

Anais do XIV Seminário de Iniciação Científica da Universidade Estadual de Feira de Santana, UEFS, Feira de Santana, 18 a 22 de outubro de 2010

ESTUDO DE TÉCNICAS PARA CONTROLE DE GANHO DE FOTOMULTIPLICADORAS

Otto Rocha¹; Germano Pinto Guedes²

1. Bolsista PIBIC/CNPq, Graduando em Bacharelado em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: rochafiscomp@gmail.com

2. Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: germano@uefs.br

PALAVRAS-CHAVE: fotomultiplicadoras, neutrinos, instrumentação nuclear.

INTRODUÇÃO

Entender como a radiação ionizante interage com a matéria e a perda de energia quando esta se move em um meio material é extremamente importante para a detecção dessas radiações. O processo de detecção da radiação está diretamente ligado com os processos de interação desta com a matéria e a energia depositada pela mesma no meio. Portanto, conhecer como esta interage com o meio detector e as conseqüências dos vários processos de interação é fundamental para interpretar os resultados obtidos do detector.

O processo de detecção de partículas carregadas (radiação ionizante) implica que esta interaja com o meio detector. O processo de interação está ligado diretamente à colisão das partículas carregadas com os átomos do material detector, isto implica a perda de energia para o meio e a deflexão em sua trajetória. Devido ao choque, elétrons podem desprender-se do átomo e isto permite a detecção. Detecção de partículas sem cargas é feita indiretamente a partir das partículas resultantes de sua interação.

A transferência de energia entre os íons incidentes e um átomo alvo gera a excitação ou ionização dos elétrons, tanto do íon quanto do átomo alvo. Para íons de alta energia, a excitação dos elétrons das camadas internas do alvo é responsável pelo poder de frenamento eletrônico. Nessa região a perda de energia é descrita pela teoria de Bethe, a qual é baseada na aproximação de Born de Onda Plana. Na região de baixa energia, por sua vez, o projétil e o alvo são praticamente neutros e o processo de frenamento é de caráter friccional. Nessa condição, o processo de frenagem deve-se à interação com os elétrons de valência. As teorias que descrevem esse poder de frenagem nesse regime são baseadas no modelo de gás de elétrons livres. A equação de Bethe-Block para interação de partículas pesadas com carga é dada pela formula abaixo,

$$-\frac{dE}{dx} = 2\pi r_e^2 m_e c^2 \rho Z^2 \frac{NZ}{A} \left(\ln \left(\frac{2m_e \beta^2 c^2 \gamma^2}{I^2} E_m \right) - 2\beta^2 \right) \quad (1)$$

Da interação da radiação ionizante com o material do meio detector ocorrem excitações e ionizações dos elétrons do meio que, ao decair produz radiação na faixa de frequência da luz visível. Essa radiação é então absorvida por efeito fotoelétrico no fotocátodo de um tubo fotomultiplicador.

As fotomultiplicadoras (photomultiplier tube – PMT) são aparelhos que detectam e convertem luz em corrente elétrica mensurável, pelos processos de efeito fotoelétrico no seu fotocátodo (que converte a radiação em fotoelétrons) e emissão secundária de elétrons (que aumenta consideravelmente a quantidade de elétrons na corrente elétrica gerada). A corrente elétrica gerada ou pulso elétrico é enviado a um circuito externo que refina este sinal através

Anais do XIV Seminário de Iniciação Científica da Universidade Estadual de Feira de Santana, UEFS, Feira de Santana, 18 a 22 de outubro de 2010

de análise, discriminação, amplificação e outros processos, possibilitando a determinação da quantidade de radiação presente no meio analisado.

A radiação que incide no foto catodo (luz monocromática) precisa ter energia suficiente para provocar emissão fotoelétrica, ou seja, energia superior a função trabalho do material, entretanto, a escolha do comprimento de onda é limitado pela foto sensibilidade do material, que é definido como a corrente gerada pelo catodo e pela potência da radiação incidente $P(\lambda)$:

$$E(\lambda) = \frac{I_k}{P(\lambda)} \quad (2)$$

A eficiência quântica é definida como sendo o número de elétrons emitidos N do catodo pelo número de fótons com comprimento de onda λ incidente no catodo N_0 :

$$\eta(\lambda) = \frac{N}{N_0} \quad (3)$$

Relacionando a sensibilidade de radiação do catodo com a eficiência quântica temos:

$$E(\lambda) = \frac{\lambda\eta(\lambda)}{hc} \quad (4)$$

Para E em (A/W) e λ em nanômetro:

$$E(\lambda) = \frac{\lambda\eta(\lambda)}{1240} \quad (4)$$

Na maioria dos metais, a eficiência quântica não é maior que 0,1%. Os semicondutores possuem eficiência quântica da ordem de 10% a 30% ou superiores.

