

1.05.04 – Física Nuclear.

SIMULAÇÃO E MEDIDAS DE REFLUXO DE ÍONS EM DETECTORES BASEADOS EM GAS ELECTRON MULTIPLIERS

Chiara M. Le Roux^{1*}; Marco Bregant²

1. Estudante do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP)
2. Professor do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP)

Resumo

Foi proposto estudar uma nova ferramenta para supressão do efeito de refluxo de íons em detectores a gás baseados em Gas Electron Multipliers (GEMs): a colocação de uma grade condutora na região que separa dois estágios de multiplicação. Este estudo seria realizado através de medidas experimentais com um detector com dois GEMs e a grade inserida entre eles. Além disso, propôs-se realizar simulações computacionais que poderiam dar suporte aos resultados obtidos em laboratório.

Para isto, foram realizadas medidas de refluxo de íons em um detector duplo GEM com e sem a grade para comparação. Além disso, realizou-se as medidas com a grade em duas configurações com diferentes tipos de GEM. Para complementação do trabalho experimental e verificação de efeitos adversos que a grade poderia trazer foram feitas medidas de resolução em energia e ganho do detector. Por fim, foram feitas simulações computacionais em um modelo simplificado de detector com apenas um GEM.

Palavras-chave: Instrumentação, Detectores à Gás, GEM.

Apoio financeiro: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Trabalho selecionado para a JNIC: USP.

Introdução

Os Micropattern Gaseous Detectors (MPGDs) constituem uma classe de detectores que utilizam um gás para absorver energia da radiação incidente através do processo de ionização das moléculas do gás e se baseiam em uma microestrutura para amplificar este sinal de carga deixado pela radiação.

Uma das estruturas proeminentes desta classe é o Gas Electron Multiplier (GEM) ilustrado na figura 1. Ele consiste de uma folha de kapton de 50 μm de espessura recoberta em cobre dos dois lados e perfurada com buracos também micrométricos em padrões hexagonais. O raio interno dos buracos é, também, da ordem de 50 μm e a distância entre ele varia para cada tipo de GEM.

Criado em 1997 pelo pesquisador Fabio Sauli na Organização Europeia para Pesquisa Nuclear (CERN) [1], o GEM foi inicialmente desenvolvido visando sua aplicação em experimentos de física de altas energias, para os quais a estrutura se mostrou altamente qualificada, o que explica a sua escolha para a substituição do atual plano de leitura da TPC do experimento ALICE do LHC [2]. Contudo, aplicações em diversas outras áreas da ciência vêm sendo investigadas: desde a medicina até aplicações em arqueometria entre outras.[3], [4].

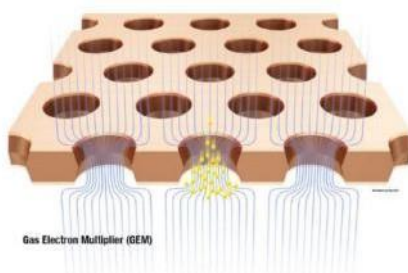


Figura 1: Campo elétrico em um GEM. [5]

Para o funcionamento do detector, o GEM é colocado entre o anodo e o catodo deste e imerso em uma mistura gasosa. Aplica-se uma diferença de potencial entre as duas faces de cobre criando-se, assim, uma configuração de campo elétrico cujas linhas apresentam alta densidade no interior dos buracos, o que provoca o efeito de multiplicação eletrônica em avalanche nestas regiões. Os elétrons multiplicados são conduzidos pelas linhas de campo até o anodo do detector onde são coletados para a formação do sinal. Também é possível utilizar outros GEMs em série com o primeiro aumentando-se, assim, o fator de multiplicação dos elétrons antes de serem coletados no anodo.

