

F530 - INSTRUMENTAÇÃO PARA A PESQUISA

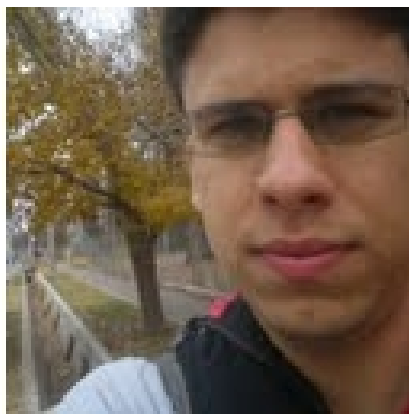
RELATÓRIO PARCIAL



Detector de raios cósmicos baseado em lâmpadas fluorescentes

Aluno: Bruno Daniel
bdaniel @ ifi.unicamp.br

Orientador: Anderson C. Fauth
fauth @ ifi.unicamp.br



O objetivo deste projeto é o estudo da viabilidade da construção de um detector de partículas/radiação à base de lâmpadas fluorescentes cilíndricas convencionais. Seu modo de operação é análogo ao dos detectores Geiger-Muller e, através de uma montagem com mais que uma lâmpada, permitiria a seleção de partículas vindas de uma determinada direção, provenientes da radiação cósmica (múons ou elétrons) ou de materiais radioativos. Testando diferentes configurações na montagem do detector, foi possível observar pulsos elétricos cuja taxa de ocorrência apresentou um aumento na presença de uma fonte radioativa. Porém, ainda não foi possível determinar a eficiência do instrumento, sendo necessários mais testes. Também não foram observados efeitos de emissão de luz devidos à ionização do gás pela radiação incidente.

1 Introdução

Os diversos tipos de detectores usados em física nuclear e de partículas se baseiam sempre num princípio fundamental: a transferência de energia da radiação para a matéria que constitui o detector, sendo transformada em uma forma possível de ser medida. Geralmente, partículas carregadas fazem esta transferência através de interações (que podem ser consideradas como colisões diretas) com elétrons, excitando ou ionizando os átomos. Neste trabalho será tratado o caso em que o detector é composto por um gás, cujos átomos serão ionizados por múons, partículas carregadas da radiação cósmica.

1.1 Raios cósmicos [1]

A Terra é constantemente atingida por uma infinidade de partículas provenientes do cosmo. Radiação eletromagnética, prótons, elétrons, núcleos atômicos, neutrinos e outras partículas incidem na atmosfera em um intervalo extenso de energias. A finalidade do estudo de raios cósmicos é o entendimento de sua origem, natureza e propagação, através de busca incessante da caracterização das fontes, composição química, propagação e compreensão dos mecanismos de aceleração.

A Figura 1 mostra o espectro dos raios cósmicos, ou seja, a variação do fluxo de raios cósmicos (número de partículas por unidade de área, por ângulo sólido, por unidade de tempo) com a energia. Nota-se que quanto maior a energia, menor o fluxo de partículas. Para valores de até 10^{15} eV, o fluxo torna possível a detecção direta dos eventos, mediante instrumentos alojados em aviões, balões ou satélites. Contudo, para energias superiores, a exigência de detectores com uma área muito grande inviabiliza este método de detecção. Mas, a partir desta energia, a atmosfera passa a desempenhar um papel crucial na investigação dos raios cósmicos, convertendo estas partículas incidentes em cascatas, conhecidas como chuviros atmosféricos extensos (EAS).

No desenvolvimento dos EAS, píons produzidos nas primeiras interações, a grandes altitudes, decaem, originando os múons, que são partículas com a mesma carga que o elétron, mas com massa 300 vezes maior, cuja vida média e poder de penetração são grandes o suficiente para que muitos deles atinjam a superfície da Terra. Sendo estas as partículas carregadas mais abundantes ao nível do mar, elas são o principal meio de estudo dos EAS utilizando detectores de superfície, que permitem a reconstrução dos

chuveiros e a determinação da energia e direção de chegada do raio cósmico primário, através de simulações das interações intermediárias.

