



Relatório Final

F-809 Instrumentação Para o Ensino

Orientador: Jose Joaquin Lunazzi

“Construção e demonstração do funcionamento de uma câmara de neblinas simplificada”

Aluno: João Paulo Pitelli Manoel **RA:** 008948

Orientador: Edison Hiroyuki Shibuya

Índice

1. Resumo.....	03
2. Justificativa do trabalho,.....	03
3. Objetivo.....	04
4. Revisão bibliográfica.....	04
4.1. Câmara de Wilson.....	04
4.2. Câmara de neblinas simplicada.....	07
5. Metodología.....	08
5.1. Construção do equipamento.....	08
5.2. Preparação da câmara.....	10
5.3. Sistema de iluminação.....	12
6. Resultados e discussões.....	12
6.1. Exposição da câmara à uma fonte de partículas α	12
6.1.1. Primeira montagem.....	14
6.1.2. Segunda montagem.....	15
6.2. Exposição da câmara a raios cósmicos.....	17
7. Conclusões.....	17
8. Bibliografia.....	18
Apêndice – Partículas alfa.....	22

1) Resumo

Com o objetivo de detectar e visualizar partículas ionizantes, foi construída uma câmara de neblinas simplificada, baseada na câmara de Wilson e composta por: uma garrafa térmica, um tubo e uma placa de cobre, feltro, um recipiente plástico e uma chapa quadrada de plástico, componentes estes presentes no nosso cotidiano. Para o funcionamento da câmara foram também utilizados gelo seco, nitrogênio líquido, metanol, álcool etílico e uma fonte radioativa de Tório-232.

Durante a exposição da câmara à fonte radioativa, belos traços de neblina ao longo das trajetórias das partículas emitidas, puderam ser observados.

2) Justificativa do trabalho

A Câmara de Wilson, equipamento no qual se baseia a Câmara de Neblinas simplificada, foi o primeiro método criado de visualização de partículas. Inventada por Charles T.R. Wilson, no final do século XIX, ela representou uma revolução experimental na área de física nuclear e de partículas, e serviu de ferramenta para um grande número de descobertas nessa área (como a descoberta do pósitron, anti-partícula do elétron, por Anderson em 1932) , e para o desenvolvimento de algumas das principais teorias sobre as interações de partículas elementares.

A construção de uma câmara de visualização, que utiliza os mesmos princípios explorados por Wilson, constitui um retorno às origens da física moderna e mostra que a partir de conceitos muito simples, é possível estudar física de altíssimo nível, como é o caso da física de partículas.

Por apresentar resultados muito bonitos, já que é possível ver a passagem de uma partícula, como um tiro, pela câmara, tem o potencial de atrair a atenção do aluno de ensino médio mais desinteressado pela física, que jamais acreditaria ser possível a visualização de uma partícula tão pequena, como é o caso da partícula α , estudada por ele nas aulas de química, e que pode ser vista claramente através da câmara.

Um aluno de física tem a oportunidade de ver pessoalmente, como são obtidas as imagens das partículas elementares, muito constantes nos livros de introdução à física nuclear e de partículas.

3) Objetivo

Construir uma câmara de neblinas simplificada, baseada no modelo original de Charles T.R. Wilson, mas com modificações feitas, a fim de tornar a construção simples e a apresentação ao público, didática.

4) Revisão Bibliográfica

4.1) Câmara de Wilson

Em 1894, Wilson, pesquisador em Cambridge, mas naquele momento, trabalhando em um observatório meteorológico, começou a estudar efeitos relacionados à interação da luz do sol com a neblina, mais precisamente as coronas solares, onde um anel de sombra se forma em torno do sol [2].

Para isso, criou um jeito de desenvolver sua própria neblina em laboratório, utilizando um equipamento de expansão e contração em uma câmara fechada, contendo ar.