Um alto ganho (fator de multiplicação dos elétrons) significa, de forma geral, uma melhor resolução em energia ou espacial mas significa também uma maior quantidade de íons que, devido a sua baixa mobilidade, podem se causar distorções do campo elétrico e prejudicar as medidas, este é o efeito chamado de refluxo de íons. Por este motivo, o presente trabalho buscou investigar uma nova ferramenta para a supressão destes íons:

a colocação de uma grade condutora entre dois estágios de multiplicação. Desta forma, pôde-se buscar novas configurações de campos que poderiam ajudar na diminuição do refluxo de íons.

Metodologia

Os estudos experimentais foram realizados com um detector com dois GEMs colocado entre o anodo e o catodo do detector e uma grade condutora entre eles como mostrado na figura 2. Para medidas de refluxo de íons (IBF) foi usado o circuito mostrado na figura 2a: medindo-se as corrente geradas no catodo e no anodo enquanto uma fonte de raios X está colocada sobre o detector pode-se calcular o valor do IBF para diferentes configurações de campo elétrico. Na figura 2b está ilustrado o circuito utilizado para realizar medidas de resolução em energia e ganho do detector. Ambas as medidas também foram realizadas retirando-se a grade e, posteriormente, recolocando-se a grade e trocando o GEM de baixo por um GEM com menor distância entre os buracos.

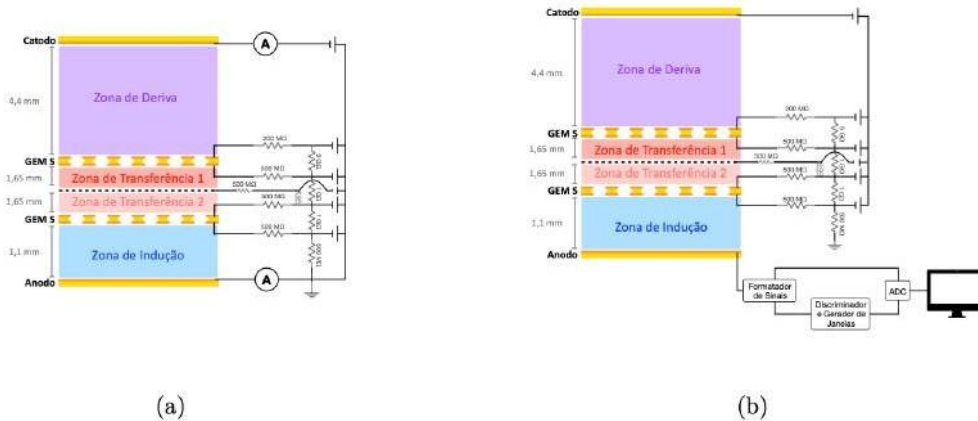


Figura 2: Circuitos usados para medidas de refluxo de íons (a) e de resolução em energia e ganho (b).

Simulações foram realizadas utilizando-se o software Gmsh para gerar uma célula unitária para posteriormente criar a estrutura do GEM como mostrada na figura 3a assim como o restante do detector (catodo, anodo e volume de gás). Esta estrutura é fornecida como *input* do software Elmer no qual é possível configurar os materiais que a compõem assim como as condições de contorno do problema. O Elmer calcula, então, o campo elétrico em todo o espaço e os arquivos com essas informações são passados ao Garfield++. Neste é possível copiar a célula unitária horizontalmente (figura 3b) e refletir verticalmente (figura 3c) assim como simular a criação de um elétron e a conseqüente avalanche. O software Root foi utilizado para a análise dos dados obtidos com a simulação.

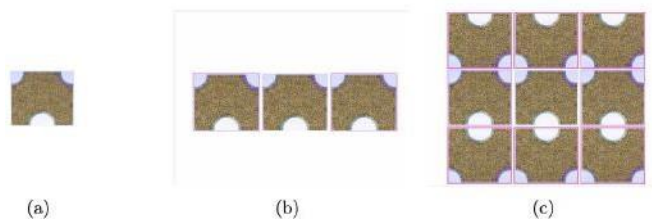


Figura 3: Processo de montagem de um GEM a partir de uma célula unitária.