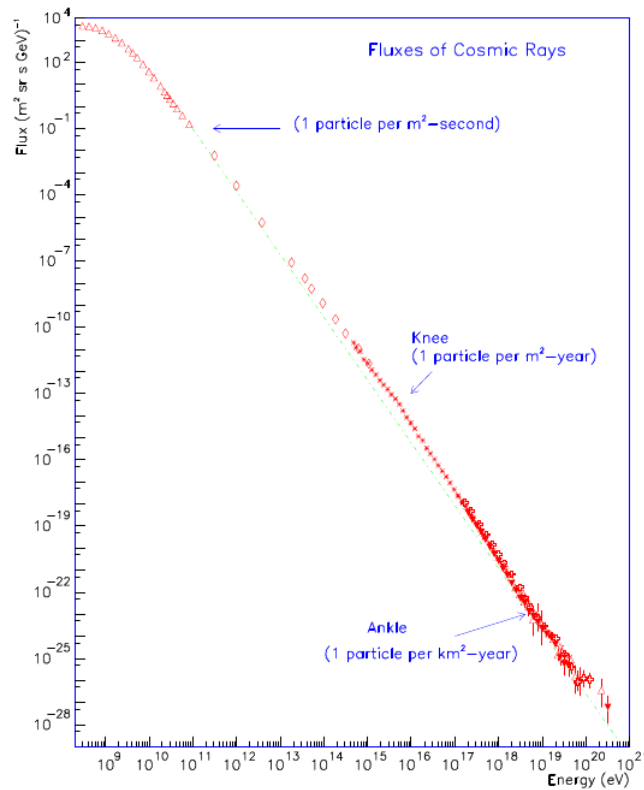


Figura 1: Fluxo de raios cósmicos na Terra em função da energia [1].

1.2 Detecção de partículas através da ionização de um gás [2, 3]

A configuração básica de detectores a gás consiste em um recipiente de paredes condutoras no qual é aplicado um campo elétrico através de uma diferença de potencial, que propicia o transporte dos elétrons/íons criados após a passagem de uma partícula pelo gás (geralmente um gás nobre, como argônio). A carga é coletada no anodo, gerando um pulso elétrico. As regiões de funcionamento deste tipo de instrumento em função da tensão aplicada são classificadas como mostrado na Figura 2, para o caso de um detector cilíndrico. Ao atingir a região II os pares íon-elétron passam a ser todos coletados e, a partir dela, estes pares causam a ionização de outros átomos, gerando uma avalanche proporcional ao número inicial de pares (região III). Quando a região IV é atingida esta multiplicação de partículas é tão grande que ocorre uma descarga, gerando um sinal saturado, como o dos detectores Geiger-Muller, servindo apenas para contagens. Esta descarga pode ser freada por um gás de *quenching*, que absorve as partículas emitidas, reduzindo o tempo morto do detector. Se a tensão é aumentada até um valor muito alto pode ocorrer a ionização do gás mesmo sem a passagem de partículas, tornando impossível a detecção.

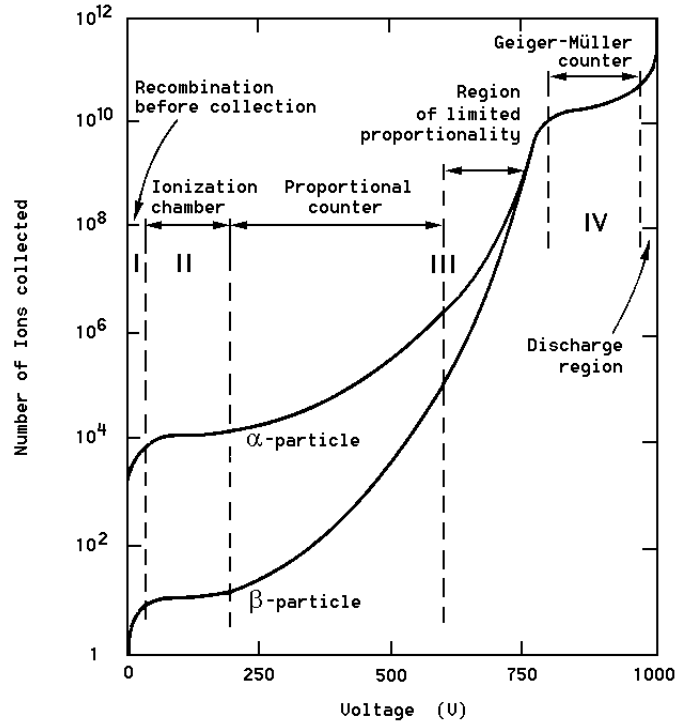


Figura 2: Regiões de funcionamento de um detector a gás cilíndrico [2].