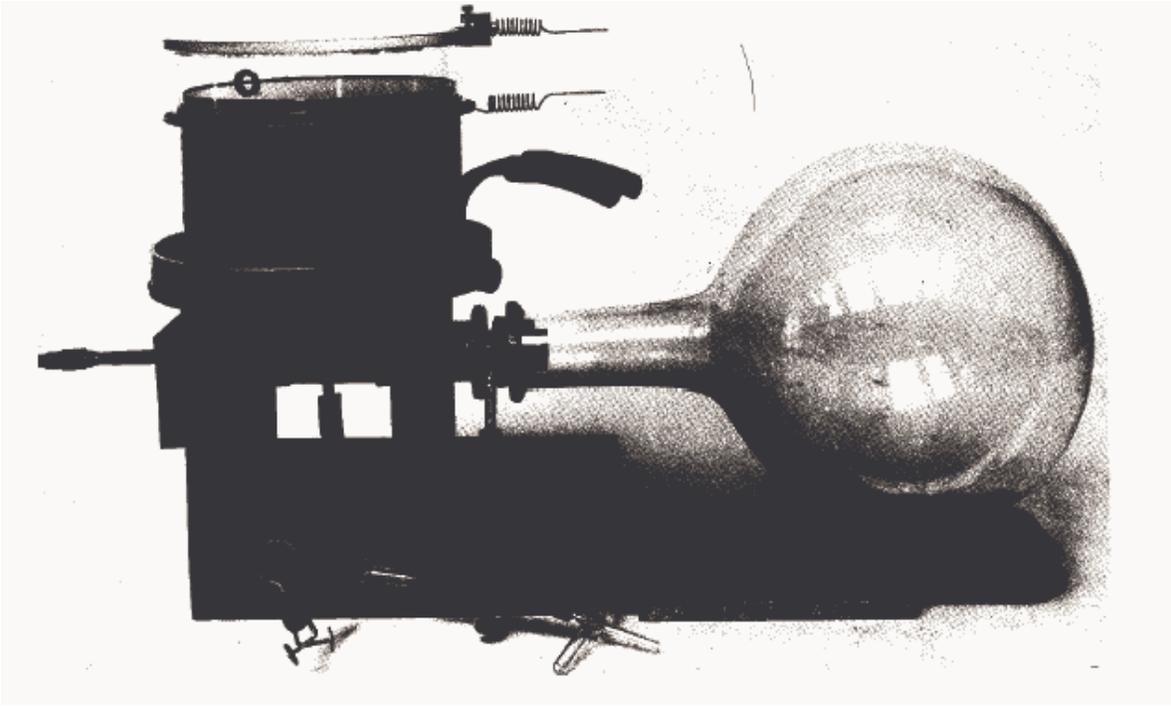


Figura 1 – Primeira Câmara de Neblinas, feita por Wilson [2]. O recipiente contendo ar, se encontra no canto superior esquerdo da foto.

Expandindo rapidamente o ar dentro da câmara, a temperatura do mesmo cai bruscamente, segundo a fórmula para expansão adiabática:

$$TV^{\gamma-1} = \text{constante} \quad (1)$$

onde T é a temperatura do ar, V é o volume ocupado por ele, e $\gamma \equiv c_p / c_v$, ou seja, a razão entre os calores específicos molares à pressão constante e à volume constante, lembrando que γ é sempre maior que 1. Logicamente, para a equação 1 ser válida, o ar dentro da câmara deve ser considerado ideal, seguindo a equação ideal dos gases

$$PV = nRT \quad (2)$$

onde P é a pressão dentro da câmara, n o número de mols de moléculas de ar e R a constante dos gases.

A equação 1 nos diz que, um aumento repentino do volume, causa uma queda repentina da temperatura, para que $TV^{\gamma-1}$ permaneça constante. Assim, após a rápida expansão do ar dentro da câmara, cria-se um estágio de supersaturação do vapor d'água, já que quanto menor for a temperatura, menor será a pressão de vapor. Após o processo de expansão, a quantidade de vapor dentro da câmara se torna excessiva (temperatura mais baixa) e o excesso de vapor se condensa em volta de partículas de poeira carregadas, formando gotículas de água, que caracterizam a neblina.

Wilson, então, começou a contrair e expandir lentamente a câmara, acabando com as gotículas de neblina já formadas, que caíam segundo a ação da gravidade, e eram aprisionadas numa camada de gel colocada no chão da câmara. Além disso, aplicou um campo elétrico \vec{E} entre o chão e o teto da câmara, acabando com as partículas carregadas de poeira, que sofriam uma força

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (3)$$

para cima ou para baixo, dependendo de sua carga q , e de qualquer forma, eram aprisionadas por uma camada de gel, tanto no chão, quanto no teto da câmara [5].

Sem partículas de poeira carregadas, não deveria haver neblina, mas o que se percebeu, foi que alguns traços de neblina, de repente, se formavam no interior da câmara, quando esta era expandida de maneira abrupta novamente.

Isto acontecia porque partículas ionizantes, em sua maioria elétrons, penetravam na câmara, arrancando elétrons das moléculas de ar. Os íons produzidos serviam então, como núcleos de condensação. O vapor d'água, em excesso dentro da câmara, se condensava em torno desses íons, produzindo os traços ao longo das trajetórias das partículas.

Hoje sabemos que essas partículas são os raios cósmicos, partículas produzidas principalmente em explosões de estrelas, e que ao penetrar na atmosfera terrestre, produz o fenômeno conhecido como ionização espontânea do ar [4], assunto este também estudado por Wilson.

Wilson também expôs sua câmara à fontes de radiação α (núcleo de Hélio), β (elétron) e raio X (fóton), e constatou a formação de diversos traços provenientes das fontes [5]. Logicamente, a câmara só detecta partículas carregadas, já que é necessário a ionização do ar dentro da câmara, para formar os traços. Assim, Wilson não enxergava diretamente os raios X, vendo os elétrons produzidos por eles nas paredes da câmara.

