é utilizada.

Material do Tanque o material é uma bolsa cilíndrica de poliolefina tyvek, usada para armazenar a água contida dentro do detector. Isto protege a água de contaminação e inibe a atividade de bactérias. Possui uma alta refletividade de luz Cherenkov e atua como uma garantia secundária contra fontes externas de luz. Contém três janelas para colocar as PMT's.

Água Pura Os tanques são preenchidos com água ultra pura livre de contaminação e suas propriedades serão mantidas durante todo o tempo de vida do experimento. A água é produzida em uma planta de purificação implementada no Observatório. É produzida com uma resistividade melhor que $10M\Omega - cm$. Devido ao manuseio da água (desde a planta para o tanque de armazenamento, até o transporte do tanque e finalmente para o detector) a qualidade pode ser degradada. A transparência da água é monitorada usando o tempo de decaimento dos sinais das PMT's.

4.2.2

Eletrônica

Toda a eletrônica, com exceção das PMT's, estão contidas em uma caixa a prova de água, localizada no topo da caixa de PMT's.

PMTs Os tubos fotomultiplicadores usados para coletar a luz Cherenkov são Photonis XP1805 de 9" cada (37). O sinal de cada PMT é extraído do anodo e do último dinodo. O sinal do dinodo é amplificado a um fator de 32 para se obter uma boa faixa dinâmica.

Eletrônica de front-end e gatilhos de primeiro nível O sinal de cada PMT é enviado para uma placa eletrônica chamada Front-End, onde a leitura dos sinais de cada tanque é digitalizada por 6 conversores rápidos analógicos de 10 bits para conversor digital (FADCs) rodando a uma frequência de 40 Mhz. A saída de cada FADC é um sinal digitalizado em intervalos de 25 ns. O sinal digitalizado é enviado a um computador local, chamado Programable Logic Device (PLD) usado para implementar as decisões dos gatilhos de primeiro nível (ver seção 3.2.4).

Controlador de Estações A eletrônica local é controlada por uma placa de CPU. O controlador fica encarregado de selecionar os sinais de gatilho e enviá-los a uma estação central. O Controle Lento (Slow Control-SC) é usado como uma interface para o gatilho PLD, portanto, o limite e a tensão da PMT podem ser determinados e as informações monitoradas, tais como temperatura nas PMT's, painéis solares e outros também podem ser lidos.

Fonte de Alimentação A eletrônica de cada estação é desenvolvida para consumir uma potência mais baixa que 10 W, que é obtida pelas baterias de 12 V, carregadas por dois painéis solares de 60 W cada. Uma placa de controle de potência é usada para monitorar diferentes tensões e correntes do sistema e fornecer 24 V para a placa-mãe.

Sistema de Comunicação de Dados Consiste de duas redes de rádio integradas. Uma é a rede de microondas, que é uma rede de alta capacidade e provê as comunicações dos prédios do FD com a estação central. Usa uma arquitetura padrão de comunicação para prover links ponto a ponto, consistindo em microondas com unidades de interface. A segunda rede é uma rede sem fio local (Local Area Network wireless-LAN), usada para comunicar com o SD e desenvolvida para os padrões do projeto. A comunicação com as estações é feita de maneira similar via um sistema de telefonia celular.

4.2.3 Calibração

A calibração dos detectores de superfície é necessária para tornar possível a relação da densidade do sinal obtido pela medida da luz Cherenkov produzida dentro dos tanques com algumas unidades físicas. A unidade escolhida foi a carga depositada por trajetória replicantes de muons verticais e centrais, chamada equivalência muon-vertical (VEM).

Uma vantagem de se usar esta unidade é que ela não será afetada pelas circunstâncias experimentais tais como mudança nos ganhos das PMT's ou flutuações eletrônicas. A maneira mais fácil de se determinar um VEM a partir de um WCD é usar o telescópio de múons, que consiste no uso de dois cintiladores localizados fora do detector. Um no topo e outro na base do detector, no mesmo eixo de simetria e trabalhando em coincidência. Isto nos permitirá determinar a trajetória dos muons que atravessam os tanques, fazendo assim com que os muons possam ser escondidos ou distinguidos. Com essa informação iremos produzir um histograma da distribuição de carga para as PMTs. (40)

Devido a enorme quantidade de detectores, este método torna-se caro e impraticável para o Observatório Auger. No entanto, foi necessário para desenvolver outros métodos.