A formação de avalanches de partículas nos gases ocorre quando o campo elétrico aplicado é intenso o suficiente para acelerar os elétrons da primeira ionização até a energia necessária para ionizar outro átomo. Estes campos costumam ser da ordem de 10^6 V/m à pressão atmosférica. No caso de um contador cilíndrico seriam necessários cerca de 2000 V para atingir estes valores. Já no caso de um detector construído com placas paralelas a 1 cm , esta tensão seria de 51800 V . Portanto, o estudo da geometria que se pretende utilizar é um fator fundamental na construção de um instrumento deste tipo.

1.3 Estudo dos campos elétricos gerados por diferentes configurações

Diferentes configurações de anodo e catodo na aplicação do potencial em um detector a gás, resultam em campos elétricos de intensidades que podem variar muito. Na Figura 3 é mostrado o máximo desta intensidade em função da tensão aplicada, calculado para três configurações diferentes: uma simetria cilíndrica com um fio interno de $0,1 \text{ mm}$ e um anodo a 1 cm , placas paralelas a 2 cm e um caso com dois anéis paralelos a 3 cm de distância com raio de $1,5 \text{ cm}$. É claramente perceptível que o caso de simetria cilíndrica resulta na produção de um campo muito mais intenso, mas em algumas situações não é possível utilizar esta geometria, já que ela exige que o fio esteja no interior do recipiente com o gás. Entre as duas outras configurações, a de anéis se mostra mais eficiente que as placas paralelas.

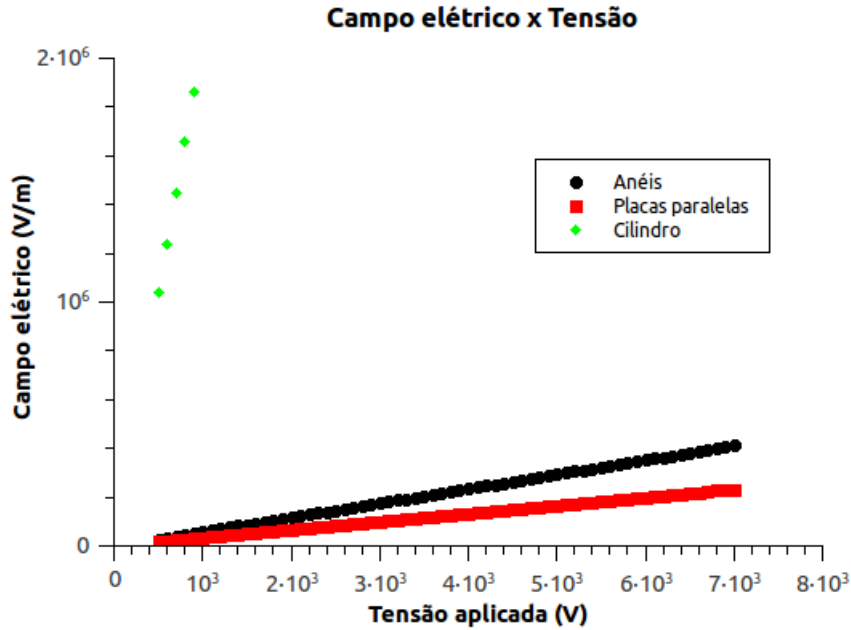


Figura 3: Campos elétricos em função da tensão aplicada para diferentes configurações.

1.4 Lâmpadas fluorescentes [4]

Lâmpadas fluorescentes são tubos de vidro, geralmente cilíndricos, com filamentos metálicos em suas extremidades, que contém um gás a baixa pressão. Seu processo de funcionamento é desencadeado pela emissão de elétrons no aquecimento dos filamentos pela passagem de corrente elétrica, que ioniza o gás e aumenta sua condutividade. O choque com os elétrons emitidos também causa a excitação dos átomos do gás e a emissão de fótons no retorno ao estado de menor energia. Geralmente estes fótons estão na região de comprimento de onda do ultravioleta, mas, para sua aplicação na iluminação de ambientes, são convertidos para o visível através de mais um processo de fluorescência em uma camada de fósforo do tubo. Nas lâmpadas mais modernas este processo é controlado por um circuito que inicia a emissão dos elétrons e a ionização do gás, aplicando uma alta tensão, já que é necessária uma energia maior, e depois apenas controla o sistema para manter a emissão de luz, diminuindo a tensão.