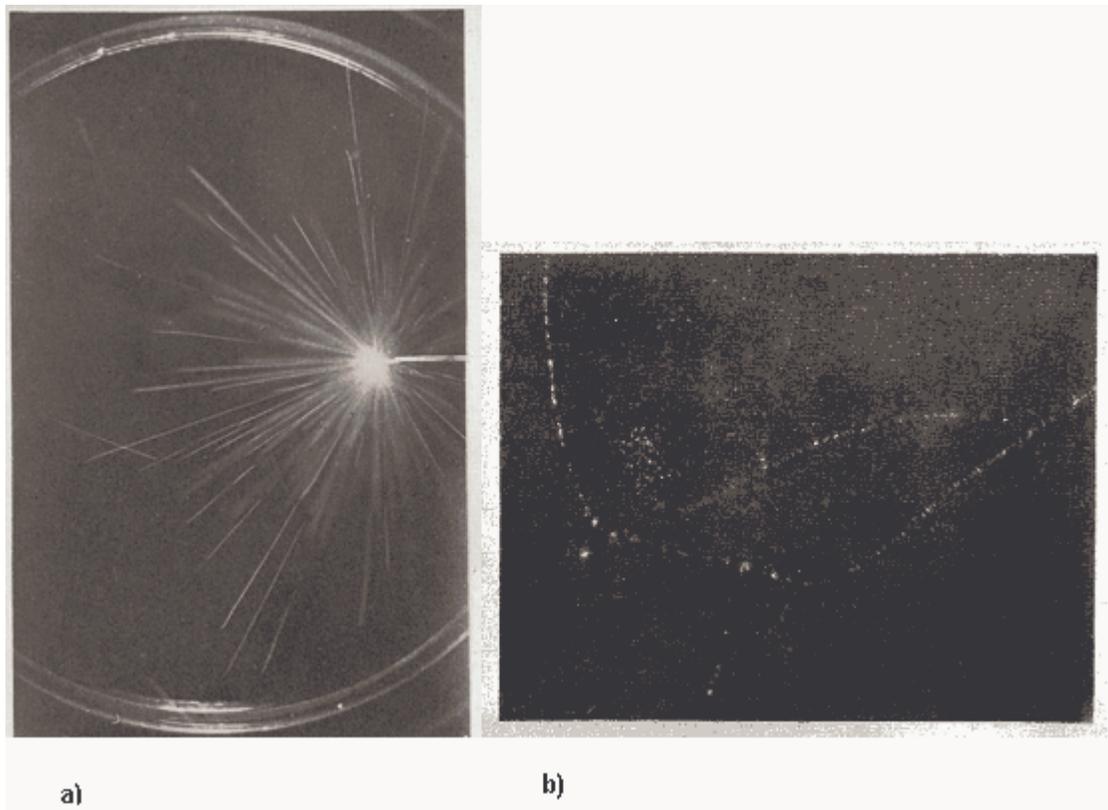


Figura 2 – Imagens obtidas por Wilson [5], com a câmara exposta à: a) fonte de partículas α e b) fonte de partículas β .

4.2) Câmara de Neblinas simplificada

Na câmara de neblinas simplificada, é utilizado vapor de álcool, ao invés de vapor d'água, e o estágio de supersaturação desse vapor, é atingido através de um gradiente de temperatura, entre a base e o topo da câmara. O vapor de álcool é liberado por um feltro na parte superior da câmara, que se encontra a

temperatura ambiente. A base é constituída de uma placa de cobre, resfriada através de um tubo de cobre, soldado a ela, e imerso em uma garrafa térmica cheia de nitrogênio líquido, ou gelo seco e álcool.

Para o gelo seco, uma diferença de temperatura de aproximadamente 75 °C é estabelecida entre a base e o topo da câmara, enquanto que, para o nitrogênio líquido, a diferença é de aproximadamente 215 °C. Em ambos os casos, a parte inferior da câmara entra em um estágio de saturação do vapor de álcool, com uma quantidade muito menor do que a que está sendo liberada pelo feltro, que se encontra em uma região com uma temperatura maior (ambiente) e, conseqüentemente, com uma pressão de vapor também maior. Cria-se assim um estágio de supersaturação do vapor de álcool na base da câmara.

Logicamente, as partículas de poeira devem ser eliminadas e, para isso, atrita-se o plástico que constitui o teto da câmara, com um pano, criando uma diferença de potencial entre a base e o topo da câmara, eliminando em parte as partículas de poeira carregadas, presentes no interior da câmara.

Dessa forma, todas as condições criadas por Wilson, originalmente em sua câmara, são atingidas e, traços de partículas ionizantes, podem ser vistos.

5) Metodologia

5.1) Construção do equipamento [1]

Cortou-se, de forma circular com 6,7cm de diâmetro, uma placa de cobre de 0,5 mm de espessura. Um tubo do mesmo material, com diâmetro de 1,5cm e 12,5 cm de comprimento, foi soldado à placa.

O tubo de cobre foi então aquecido na chama de um bico de Bunsen, sendo em seguida, introduzido no centro da base de um recipiente plástico com as seguintes dimensões: 7,4cm de diâmetro, altura de 5,5cm e espessura de 1mm.



Figura 3 – Tubo de cobre, já soldado à placa de cobre.