Um elétron que absorve um fóton a uma distância x da superfície do material no seu interior chega à superfície perdendo energia

$$\Delta E = x \left(\frac{dE}{dx} \right) \quad (5)$$

, devido às colisões com elétrons atômicos. Em metais, dE/dx é grande, logo a probabilidade de alcançar a superfície com energia suficiente para superar a barreira de potencial é bem reduzida. Para facilitar a passagem, o material fotossensível é depositado em uma camada muito fina no interior da janela de entrada da PMT. Fótons com comprimentos de onda mais curtos levam energia mais alta comparado com fótons com comprimento de onda mais longos e contribuem com o aumento na probabilidade de emissão fotoelétrica.

Ao serem expelidos pelo fotocátodo, os fotoelétrons atravessam o interior do tubo fotomultiplicador até chegar ao primeiro dinodo. Esses são focalizados por eletrodos dispostos à frente do catodo, e acelerados até a série de dinodos onde ocorre a multiplicação de elétrons. Uma fonte de alta tensão de 1 a 2 kV é necessária, de forma que a parte negativa esteja no início da série de dinodos e a parte positiva no final da série, assim, uma série de resistores cria uma seqüência de divisores de tensão (circuito Bleeder), dos quais se obtém a tensão de trabalho dos dinodos. Os elétrons chegam aos dinodos com energia de 100eV o que é suficiente para liberar um número considerável de elétrons secundários do material do dinodo. Esta ddp é necessária devido ao processo de emissão secundária que é feito da seguinte forma: um elétron que chega ao dinodo transfere parte da sua energia aos elétrons na superfície do material, estes são deslocados em todas as direções dentro do material do dinodo e apenas uma pequena parte desses elétrons consegue ser ejetados e então podem ser então acelerados até o próximo dinodo pela diferença de potencial entre o dinodo que os originou e o dinodo seguinte ganhando uma energia de 100eV. Esse processo se repete até chegar ao último dinodo.

Anais do XIV Seminário de Iniciação Científica da Universidade Estadual de Feira de Santana, UEFS, Feira de Santana, 18 a 22 de outubro de 2010

Os fotoelétrons emitidos do fotocátodo são multiplicados do primeiro dinodo ao último dinodo, com amplificação de corrente que varia de 10 a 10^8 vezes, e são enviados ao ânodo que é um eletrodo que coleta os elétrons secundários multiplicados dentro da PMT e envia a corrente produzida a um circuito externo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta primeira parte do trabalho estudamos os princípios físicos envolvidos no funcionamento de tubos fotomultiplicadores, como efeito fotoelétrico, para determinar qual o tipo de PMT (qual o material do fotocátodo, da janela de entrada, tipo de dinodo, etc.) mais adequado para a finalidade deste projeto. Analisamos a multiplicação de elétrons e ganho, com o intuito de verificar a amplificação da corrente ou pulso dentro da fotomultiplicadora. O circuito Bleeder, responsável pela divisão da alta tensão aplicada na PMT e distribuição da tensão entre os dinodos, foi também analisado.

Posteriormente, iniciamos estudos sobre as interações de partículas com a matéria, de modo a determinar o espaço percorrido no interior de um material por uma partícula com energia conhecida até ser freada. Vimos também como se dá a taxa de perda de energia da partícula analisada, através da análise da Fórmula de Bethe-Bloch e construção de gráficos de energia versus perda de energia.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Acerca dos princípios de funcionamento dos tubos fotomultiplicadores, os estudos realizados nos permitiram compreender os conceitos físicos envolvidos no funcionamento de uma PMT. Verificamos que existe limitação no tipo de luz que um tubo fotomultiplicador pode detectar. A luz detectada por uma PMT está dentro do espectro visível com comprimento de onda que varia de 380 a 750 nm. A luz que incide no fotocátodo precisa ter energia suficiente para provocar emissão fotoelétrica, ou seja, energia superior a função trabalho do material do qual este é feito. Para luz com comprimento de onda maior que λ , incidente sobre o material com função trabalho ϕ não há emissão fotoelétrica. Entretanto, a radiação ultravioleta tende a ser absorvida pelo fotocátodo, material da janela de entrada da PMT, sendo o comprimento de onda limite determinado pela transmitância do material da janela, que é a fração da luz incidente com um comprimento de onda específico que atravessa uma amostra de matéria.

Verificamos a importância do uso de fonte de alta tensão para alimentar a PMT e, além disso, analisamos que uma diferença de potencial de 100volts entre os dinodos é usualmente utilizada e uma fonte de alta tensão de 1 a 2 kV é necessária, de forma que a parte negativa esteja no início da série de dinodos e a parte positiva no final da série. Usualmente, a tensão é dividida igualmente entre os dinodos por um circuito divisor de tensão chamado Circuito Bleeder.

O ganho ou fator de amplificação de uma PMT depende do número de dinodos e do fator de emissão secundária. Existe uma relação do ganho com a tensão aplicada nos dinodos: para uma variação de tensão aplicada à fotomultiplicadora, cada dinodo sofrerá a mesma variação. Já a variação do ganho, será n (número de dinodos) vezes maior, considerando que a tensão é dividida igualmente entre os dinodos.