Para que lâmpadas convencionais sejam utilizadas como detectores de partículas [5, 6], é necessário criar um campo elétrico intenso o suficiente para a ocorrência da avalanche de partículas após a ionização, mas sem manter a corrente entre os filamentos (ou mantê-la abaixo do limiar de funcionamento). A vantagem das lâmpadas fluorescentes é que o gás está a uma pressão baixa, diminuindo os potenciais elétricos necessários, em relação ao valor citado de 10^6 V/m. Porém, neste caso não é possível utilizar a configuração mais eficiente, com simetria cilíndrica, já que não é possível abrir o tubo, devendo ser encontrada uma alternativa. Além disso, é possível aproveitar a corrente de elétrons dos filamentos da lâmpada, de forma a facilitar a ocorrência das avalanches.

2 Metodologia Experimental e Resultados

Durante a realização do projeto foram utilizados os instrumentos do Laboratório de Léptons do IFGW, que conta com todas as ferramentas básicas e a eletrônica necessária: multímetros, osciloscópio e fonte de alta tensão, sendo esta última mostrada na Figura 4. As operações de discriminação e contagem do sinal são realizadas utilizando módulos comerciais de padrão NIM ou CAMAC (também vistos na Figura 4), que permitem realizar estas e diversas outras operações de forma simples e, no caso da última, utilizando uma interface digital, através de programação em linguagem C com bibliotecas GPIB. Alguns equipamentos necessários em detectores do mesmo tipo estão sendo aproveitados, como uma caixa já montada com um circuito RC de aplicação de tensão e desacoplamento de sinal, fundamental para a visualização no osciloscópio, e os cabos com os conectores apropriados.

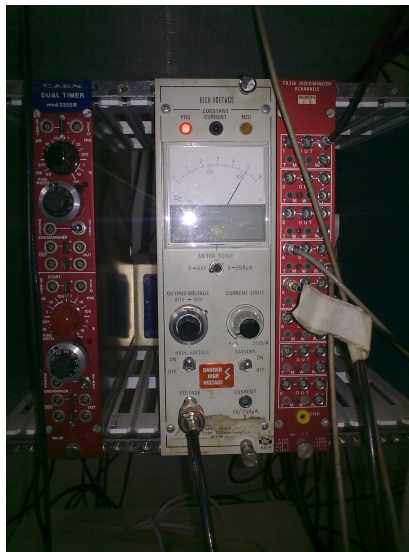


Figura 4: Fonte de alta tensão utilizada em todas as montagens e outros módulos NIM.

2.1 Primeiro teste

O primeiro teste realizado (Figura 5) consistiu em uma montagem simples com uma lâmpada pequena (12 cm) de luminária, utilizando um fio metálico fino (0,1 mm de diâmetro) na parte externa da lâmpada e uma fita de cobre na parte central do tubo. Foi aplicada uma tensão no fio, com a fita de cobre aterrada, e um possível sinal foi verificado. Mesmo variando de 0 a 5000 V a tensão no fio, nada além de ruído de fundo foi constatado. Em nenhum momento houve emissão de luz pela lâmpada. Com isso concluímos que será necessário utilizar os filamentos para facilitar a ocorrência das avalanches, como mostrado em [6]. Como não conhecíamos os parâmetros de funcionamento para esta lâmpada, que variam muito de uma marca ou modelo para outra, resolvemos abandonar esta montagem.

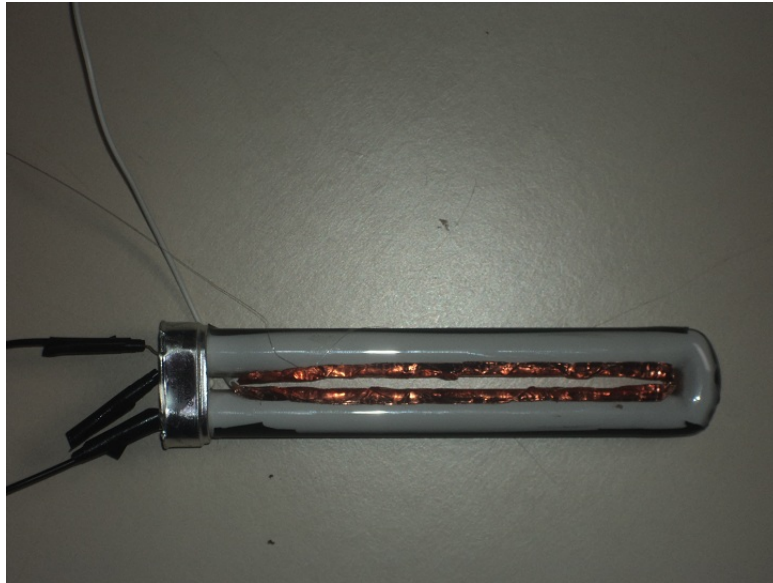


Figura 5: Primeira tentativa de montagem realizada.