Perfurou-se, com uma broca, o centro da tampa de uma garrafa térmica de modo que o furo ficasse um pouco menor que o diâmetro do tubo de cobre. Um pequeno orifício, feito também com uma broca, foi feito entre o furo central e a borda da tampa, para servir de escape para os gases liberados dentro da garrafa.

O tubo de cobre, já acoplado ao recipiente, foi introduzido no furo central da tampa da garrafa térmica, formando uma só peça: tubo soldado à placa + recipiente plástico + tampa (figura 4).



Figura 4 - O tubo de cobre, já soldado à placa, é inserido no recipiente plástico e na tampa da garrafa térmica.

A tampa da câmara é um plástico quadrado transparente, com 15cm de lado e 2mm de espessura.

5.2) Preparação da câmara

O álcool utilizado é o metanol, por ser extremamente volátil.

Uma tira de feltro com 1,3 cm de largura e 28.0cm de comprimento, é fixada, formando uma volta na parte superior do recipiente plástico. O feltro é embebido com o metanol, com a ajuda de um conta-gotas. Esta tira precisa ser trocada, cada vez que se realiza o experimento (o álcool resseca o feltro).

O tubo de cobre, acoplado à tampa e ao recipiente plástico, é então colocado na garrafa térmica, contendo nitrogênio líquido, ou gelo seco e álcool etílico.

A tampa de plástico é atritada com um pano, para eliminar as partículas de poeira carregadas, e colocada em cima do recipiente plástico (figura 5). Após alguns segundos, uma fina camada de neblina já pode ser vista na base da câmara, mostrando que o estágio de supersaturação de vapor foi atingido. Em intervalos de 10 minutos, essa tampa deve ser reeletrizada novamente.

Sempre que se perceber uma diminuição da neblina na base da câmara, o feltro deve ser molhado novamente com metanol.



Figura 5 – Foto do equipamento completo. O tubo de cobre, já está adaptado à tampa da garrafa térmica. A tira vermelha é o feltro, já embebido com álcool.

5.3) Sistema de iluminação

A iluminação é feita com uma lâmpada comercial de 50 Watts, com um sistema de espelhos que foca toda a luz numa pequena região. Dessa forma, a intensidade de luz dirigida para dentro da câmara é grande suficiente para tornar os traços deixados pelas partículas, visíveis. O foco de luz é incidido sobre as laterais da câmara, e os traços são visualizados pela parte de cima, através da tampa de plástico.

Apenas a parte inferior da câmara necessita de iluminação, já que o estágio de supersaturação, é atingido numa camada muito fina na base do recipiente plástico.

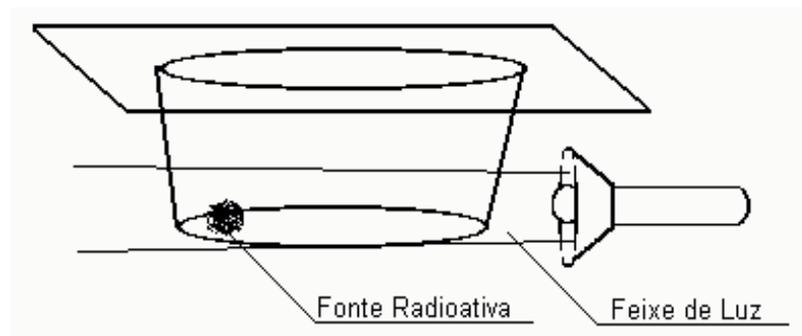


Figura 6 – Esquema de iluminação da câmara.

6) Resultados e discussões

6.1) Exposição da câmara à uma fonte de partículas α .

Para que houvesse o menor risco à saúde possível, foi utilizado como fonte de partículas α , a areia da praia de Guarapari-ES. Ela tem como principal elemento radioativo o Tório-232, que por se apresentar em pequena quantidade

na areia, oferece pouco risco para quem o manuseia. Uma quantidade muito menor, do elemento Urânio-235, também está presente.

Segundo cálculos do Dr. Pedro Lunes, do Departamento de Raios Cósmicos e Cronologia (DFCC, Instituto de Física Gleb Wathagin- Universidade Estadual de Campinas), o Tório presente na areia se encontra em mais de 95% do seu equilíbrio secular (apêndice 1). Pode-se então considerar que todos os canais de decaimento estão com mesma atividade. Partículas alfa com energias entre 3,834 Mev e 8,784 Mev (tabela 2), são detectadas pela câmara.

A energia da partícula alfa determina seu alcance no ar, ou seja, a distância percorrida por ela, antes de ser absorvida. Analisando-se a curva de Bethe (apêndice 1), vê-se que, partículas com alcance entre 2,4 cm e 9,0 cm são emitidas pelo Tório. A temperatura do ar para o gráfico do apêndice 1 é de 15 ° C, enquanto que a parte inferior da câmara, se encontra a uma temperatura de -56,5°C quando se utiliza gelo seco e -196°C, quando se utiliza nitrogênio líquido.

Assim, uma correção da forma [3]:

$$R(T^{\circ}C) = R(15^{\circ}C) \left[\frac{273 + T}{273 + 15} \right] \quad (4)$$

onde R representa o alcance (range) da partícula, deve ser feita.