Nos estudos sobre interação entre partículas e matéria, analisamos a Fórmula de Bethe-Bloch para perda de energia de partículas carregadas, verificando os conceitos envolvidos na perda de energia de partículas colidindo no meio material. Esse estudo nos permite verificar as dimensões do cintilador para que todas as interações sejam observadas. E

analisar o comportamento de diversas partículas interagindo com diferentes materiais, partindo sempre da equação de Bethe-Bloch.

Podemos observar na fig.1 como se dá a perda de energia de partículas carregadas interagindo com um meio material. É fácil perceber que o comportamento é semelhante entre as partículas, mesmo em diversos tipos de material a forma como ocorre a perda de energia é a mesma. As perdas de energias no domínio não relativístico são dominadas pelo fator $1/\beta^2$ para β crescente, o Stopping Power diminui rapidamente até um valor mínimo. Partículas com energia para o qual o Stopping Power apresenta um valor mínimo são chamadas de mínimo ionizantes. A partir deste ponto o fator $1/\beta^2$ é constante e a curva de dE/dx apresenta um crescimento constante devido ao termo logarítmico.

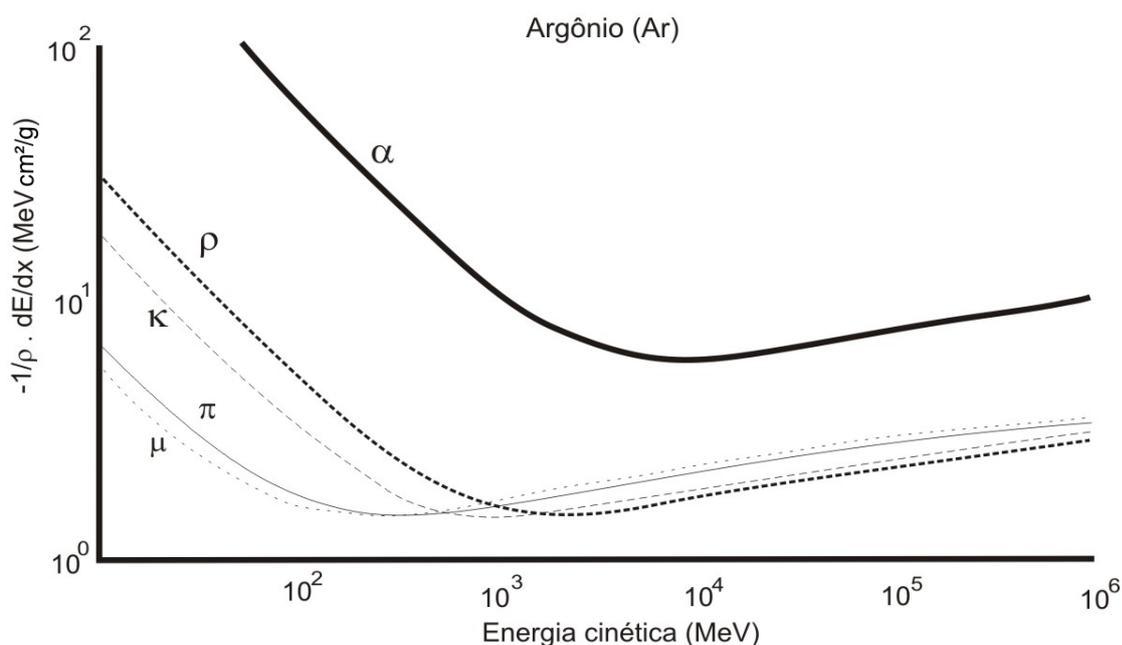


Figura 1: Representação da perda de energia para as partículas Alfa (α), Muon (μ), Pion (π), Próton (p) e Kaon (κ) obtida da equação de Bethe-Bloch, onde o meio absorvedor é o argônio.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos feitos sobre a interação entre partículas e matéria têm como base a análise da equação de Bethe-Bloch para perda de energia de partículas carregadas e os estudos de conceitos para a análise da perda de energia de partículas colidindo em um meio material. Em relação aos tubos fotomultiplicadores, estudaram-se os princípios e os conceitos físicos envolvidos em seu funcionamento.

REFERÊNCIAS

- TSOULFANIDIS, NICHOLAS, Measurement and Detection of Radiation, 2nd ed. 1995.
 HAMAMATSU, Photomultiplier Tube: Principle to Application, Hamamatsu Photonics K.K., 1994.
 SKOOG, D. A., Princípios de Análise Instrumental, Bookman, Porto Alegre, 2002.

Anais do XIV Seminário de Iniciação Científica da Universidade Estadual de Feira de Santana, UEFS, Feira de Santana, 18 a 22 de outubro de 2010

KNOLL, G. F., Radiation Detection and Measurement, John Wiley & Sons, Inc, USA, 2000.
WILLIAN, R. L., Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, Springer-Verlag, Berlin, 1994.