2.2 Montagem com lâmpadas maiores

Num próximo teste foi adquirido um par de lâmpadas cilíndricas grandes com seu sistema comercial de funcionamento completo (base e circuito), mostradas na Figura 6. As lâmpadas foram ligadas como se fossem ser utilizadas normalmente, mas não foram alimentadas diretamente na rede elétrica com 110V (AC), passaram primeiramente por uma resistência variável, de forma que fosse possível controlar a tensão no circuito. Ligando diretamente, a lâmpada ficaria acesa o tempo todo, impedindo seu uso como detector. Devido ao tamanho e peso da montagem, foi utilizado um carrinho como suporte (Figura 7), facilitando também o transporte do sistema no laboratório.



Figura 6: Lâmpadas cilíndricas utilizadas e seu circuito.

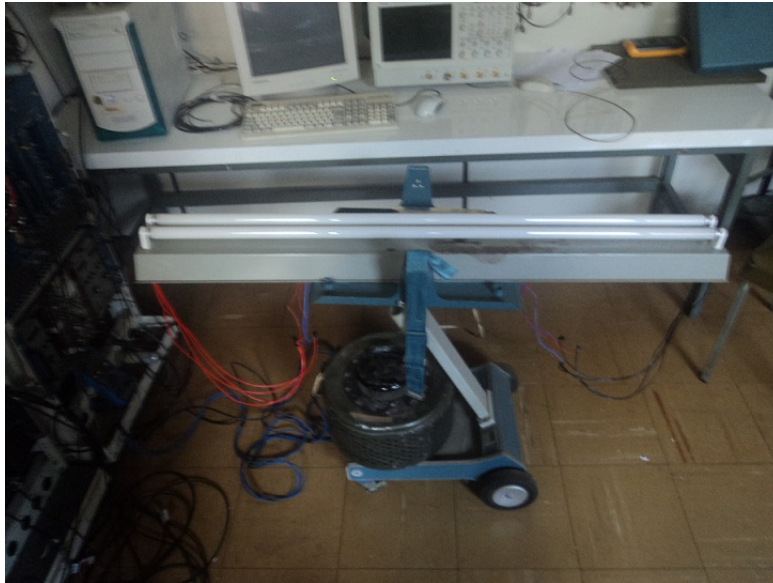


Figura 7: Montagem da lâmpada em seu suporte. O instrumento na parte inferior é a resistência variável utilizada.

Levando em consideração o resultado da Figura 3 e a impossibilidade de inserir um fio no interior da lâmpada, nesta montagem o campo elétrico foi criado com dois anéis de cobre enrolados na lâmpada, como mostrado na Figura 8, com uma diferença de potencial aplicada pela fonte. A caixa vermelha, mostrada também na figura, possui o circuito RC citado anteriormente, trazendo a tensão da fonte para um dos anéis e o aterramento para para o outro, e possibilitando a leitura do sinal com o cabo cinza do tipo LEMO mostrado.



Figura 8: Anéis geradores do campo elétrico e caixa com o circuito RC.

O sistema foi testado com diferentes configurações, variando a distância (de 2 a 40 *cm*) e tensão (de 100 a 6000 *V*) entre os anéis e a tensão no circuito da lâmpada (0

a 110 V AC). Foi notado que o acendimento ao longo do tubo é fortemente afetado pelo campo criado com os anéis. O tempo todo é observado um pulso com forma bastante parecida com a do sinal de detectores a gás e amplitude que aumenta com a tensão aplicada. Porém, sua taxa de ocorrência é extremamente alta (maior que 1MHz) e aumenta com a aproximação dos anéis, sendo descartada a possibilidade de que seja realmente um sinal devido a um raio cósmico. Ao atingir 5000 V de tensão, sem corrente nos filamentos e a 3 cm de distância, é possível observar pulsos bastante claros e de grande intensidade, como o mostrado na Figura 9. Fazendo contagens deste tipo de sinal, com amplitudes acima de 100 mV, foram observadas taxas de cerca de 0,5 Hz, que aumentavam cerca de 50% após a aproximação de uma fonte radioativa. Tudo indica que este sinal se deve à passagem de partículas, mas a confirmação deste fato só será possível após um estudo mais detalhado, levando em consideração as características da fonte radioativa ou realizando medidas em coincidência com outros detectores.