Resultados e Discussão

Os gráficos da figura 4 apresentam os resultados das medidas de refluxo de íons nas três configurações de detector estudadas. Em todas elas utilizou-se uma tensão de 350 V nos GEMs, 600 V na zona de deriva, 440V na zona de indução e variou-se a tensão na(s) zona(s) de transferência: VT₁ indica a tensão entre a parte de baixo do GEM de cima (GEM1) e a grade enquanto VT₂, a tensão entre a grade e a parte de cima do GEM seguinte (GEM2).

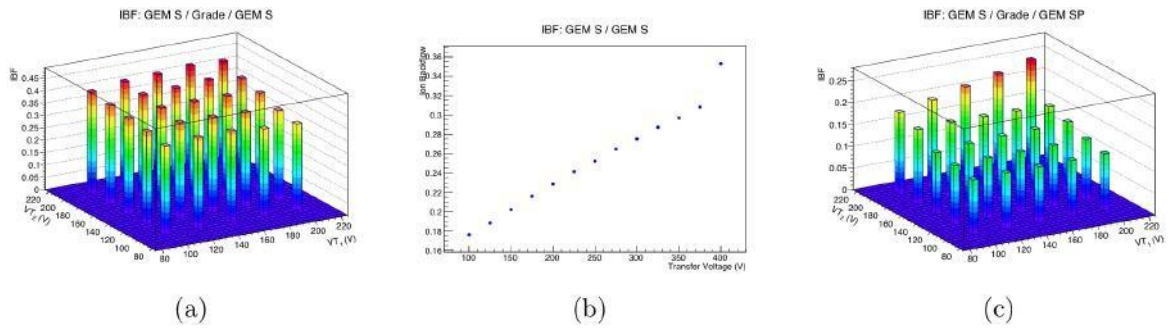


Figura 4: Refluxo de íons (IBF) para diferentes valores de tensão na zona de transferência 1 (VT1) e na zona de transferência 2 (VT2) ou na zona de transferência inteira nas três configurações de detector estudadas: (a) dois GEMs S com a grade; (b) dois GEMs S sem a grade; (c) um GEM S e um GEM SP com a grade.

Observa-se que a colocação da grade teve o efeito oposto ao esperado e, de forma geral, ela aumentou ou manteve o refluxo de íons (figura 4a) em comparação com a configuração sem a grade (figura 4b). Contudo, a troca do segundo GEM por um do tipo SP (*small pitch*, buracos mais próximos) permitiu alcançar melhores valores de refluxo de íons do que nas outras duas configurações (figura 4c).

O estudo da resolução em energia só foi realizado para as configurações GEM S / Grade / GEM S e GEM S / GEM S e os resultados estão mostrados na figura 5.

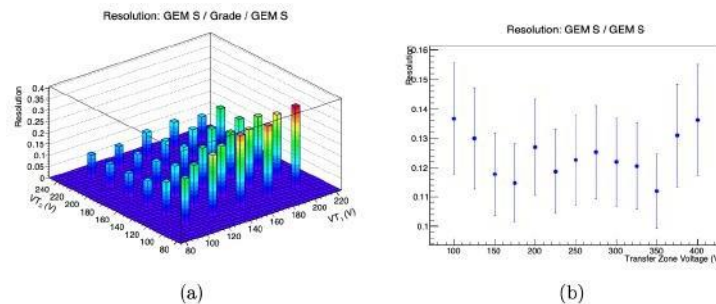


Figura 5: Resolução em energia para diferentes valores de tensão na zona de transferência 1 (VT1) e na zona de transferência 2 (VT2) ou na zona de transferência inteira nas configurações: (a) dois GEMs S com a grade; (b) dois GEMs S sem a grade.