A melhor opção é usar o histograma carregado produzido pelos muons atmosféricos, que são coletados por um arranjo tridimensional de PMTs nos detectores (figura 4.3).

Na figura 4.3 se mostro o histograma da distribuição de carga pelos muons atmosféricos (linha contínua) e os pulsos de gatilho dos telescópios de múons (linha pontilhada).

É possível estabelecer uma correlação entre o histograma produzido pelo muons de ruído no tanque e o histograma obtido via telescópio de múons. Ajustando os picos para ambos os histogramas é possível inferir a carga do VEM (40).

O valor do VEM e os outros parâmetros necessários para a calibração são medidos a todo minuto em paralelo a tomada de dados regular e enviados ao CDAS para permitir a determinação da acurácia da densidade do sinal em cada detector e fornecer um nível estável de gatilho uniforme.

4.2.4 Gatilhos

A hierarquia dos gatilhos para os detectores de superfície é estabelecida em quatro níveis. Na primeira instância existem dois níveis de gatilhos: o

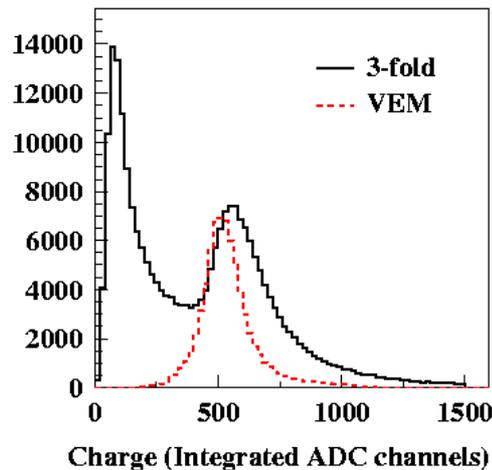


Figura 4.3: Histograma carregado para uma estação SD. A linha contínua 'e causada pelo gatilho tridimensional de coincidência de PMTs de detector especial de teste, localizado no prédio da estação central. O primeiro pico é causado pela convolução do gatilho em uma distribuição que se suaviza para partículas de baixa energia. O segundo pico é devido aos muons com profundidade vertical. O histograma pontilhado 'e produzido por um telescópio externo de múons, provido por um gatilho que seleciona muons verticais somente.

(41)

gatilho da estação local e o gatilho do arranjo de superfície. Para cada seleção de eventos, dois níveis de gatilhos de alto nível são elevados: gatilho físico e gatilho de qualidade.

Gatilho da Estação Local O gatilho simples da estação é dividido em dois níveis de gatilho, T1 e T2. Para o primeiro nível (T1), dois diferentes gatilhos são implementados:

- **Tempo sobre Limite (Time Over Threshold - ToT):** Requer ao menos 13 bins em uma janela de 120 bins acima de 0,2 VEM em coincidência com 2 PMTs (48). É eficiente para selecionar pequenas propagações de sinal, do EAS de alta energia distante do detector ou chuviros de baixa energia, enquanto se ignora os ruídos dos muons simples. A frequência do ToT é da ordem de 1 Hz.
- **Limite - Threshold (Th):** É a coincidência de 3 PMTs a um limite de 1,75 VEM a pelo menos 1 bin. É usado para detectar sinais rápidos (menores que 200 ns) correspondente a componente muónica gerada por chuviros horizontais. A frequência de Th é cerca de 100 Hz.

O gatilho de segundo nível (T2) é aplicado no controlador da estação para selecionar os sinais de T1 tais como os vindos dos EAS. Todos os gatilhos ToT são diretamente direcionados para T2, enquanto os gatilhos Th são requisitados para ter um limite de 3,2 VEM na coincidência para 3 PMTs. Com a redução da frequência em relação a T1 sendo aproximadamente 21 Hz.