As montagens, com gelo seco e com nitrogênio líquido, apresentaram resultados muito semelhantes.

O gelo seco, porém, se mostrou mais vantajoso por dois motivos: os traços deixados pelas partículas são mais espessos; e o tempo de funcionamento da câmara é maior, sendo necessário apenas, reeletrizar a tampa de plástico em intervalos de 10 minutos.

A espessura dos traços é maior na montagem com gelo seco, devido a maior energia cinética das moléculas de álcool, que, se encontram em uma temperatura maior que na montagem com o nitrogênio. Isso faz com que mais moléculas entrem em contato com os íons deixados pelas partículas, na passagem pela câmara, aumentando o grau de condensação nos traços de íons.

O tempo de funcionamento da câmara, também é maior, porque não há congelamento de água (umidade do ar), na placa de cobre. Para o nitrogênio, em poucos minutos, isso ocorre, tornando a placa branca, dificultando a visão dos traços. Além disso, o nitrogênio líquido libera uma maior quantidade de gases, que penetram na câmara e, depois de algum tempo, impedem que qualquer traço seja visto.

Usando a montagem com gelo seco, os traços são observados com muita facilidade e se assemelham muito com os que foram vistos por Wilson (Figura 3-a)), já que são densos e espessos, típicos de partículas alfa.

A camada de supersaturação do vapor de álcool se encontra na parte inferior da câmara, muito rente à placa de cobre.

Duas montagens com a fonte de areia foram feitas:

6.1.1) Primeira montagem

Um pedaço retangular de papel, com área de 2 cm^2 , foi colocado na borda da placa de cobre, e um montinho de areia foi depositado em cima dele, como na figura 6. Dessa maneira, a partícula alfa emitida pode vir de qualquer lugar do monte de terra, desde que se direcione para o interior da câmara.

O que se viu, foram traços de vários comprimentos, desde alguns milímetros, que são de partículas alfa emitidas por grão de areia, do lado oposto do centro da placa de cobre, que ao atravessarem todo o monte de areia, perdem a maior parte de sua energia cinética e são logo absorvidas pelo ar, até partículas que atravessaram alguns centímetros, ou que passaram os limites da câmara. Essas partículas provavelmente vieram da última camada de grãos de areia, e não perderam quase nenhuma energia, antes de entrarem em contato com o ar dentro da câmara.

Pela presença de uma quantidade grande de areia com esta montagem, o número de emissão de partículas alfa é muito grande, pois ele depende do número de núcleos radioativos segundo a fórmula (ver apêndice A):

$$\frac{dN}{dt} = -\omega N \quad (5)$$

onde $\frac{dN}{dt}$ representa a taxa de emissão, e N o número de partículas presentes.

Logicamente quanto maior o número de partículas, maior será a taxa de emissão.

Porém, traços de todos os comprimentos são vistos, e não se pode dizer se representam partículas com toda sua energia cinética, ou com parte dela, já que pode ter perdido energia ao atravessar o monte de terra. A vantagem dessa montagem, é que o intervalo de tempo entre as emissões é curto, não cansando a vista de quem observa.

A maior limitação dessa câmara é que, a camada de vapor supersaturado na parte inferior da câmara é muito fina, cerca de 5 mm. Dessa forma, somente partículas emitidas sob ângulos muito pequenos, com relação ao chão da câmara, podem ser vistas com clareza. Além disso, como o tempo de permanência dos traços é muito curto, alguns décimos de segundo, a determinação desses ângulos se torna impossível.

6.1.2) Segunda montagem

A segunda montagem consiste em separar grãos de areia, de forma que apenas uma fina camada esteja em contato com o ar dentro da câmara. Dessa forma, garante-se que a maior parte dos traços vistos, correspondam a partículas alfa, com toda sua energia cinética. Essa montagem não evita o aparecimento de traços muito curtos, porém em menor proporção com relação à montagem anterior.

Uma primeira montagem, utilizando uma tira de papel de 2 cm², com cola comum no centro da tira, onde foram despejados alguns grãos de areia, foi realizada. Ela tem a vantagem de detectar partículas com até 6,7 cm de alcance (diâmetro da placa de cobre).

Uma segunda montagem, mais rápida e fácil, foi também realizada. Para esta montagem, a tampa do tubo onde se guardava a areia, foi colocada sob a placa de cobre. Como uma fina camada de areia permanecia depositada na tampa, a condição de minimizar traços muito curtos foi satisfeita.

Como foi dito anteriormente, traços entre 2,4 cm (3,834 Mev) e 9,0 cm (8,784 Mev), deveriam ser vistos com a câmara submetida a uma temperatura de 15 °C. Porém, como a base do recipiente plástico se encontra a uma temperatura de -56,5 °C, a correção dada pela equação 4 deve ser feita. Encontramos que os alcances mínimos e máximos devem ser:

$$R_{\max}(-56,5^{\circ}C) = 9,0 \frac{273 - 56,5}{273 + 15} = 6,8\text{cm}$$

$$R_{\min}(-56,5^{\circ}C) = 2,4 \frac{273 - 56,5}{273 + 15} = 1,8\text{cm}$$
(5)

Com as duas montagens, foram observados traços muito pequenos, mas na maioria, os traços se encontravam dentro desta faixa (1,8cm-6,8cm). Algumas vezes, apareceram traços que cruzaram toda a câmara. Esses traços muito provavelmente eram das partículas de 8,784 Mev, já que seu alcance é maior que o diâmetro da placa de cobre, de 6,7 cm.