Observa-se que além a combinação de VT_1/VT_2 na qual se obteve o menor valor de refluxo de íons para a configuração com a grade (200 V/100 V) foi aquela que forneceu o pior valor de resolução em energia (figura 5a). Enquanto isso, a configuração sem a grade apresentou resolução praticamente constante independente da tensão de transferência. Isto sugere que a grade não seja completamente transparente aos elétrons como se havia suposto inicialmente e, quando VT_1 é muito alta os elétrons são mais facilmente absorvidos na grade enquanto um baixo valor de VT_2 não permite extraí-los de perto dela, esta perda de elétrons deve ser a causa da piora na resolução em energia.

O trabalho com as simulações foi realizado com um modelo mais simplificado: um detector com apenas um GEM com zona de deriva de 7 mm e zona de indução de 4 mm. A partir desta geometria, configurou-se no software Elmer as tensões utilizadas em cada eletrodo e calculou-se o campo elétrico em cada ponto do espaço.

Além disso, é possível simular a criação de um elétron em um ponto na zona de deriva e o software simula, então, a sua trajetória até o buraco e a sua subsequente multiplicação assim como dos íons criados no processo. As trajetórias de todas as cargas envolvidas na avalanche são calculadas em uma região delimitada nas proximidades do GEM para aumentar a eficiência do cálculo sem comprometimento de informações. Sendo o eixo z perpendicular ao plano do GEM, que está localizado entre $z = 0$ cm e $z = 0.005$ cm, a simulação foi realizada entre os plano $z = -0.015$ cm e $z = 0.015$ cm. Obtém-se, então, um arquivo com as as posições iniciais e finais de todos os íons e elétrons gerados na simulação.

Tomando-se o IBF como o número de íons com posição final em $z = 0.015$ cm e, portanto, que iam em direção ao catodo após a simulação, dividido pelo número de elétrons coletados na parte de baixo do GEM (posição final em $z = -0.0005$ cm) mais aqueles coletado no anodo, ou seja, com posição final no plano inferior da região delimitada para a simulação ($z = -0.015$ cm). Esta escolha foi feita para que se pudesse comparar estes resultados com os resultados experimentais obtidos no âmbito do trabalho realizado anteriormente [6] no qual o IBF foi calculado desta maneira. O gráfico na Figura 6a mostra os resultados obtidos de refluxo de íons por campo elétrico na zona de deriva para esta simulação.

A figura 6 apresenta também os resultados experimentais obtidos no âmbito do projeto anterior a este [6] tanto para o refluxo de íon, Figura 6a, quanto para a eficiência de recolha, Figura 6b. No trabalho foi utilizado um detector também com apenas um GEM e com as mesmas distâncias de zona de deriva e de indução que aqueles

utilizados na simulação. O estudo de simulação foi realizado apenas com uma tensão de 300 V entre as faces do GEM, que foi um dos casos estudados experimentalmente além dos 250 V e 350 V, todos reproduzidos na Figura 6.

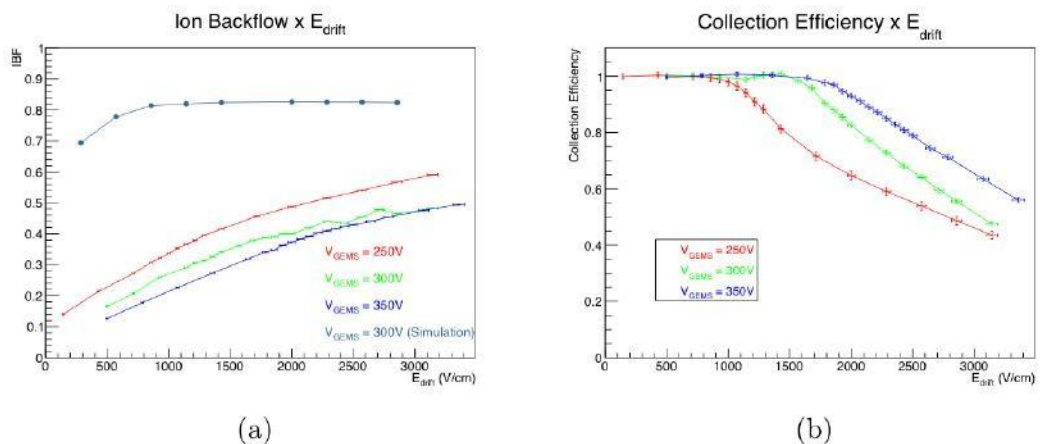


Figura 6: Gráficos dos resultados experimentais de IBF (esquerda) e eficiência de recolha de elétrons (direita) por campo elétrico na zona de deriva obtidos no âmbito do trabalho anterior a este [6].