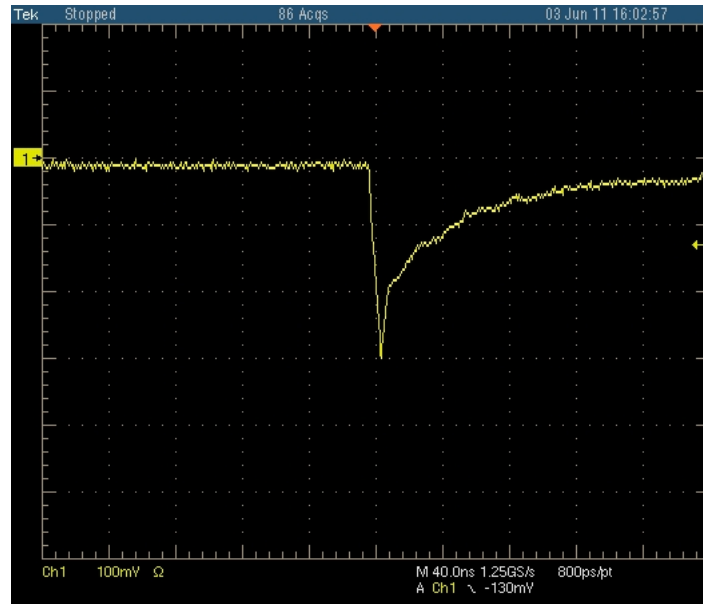


Figura 9: Sinal gerado na configuração dos anéis a 5000 V

2.3 Montagem alternativa com placas paralelas

Paralelamente à montagem discutida anteriormente, foi testada uma outra, utilizando as mesmas lâmpadas e equipamentos, mas aplicando a tensão em duas fitas de cobre de 30 cm, com 2 cm de largura, em posições diametralmente opostas na lâmpada, conforme mostrado na Figura 10. O campo elétrico gerado por esta configuração pode ser aproximado pelo de placas paralelas. Testando a variação dos mesmos parâmetros do caso anterior (tensão e corrente nos filamentos), foi observada uma influência ainda maior no acendimento da lâmpada, já que o campo é perpendicular e não mais paralelo ao fluxo de elétrons. O sinal observado (Figura 11), apesar de ter uma amplitude maior, apresentou uma taxa menor de ocorrência, devida a um alto nível de ruído. Em alguns casos foi possível correlacionar visualmente alguns

pulsos com a emissão de quantidades maiores de luz, mas não foi possível realizar testes realmente conclusivos sobre este fato.



Figura 10: Montagem alternativa com fitas de cobre.