Apesar dos traços se desfazerem em alguns décimos de segundo, consegue-se claramente ver que os traços estavam emanando da fonte, e não saindo de um lugar qualquer. Isto porque as partículas passam como um tiro pela câmara.

Tapou-se a fonte com uma caixinha plástica e viu-se que a formação de traços cessava imediatamente. Mais um indicativo de que as partículas saem da fonte e que são partículas alfa, já que esta é barrada facilmente por um plástico.

6.2) Exposição da câmara a raios cósmicos

Com a montagem usando gelo seco, a câmara foi exposta ao ar livre. Traços de partículas cósmicas não puderam ser vistos, já que, por virem praticamente na vertical, os traços se formariam, perpendicularmente à camada de vapor supersaturado na base da câmara. Por essa camada não ultrapassar 0,5 cm, nenhum traço pôde ser visto, mesmo quando olhou-se pela lateral do recipiente plástico.

Porém, olhando-se por cima, puderam ser vistos diversos pontos de condensação, que se formavam de repente, e sumiam num curto espaço de tempo. Provavelmente, esses pontos foram formados, por partículas cósmicas (elétrons), que, penetraram na câmara, e causaram um traço na fina camada de vapor supersaturado. Logicamente, somente os pontos por onde entraram essas partículas puderam ser vistos.

Mesmo sem fonte radioativa na câmara, muitos traços puderam ser vistos. Inclusive traços muito parecidos com os da figura 2 b), gerados por elétrons. Isto mostra que mesmo sem nenhuma fonte de partículas ionizantes por perto, moléculas de ar podem se ionizar, liberando elétrons, que deixam seus traços na câmara. Essa ionização pode ser devido à colisão de uma molécula de ar com um raio cósmico, ou mesmo, com outras moléculas de ar. Logo, um estudo mais detalhado sobre raios cósmicos, com essa câmara, se torna inviável, sendo necessário uma câmara que atinja uma camada maior de supersaturação de vapor e que tenha uma diferença de potencial aplicada entre a base e o topo da câmara, acabando com as possíveis descargas elétricas que podem ser geradas espontaneamente no ar.

7) Conclusões

Com a câmara exposta à fonte de Tório, traços muito bem definidos puderam ser vistos. As direções de emissão das partículas alfa também puderam ser identificadas. A grande maioria dos traços foram absorvidos dentro da câmara, comprovando as previsões dadas pela equação 5.

Devido à fina camada de supersaturação, atingida com a câmara, um estudo mais aprofundado dos raios cósmicos não pôde ser feito. Outros materiais, porém, podem ser testados, a fim de atingir uma camada maior de supersaturação do vapor de metanol, desde que mantenham os princípios exigidos para o funcionamento da câmara.

Para um aluno de ensino médio, a possibilidade de visualizar partículas tão pequenas, lhe apresenta um mundo novo, o da física moderna, mundo este que é tão desconhecido, e muitas vezes nebuloso, no estágio de educação em que se encontra. Além disso, esse aluno pode perceber, que com conceitos tão simples, física de ponta pode ser estudada. Isto faz com que ele perca o medo de física, já que muitas vezes, essa disciplina se mostra extremamente complexa, e não lhe são ensinados, quão simples podem ser os conceitos envolvidos. Uma demonstração do curto alcance das partículas alfa na atmosfera, pode lhe mostrar que ela é a radiação menos perigosa, já que, andando poucos centímetros no ar, dificilmente romperia a pele de um ser humano.

Um aluno de física, principalmente aquele com inclinação para ensinar física, percebe imediatamente, com este trabalho, que não são apenas experimentos relacionados com física clássica que podem ser construídos, sem o despendimento de muito dinheiro. Ele tem a oportunidade de ver um equipamento de extrema importância para a física moderna, construído através de materiais com os quais ele tem contato diariamente em sua casa, ou em sua vida acadêmica, e além disso, ainda pode demonstrar o funcionamento aos seus alunos, tendo a certeza que todos entenderão os conceitos envolvidos, já que são extremamente simples.