Arranjo do Gatilho de Superfície O principal gatilho central (T3), exige a coincidência de três tanques que tenham passado o ToT e atendido alguns requisitos mínimos de compactação, principalmente que um dos tanques tenha sido engatilhados por dois gatilhos vizinhos (3ToT). No caso em que o evento não seja ToT, mas tenha um limite, logo os requisitos são ao menos a coincidência de quatro estações para qualquer T2.

Gatilho Físico O gatilho físico (T4) é usado para selecionar os chuveiros reais originados de dados T3, os quais podem conter alguma mesma coincidência, ou seja, aqueles tanques no evento que foram engatilhados não são parte de uma configuração real de eventos (estações acidentais). Os critérios de seleção exigem:

- Configuração 3ToT (3 tanques de um eventos que sejam ToT em uma configuração compacta).
- Configuração compacta para qualquer gatilho local, onde a estação com sinal de maior energia seja equalizada por 3 tanques engatilhados.

O T4 é otimizado para chuveiros com ângulos zenitais acima de 60 graus (chuveiros inclinados), neste caso outros critérios de seleção são aplicados, porque estes chuveiros apresentam um padrão topológico distinto (43). Os detalhes dos critérios para gatilhos físicos para chuveiros inclinados não será discutido, porque não é relevante para o desenvolvimento do presente trabalho.

Gatilhos de Qualidade O gatilho de qualidade (T5), seleciona aqueles eventos que haviam passado pelos critérios T4 que possam ser reconstruídos, sabendo que parâmetros como o eixo do chuveiro decai suavemente no arranjo. T5 exige que o tanque com maior sinal tenha seis das suas vizinhanças operacionais no tempo do evento. O gatilho é de grande importância durante o desenvolvimento do arranjo de SD, porque é difícil alcançar a compactação necessária para uma boa reconstrução e além

disso os muitos efeitos de bordas trazidos pelas más reconstruções. Aproximadamente 80% dos eventos T4 são também eventos T5.

4.2.5

Tanques Especiais no Arranjo

Tal como o arranjo do solo é mostrado na figura 4.1, um conjunto de detectores espaciais têm sido desenvolvido para que se possa realizar alguns estudos relevantes para a acurácia dos detectores de superfície.

Dubletos (Tanques Gémeos)

O primeiro grupo de detectores especiais consiste em pares de tanques separados apenas por uma distância de 11 metros entre si, chamados “*dubletos*” ou tanques gémeos. Devido a pequena distância entre os tanques, ambos os detectores irão observar a mesma região do chuveiro, logo, habilitando o confronto das reconstruções, tais como o tempo e a medida de comparação do sinal. Existem dois conjuntos de dubletos. Um contém somente dois pares (Moulin-Rouge e Dia-Noche), que foram desenvolvidos desde o início dos arranjos e tem sido operados desde Janeiro de 2004, enquanto o outro conjunto foi implementado recentemente. Este conjunto de dubletos foi desenvolvido a fim de obter mais estatísticas em um curto período de tempo (que somente os dois pares já implementados) permitindo a estimativa de incertezas para os parâmetros do chuveiro. Está em operação desde setembro de 2006 e é chamado de “*superhexágono*”. Consiste de um sub-arranjo de tanques contendo dezenove gémeos, dos quais sete são tripletos (3 tanques dispostos em uma rede triangular, também separados por 11 metros cada um), dispostos em uma configuração hexagonal como mostrada na figura 4.4.

Tanques Duais

Dois ou mais tanques foram instalados recentemente em uma rede triangular de tanques no arranjo regular. A proposta desse novo desenvolvimento é fazer alguma análise com uma nova técnica que implementa a detecção dos EAS usando frequências de rádio. Também, esses detectores-duais nos permitirão estudos a faixas menores de energia.