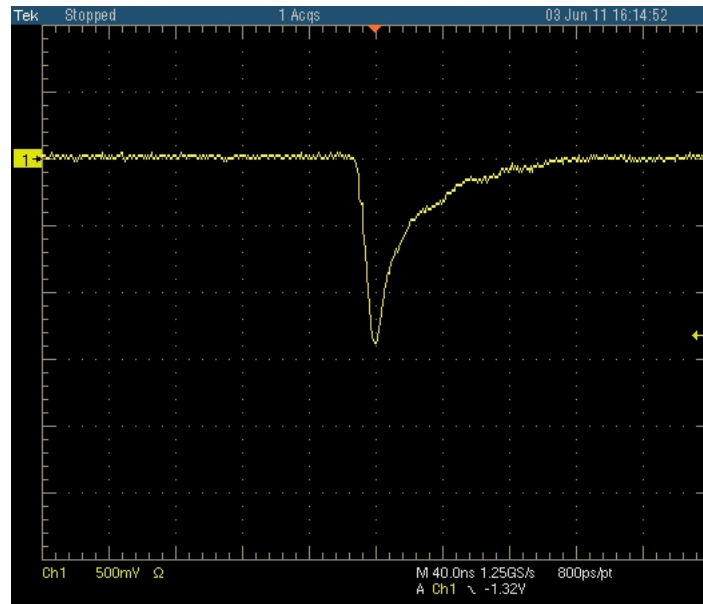


Figura 11: Sinal gerado na configuração das fitas de cobre a 5000 V

2.4 Ruídos e instabilidade no sistema

Apesar de terem sido observados sinais possivelmente devidos à passagem de partículas pelo detector, as montagens realizadas apresentaram sérios problemas. O principal deles foi a presença de um ruído, cuja amplitude aumenta com a tensão e se torna comparável à dos sinais, de forma que a separação entre os dois requer uma discriminação com alta amplitude, que pode causar a perda de grande parte dos pulsos desejados, ou seja, uma diminuição considerável da eficiência do detector. Estes grandes pulsos se devem a processos de ionização e ocorrências de avalanches no gás sem a passagem de partículas, pois somente a aplicação de altos campos elétricos

pode causar a excitação ou ionização das moléculas um tempo após a ocorrência da primeira ionização.

Além dos problemas com ruídos, as montagens apresentadas se mostraram bastante instáveis, com os pulsos alterando drasticamente suas amplitudes e taxa de ocorrência sem qualquer alteração no sistema, disparando contadores e prejudicando qualquer medida de contagem. Isto ocorre com maior frequência quando há corrente nos filamentos da lâmpada, provavelmente porque uma simples diminuição da condutividade do gás, causada pela ionização, permite a passagem de um fluxo de elétrons dos filamentos, causando uma alta taxa de ocorrência de avalanches e às vezes até o acendimento da lâmpada. O controle deste processo seria útil na utilização do detector, pois permitiria a visualização dos eventos com a emissão de luz.

3 Conclusão

Os objetivos propostos no projeto foram cumpridos. O detector foi construído a partir de lâmpadas convencionais, exigindo o manejo de ferramentas básicas, desde alicates e ferros de solda até multímetros e osciloscópios, além dos instrumentos da eletrônica de física de altas energias: fontes de alta tensão, módulos NIM e CAMAC de discriminação e contagem e aquisição de dados com programação em linguagem C e GPIB. As diferentes possibilidades de montagem foram estudadas e testadas, assim como os parâmetros variáveis em cada configuração. Foram observados sinais relacionados à passagem de partículas pelo detector, cuja contagem é consistente com o fluxo de múons na superfície da Terra. Porém, ainda são necessários outros testes para checar a correlação entre os eventos e os pulsos, já que eles podem ser apenas descargas no sistema devido à ionização do gás pelo campo elétrico aplicado ou pelos elétrons emitidos nos filamentos da lâmpada. A montagem também se mostrou muito instável, devendo este problema ser estudado mais cautelosamente.

Após um estudo mais detalhado do sinal obtido, utilizando fontes radioativas e coincidência com outros detectores, será possível construir um telescópio de múons utilizando as duas lâmpadas disponíveis, preparando-as para a detecção em posições alinhadas nos dois tubos e exigindo coincidência entre os eventos, o que permitiria a seleção de uma direção de chegada para os eventos, com uma resolução angular dependente da área utilizada para detecção.

Referências

- [1] J.W. Cronin, T.K. Gaisser e S.P. Swordy, *Scientific American*, 276 (1997), 32
- [2] W. R. Leo, "Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments", 2a ed., cap. 6: "Ionization Detectors", cap. 14: "Electronics for Pulse Signal Processing"
- [3] G. F. Knoll, "Radiation Detection and Measurement", 3a ed., cap. 6, "Proportional Counters"
- [4] [http : //en.wikipedia.org/wiki/Fluorescent_lamp](http://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescent_lamp), acessado em 30/05/2011 - Aspectos gerais e descrição do funcionamento de lâmpadas fluorescentes.

- [5] <http://teachers.web.cern.ch/teachers/archiv/hst2000/teaching/expt/sascha/sascha.htm>, acessado em 05/06/2011 - Página dos experimentos de uma escola do CERN, que inclui a montagem de um detector com lâmpadas, mas não apresenta detalhes do experimento
- [6] <http://www.hardhack.org.au/book/export/html/44>, acessado em 11/05/2011 - Descrição detalhada de alguns projetos de detectores de partículas com lâmpadas fluorescentes.