8) Bibliografia

[1] - Traços numa câmara de neblinas, Guia do professor, vol IV (autor desconhecido)

[2] - Close. F., Marten, M., Sutton, C., The particle explosion, Oxford University Press, 1987

[3] – Gamarra, A.R.Z., Caracterização do CR-39 como espectrômetro alfa, tese submetida ao instituto de Física Gleb Wataghin da Universidade Estadual de Campinas, Setembro 1998

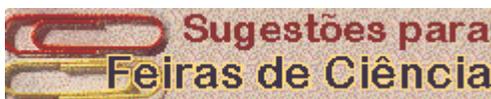
[4] - Wilson, C.T.R., Proceedings of the Royal Society of London, vol. 69 (1901-1902), pp. 277-282

[5] - Wilson, C.T.R., Proceedings of the Royal Society of London, vol. 87 (Sep. 19, 1912), pp. 277-292

[6] - Williams, W.S.C., Clarendon Press- Oxford, 1991

[7] - <http://www.fisica.ufc.br/espec3.htm>

física.ufc



PROJETOS ESPECIAIS

A câmara de nuvens - ou câmara de Wilson.

Objetivo

Construir uma câmara de nuvens, também chamada de câmara de Wilson, e observar as trilhas de partículas sub-atômicas emitidas por substâncias radioativas.

Descrição

Uma câmara de nuvens, também chamada de câmara de Wilson, em homenagem a seu inventor, C. R. Wilson, é um dispositivo que mostra o rastro deixado por partículas sub-atômicas. A câmara que vamos descrever é bem mais simples que a câmara original de Wilson mas funciona.

A câmara será feita de um vidro de boca larga, transparente, com tampa de rosquear. Pode ser um vidro de geléia mas seria bom arranjar um vidro resistente e não muito pequeno.

Corte um papel mata-borrão, ou uma esponja fina, em forma de disco, com o diâmetro igual ao fundo do vidro. Fixe esse disco no fundo do vidro com colatudo de boa qualidade. Corte outro disco, agora feito de pano preto (veludo, por exemplo) e cole-o na parte de dentro da tampa. Prenda a fonte radioativa na parte interna da tampa. Derrame um pouco de álcool anidro dentro do vidro ainda aberto e agite bem para ensopar o papel ou esponja. Se sobrar algum excesso de álcool, derrame-o fora. Tampe o vidro, ponha-o com a tampa para baixo e espere uns 15 minutos. Enquanto espera, encha um prato fundo de gelo seco (CO_2 sólido) e cubra com um pano fino. Coloque o vidro, com a tampa para baixo, sobre o pano que cobre o gelo seco. O álcool dentro do vidro esfria bastante, ficando em um estado chamado de supersaturado. Nesse estado, qualquer perturbação pode condensar o álcool vaporizado. Escureça a sala e ilumine o vidro com uma boa lanterna. Nesse ponto, se tudo correr bem, deve ser possível observar algumas trilhas deixadas pelas partículas emitidas pelo material radioativo. Se você dispõe de uma câmera fotográfica, fotografe essas trilhas para mostrar na Feira. Talvez seja necessário deixar o obturador aberto durante alguns segundos.



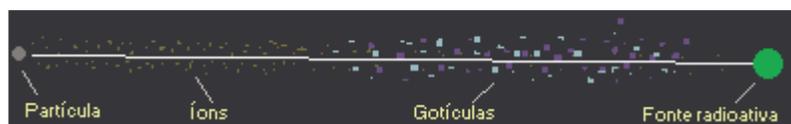
Esquema da câmara de nuvens.



Algumas trilhas típicas.

Análise

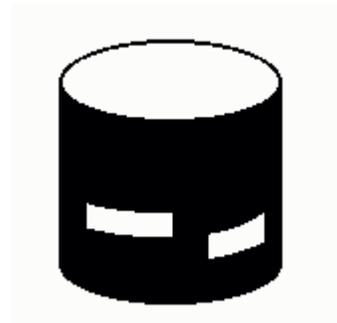
As trilhas que vemos na câmara são feitas de moléculas de álcool que se condensam como a água se condensa em uma nuvem (daí o nome). Uma partícula sub-atômica ejetada pelo material radioativo sai em linha reta. Ao passar por uma molécula de ar ou álcool, a partícula pode arrancar um ou mais elétrons da molécula, ionizando-a. Esses íons, ao se formarem, atraem as moléculas de vapor que estão nas proximidades, condensando-as em forma de gotículas bem pequenas. São essas gotículas que espalham a luz e formam as trilhas indicando o caminho por onde passou a partícula sub-atômica.



É possível que apareça outro tipo de trilha, mais fina, que não se originam de partículas emitidas pela fonte radioativa. Essas, provavelmente, são devidas a raios cósmicos que passam pela câmara enquanto estamos observando. Esses raios cósmicos também são formados de partículas, só que se originam nas altas camadas da atmosfera ou mesmo no espaço exterior. Alguns vêm de muito longe,

de fora do sistema solar ou mesmo da galáxia. Se sua câmara for muito bem feita, você nem precisará de uma fonte radioativa: bastam os raios cósmicos que sempre estão por aqui.

Para melhorar bastante o desempenho de sua câmara, serão necessários cuidados especiais. Envolver o vidro com um cilindro de papel preto deixando duas fendas retangulares deslocadas de noventa graus, uma da outra. Uma delas fica a uns 2 ou 3 centímetros acima da parte que terá contacto com o gelo seco. A parte de baixo da outra deve coincidir com a parte de cima desta. Ilumine o interior do vidro com uma luz bem forte através da fenda inferior. Use, por exemplo, o feixe de luz de um projetor de *slides*. Observe e fotografe as trilhas pela fenda superior.