4.3

Detectores de Fluorescência

Partículas de alta energia quando viajam através da atmosfera ionizam os átomos de nitrogênio, chamado luz de fluorescência. Se for observado a grandes distâncias, então o chuveiro pode ser visto como uma fonte isotrópica

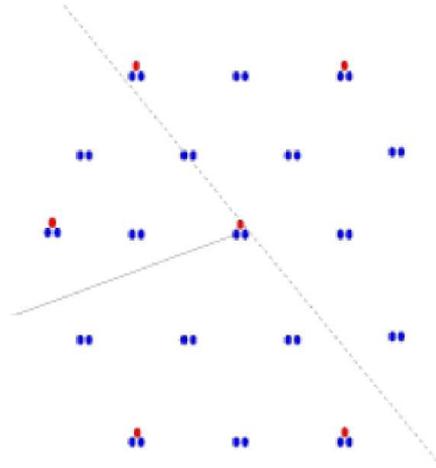


Figura 4.4: Um sub-arranjo de detectores, que consiste em pares de tanques separados por 11 metros e dispostos em uma configuração hexagonal. Eles são usados para confrontar a reconstrução.

de luz se movendo pela atmosfera. Os detectores de fluorescência usam câmeras de PMTs para capturas essa luz.

O detector de fluorescência consiste de 4 prédios, “olhos” dispostos em vértices, em uma configuração semelhante a um diamante como mostrada na figura 4.1, como uma separação de 65,7 km ao longo da direção Norte-Sul e 57 km na direção Leste-Oeste. Cada prédio contém seis telescópios independentes com um campo de visão de $30^\circ \times 28,6^\circ$, cobrindo um ângulo azimutal de 180° de cada olho, possibilitando enxergar toda a área coberta pelo arranjo de superfície. Cada telescópio é um sistema ótico Schmidt composto de um diafragma circular com abertura de 2,2 metros de diâmetro ao centro de curvatura do espelho, com transmissão UV filtrada sobre todo o diafragma a fim de reduzir o ruído do céu e as lentes corretoras Schimdt, as quais têm a finalidade de aumentar o raio do diafragma do telescópio enquanto mantém o tamanho de uma mancha. A câmera consiste de 20×22 tubos fotomultiplicadores (em um total de 440) possuindo um campo de visão de 1,5 graus cada, nos quais a luz é focada por um espelho esférico. O tamanho da mancha ótica na superfície focal tem um diâmetro de aproximadamente 15 mm (0,5 graus) para todas as direções de luz incidente. Para reduzir a perda de sinal quando a mancha de luz atravessa os limites da PMT, pequenos refletores de luz (“estrelas mercedes”) são colocadas entre as PMTs. Na figura 4.5 é mostrado um desenho do FD.

4.3.1

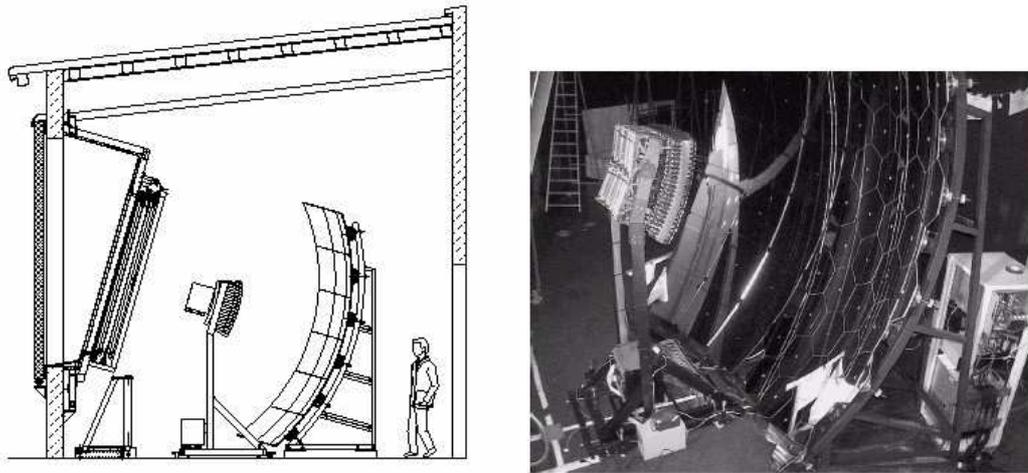


Figura 4.5: A figura na esquerda exibe uma representação esquemática de um telescópio. Na direita, o desenho mostra os detalhes da câmera, das PMTs e dos espelhos.