Inicialmente nota-se a evidente diferença entre as tendências de IBF com a variação do campo de deriva no caso experimental e no caso simulado. Apesar disso, para baixos campos de deriva, obtém-se a mesma tendência em ambos os casos: um maior campo de deriva aumenta o refluxo de íons. Isto deve-se à menor curvatura das linhas de campo nas proximidades do buraco o que ajuda a extração de íons de dentro deles. Contudo, em um campo de por volta de 1200 V/cm, enquanto os resultados experimentais continuam a mostrar um aumento do IBF, a simulação apresentou uma estabilidade no valor deste parâmetro. É interessante observar que é ao redor deste valor de campo que o gráfico 6b mostra o início da queda de eficiência de recolha para uma tensão de 300V no GEM, como a usada na simulação. Aqui entra, portanto, um fator que não foi considerado na simulação: a variação na eficiência de recolha já que os elétrons iniciais simulados foram todos colocados para aparecer em uma região bem próxima do centro do buraco enquanto, no experimento real, ele pode aparecer em qualquer região da zona de deriva e, portanto, esta mais suscetível a ser perdido no topo do GEM. Quando elétrons começam a ser absorvidos no topo do GEM, os íons correspondentes a eles continuam a ser considerados no IBF pois ainda chegam ao catodo, porém, o elétron não é multiplicado e recolhido no anodo ou parte de baixo do GEM então a razão íons no catodo / elétrons na zona de indução se torna mais importante e, por isso, no caso experimental, o IBF continua a aumentar enquanto obtém-se uma estabilização do IBF na simulação onde o efeito da eficiência de recolha não é considerado.

Contudo, outra diferença importante entre os resultados experimentais e a simulação é o valor absoluto de IBF ao longo da curva. Observa-se que, em todos os pontos, o IBF é muito maior na simulação do que se apresentou ao longo do experimento indicando que há outro(s) fator(es) que não foram considerados.

Conclusões

A ideia inicial de se utilizar uma grade condutora de modo a dividir a zona de transferência de um detector com dois GEMs para ajudar na supressão do refluxo de íons se mostrou razoável apenas no caso da utilização de um GEM SP no segundo estágio de multiplicação. Os gráficos na figura 4 mostram que apenas neste caso houve uma diminuição palpável do IBF. Os estudos de resolução e ganho consolidados nos gráficos das figuras 5 e 6 corroboram esta conclusão apesar de ainda necessitar que sejam realizados para a configuração com o GEM SP também antes de ser possível por fim a esta questão.

O trabalho com simulação reproduziu parcialmente os resultados obtidos no trabalho anterior [6] mostrando que o refluxo de íons aumenta com o campo elétrico na zona de deriva. Apesar disto, outros fatores devem ser considerados na simulação para dar suporte aos resultados experimentais.

Referências bibliográficas

- [1] Sauli, F. Nucl. Instr. Meth. A. 2016, 805, 2.
- [2] <http://alice.web.cern.ch/content/upgrade-plans>. (20/03/2019)
- [3] A. V. Klyachko et al 2011 Nucl. Instr. Meth. A. 628 434-439.
- [4] A. Zielińska et al 2013 JINST 8 P10011.
- [5] <https://pos.sissa.it/120/542/pdf>. (20/03/2019)
- [6] "Estudo do Refluxo de Íons em Detectores do tipo Micropattern Gaseous Detectors". Projeto FAPESP: 2018/10494-4.