Calibração

O FD mede a direção de chegada, a sequência do perfil temporal, energias dos chuveiros de ar além de outras características. Entretanto, para medir esses parâmetros com o FD surge a necessidade da calibração entre o fluxo incidente de luz e o sinal recebido pelas PMTs, assim como a inclusão das correções atmosféricas e um bom conhecimento do rendimento da fluorescência. A primeira coisa de que se necessita a ser levada em consideração é que, a para medir o perfil longitudinal e a energia total do chuveiro, tem que ser possível converter as contagens de FADC em fluxos de luz. Logo, é necessário ter um método para desenvolver a resposta de cada pixel ao fluxo de fótons incidentes. Para fazer isto, existe o processo de calibração principal, dividido em duas fases:

Calibração Absoluta É desenvolvida usando um sinal calibrado para expor as PMTs e a abertura do telescópio. A luz é modelada em 2,5 m de diâmetro composta de um par de LEDs UV pulsados montado no exterior da abertura do FD, fornecendo um pulso conhecido de fluxo de fótons de 375 ± 12 nm. As fontes de luz preenchem a abertura, fornecendo iluminação para cada pixel. Conhecendo o fluxo a partir do sinal e a resposta do sistema de aquisição de dados, é obtido a calibração requerida para cada PMT. Estima-se que a variação vista no fluxo total para pixels é menor que 1% e que existem correções aplicadas para estas variações. A sensibilidade dos pixels dos telescópios do Observatório Pierre Auger é aproximadamente 4-5 fótons/contagem FADC. Uma calibração absoluta de cada telescópio é feita a cada 3 meses, mas alguns parâmetros têm

sido revisados mais frequentemente e isso é feito através da calibração relativa (44).

Calibração Relativa Neste caso, as fibras óticas trazem a luz do sinal para três difusores diferentes de cada telescópio:

1. em frente a câmera, com um difusor no centro do espelho
2. ao longo da borda da câmera, com o corpo voltado para frente do espelhão
3. mostrando duas folhas refletoras para a parte interna do obturador do telescópio

A carga total integrada é medida e comparada com a quantidade medida na tomada de referência, permitindo monitorar os termos estáveis curtos e longos do FD, tempo relativo entre os pixels e o ganho para cada pixel. Normalmente, este tipo de calibração é feito duas vezes, no início e no fim de cada noite de operação. A incerteza geral estimada está na faixa de 1 a 3 por cento.

4.3.2 Monitoramento Atmosférico

A determinação da energia do chuveiro requer a estimativa da acurácia da produção da eficiência de luz fluorescente e a subsequente transmissão para o FD. Logo, os efeitos do aerossol contido na atmosfera, poeira, nuvens e outros poluentes precisam ser caracterizados. A medida dos aerossóis contém uma rotina de monitoramento é necessária, a qual é feita por um conjunto de detectores (45):

LIDAR Um laser elástico retroespalhado, chamado LIDAR é colocado próximo a cada olho. Eles detectam o sinal retroespalhado a partir de pulsos rápidos de laser UV. Durante a operação do FD, o sistema LIDAR fornece uma rotina capaz de escanear o céu, medindo a quantidade de aerossol presente a cada hora. Se o FD detecta um chuveiro, esta informação deve ser enviada ao LIDAR, que irá escanear o plano de detectores do chuveiro, fornecendo a informação atualizada.

Central Facilitadora de Laser (CLF) O CLF está localizado próximo ao meio de arranjo do Auger, a uma distância da ordem de 26 a 39 quilômetros de cada olho. Esta facilidade prové um laser gerado por um feixe de teste para investigar as propriedades da atmosfera e dos

detectores de fluorescência. As trajetórias obtidas pelo CLF são muito parecidas com as geradas pelos chuveiros de ar, e o comprimento de onda do laser de 335 nm está no meio do espectro de fluorescência. Fótons espalhados pelo feixe de laser pela produção de trajetórias são detectadas pelos telescópios, estas trajetórias são usadas para determinar o aerossol contido na atmosfera. Espalhamento pelo feixe é dominado pelo processo Rayleigh (molecular). A intensidade prevista de luz espalhada pelo feixe a cada peso deve ser usada para obter a profundidade ótica vertical, através da atenuação do aerossol e de algumas correções geométricas. O CLF também pode enviar um sinal simultâneo ao tanque SD por meio de uma fibra ótica para testar o tempo relativo entre o FD e o SD. Adicionalmente, o CLF abriga uma estação meteorológica e um detector radiométrico de nuvens (46).

Monitores de Atenuação Horizontais (HAM) Os HAMs medem o comprimento de atenuação próximo ao solo entre os olhos do Auger. Cada sistema consiste de um conversor de fontes de luz localizado em um dos prédios e em receptor localizados em outro prédio. O conversor de luz digital fornece um amplo espectro de comprimento de onda (300-400 nm) onde os FDs são sensíveis. Os detectores de luz consistem de UV melhorados em arranjos CCD a espelhos de foco de 15 cm de diâmetros. A medida do comprimento de atenuação horizontal a estes comprimentos de ondas é feito a cada hora da operação do FD. Os HAMs medem principalmente a dependência do comprimento de onda do comprimento de atenuação horizontal, descrito pela lei de potência a seguir:

$$\frac{HAL_{\lambda 1}}{HAL_{\lambda 2}} = \left(\frac{\lambda 1}{\lambda 2} \right)^\gamma \quad (4-1)$$

onde HAL é o comprimento de atenuação horizontal, γ é o índice de lei de potência e λ é o comprimento de onda. A seção de choque das medidas horizontais é medida com o sistema LIDAR.

Monitores das Funções de Fase do Aerossol (APF) As propriedades do espalhamento do aerossol dependem de características específicas dos aerossóis. Os APFs são desenvolvidos para medir o espalhamento da seção de choque diferencial dos aerossóis.

Isto é feito disparando um feixe horizontal de luz colimada de uma lâmpada de xenônio colocada na frente do FD. A trajetória que é gerada contém uma larga faixa de ângulos de espalhamento de luz (30 graus a 150 graus). Os APFs incluem bandas de filtros de restrição que podem

ser usados para monitorar a dependência do comprimento de onda na seção de choque.

Câmeras de Nuvem Nuvens podem ter profundidade óticas muito largas e afetar profundamente as propriedades de transmissão e espalhamentos na atmosfera. As câmeras de nuvens fornecem um mapa detalhado do céu da distribuição das nuvens. Elas consistem de câmeras de infravermelho que são sensíveis as diferenças de temperatura entre o céu claro e as nuvens. Existem planos para que se tenha uma câmera para cada FD e gere um escaneamento completo no céu a cada 15 minutos.

Monitores de Estrelas Observando a atenuação da luz das estrelas é possível medir a profundidade ótica total a partir do nível de observação do topo da atmosfera. E esta informação pode ser usada para verificar o cruzamento da medida ótica total por sistemas de monitoramentos de laser. O Auger usa dois tipos de monitoramento de estrelas, um fixo, que usa um CCD para monitorar imagens de estrelas a partir de elevações de 10 graus ao zênite. Medidas de atenuação são feitas por imagens de trajetórias de estrelas através do campo de visão a diferentes profundidades óticas oblíquas. O segundo tipo usa um tipo restrito de campo de visão de CCD no foco de 20 cm de diâmetro do espelho montado no mecanismos de direção do telescópio, que permite observar o fluxo de luz a partir de uma estrela ou da luz de um sistema HAM. Os monitores de estrela estarão aptos a verificar a atenuação do aerossol, dependência do comprimento de onda.