Para saber se as partículas que geram uma trilha são eletricamente carregadas, aproxime um ímã forte de sua câmara. Se a partícula tiver carga, a trilha aparecerá curva.

Material

Um vidro de geléia ou outro qualquer, transparente e de boca larga, com tampa rosqueada.

Feltro ou veludo preto.

Papel absorvente, tipo mata-borrão, ou esponja fina e densa.

Gelo seco. Esse é o nome que se dá ao CO_2 no estado sólido. Na pressão atmosférica normal, o gelo seco é sólido e está a uma temperatura de $-56,5^\circ\text{C}$.

Acondicione o gelo seco em uma garrafa térmica grande. Não tampe a garrafa pois o gás carbônico liberado tem de ter para onde escoar. O gelo seco, em contacto com a atmosfera, passa de sólido diretamente a gás, em uma mudança de fase chamada sublimação. Uma garrafa térmica de gelo seco deve durar várias horas antes do material sublimar completamente. Gelo seco pode ser comprado em alguns fornecedores de material hospitalar ou de refrigeração. Não é muito caro e, se você tiver sorte, pode conseguir algum de graça. Cuidado para não tocar no gelo seco pois ele queima a pele.

Álcool anidro, vendido em farmácias.

Lanterna e projetor de *slides*

Fonte radioativa. Esse é o ponto crítico dessa experiência - onde arranjar uma fonte radioativa suficientemente intensa para que sua experiência funcione mas convenientemente fraca para não ser perigosa. Alguns palpites:

a) Material tirado dos números ou dos ponteiros de um velho relógio luminoso

b) Certas tintas luminosas ou outro material que brilha no escuro.

c) Parece que alguns detetores de fumaça usam um material fracamente radioativo.

d) Velas de lâmpadas a gás, tipo *camping*. Algumas são fracamente radioativas.

e) Em cidades grandes existem lojas especializadas em material científico e nelas talvez existam fontes radioativas baratas. Outra possibilidade é visitar o departamento de física da universidade mais próxima e consultar um especialista. De qualquer modo, tenha extremo cuidado ao manipular material radioativo, fraco ou não. Use luvas e não guarde o material no bolso nem fique perto dele um tempo exagerado. Nesses tipos de amostras citados acima a radioatividade é tão baixa que o risco é muito pequeno, quase desprezível. Mas, seguro morreu de velho.

Dicas

Só escolha essa experiência se tiver bastante tempo para prepará-la. É um projeto um tanto elaborado, que exige boa dose de habilidade manual, paciência e criatividade. Quando funciona é uma maravilha e pode ser candidata a um prêmio na Feira.

A câmara pode não funcionar por vários motivos. Se a quantidade de vapor for excessiva, ela fica enevoadada e opaca. Espere vários minutos até ela clarear. Uma das razões frequentes para o mau funcionamento da câmara é uma tampa sem vedamento. É essencial que o vidro fique hermeticamente vedado. Por outro lado, se a tampa for muito espessa e de material termicamente isolante, o gelo seco não conseguirá resfriar o álcool e não haverá condensação. Use tampas metálicas finas ou, se necessário, lixe a que você tem até deixá-la bem fina.

Às vezes é preciso experimentar com vários vidros de tamanhos e formatos diversos até achar um que seja o mais adequado para funcionar como câmara de nuvens.

Apêndice

Partículas alfa

Um breve estudo sobre partículas α deve ser feito, a fim de introduzir as características das partículas que são detectadas pela câmara.

A partícula α , é o elemento que constitui o núcleo de Hélio, ou seja, é formada por dois nêutrons e dois prótons. Ela é representada como α_2^4 , onde o índice inferior representa o número de prótons, e o superior, o número de massa (nêutrons + prótons).

Elementos que emitem partículas α , são ditos radioativos e podem emitir também partículas β (elétrons) e γ (fótons). O processo de emissão de uma partícula α se dá da seguinte maneira:



onde A é o elemento mãe, B é o elemento filho e Q é a energia cinética com a qual a partícula alfa é emitida [6].

Um elemento radioativo pode ter diversos canais de decaimento. Cada canal pode representar o decaimento de uma ou mais partículas (tabela 1). A equação que descreve o número de decaimentos por unidade de tempo é

$$\frac{dN_i}{dt} = -\omega_i N_i \quad (5)$$

com o índice “i” corresponde a um determinado decaimento. O tempo de meia vida é definido como $\tau = 1/(\sum \omega_i)$. Com a somatória representando todos os decaimentos do canal.

Um elemento pode também gerar uma cadeia de decaimentos, onde os elementos filhos também decaem, até chegar a algum elemento estável.

Como a fonte radioativa usada nesse trabalho é uma fonte de Tório-232, mostramos na tabela 2 a cadeia de decaimentos gerada pelo Tório [3].

Nucleído	Tempo de meia vida	Energia (Mev)	Canal (%)
Th-232	1,39E+10 anos	4,017	77,0
		3,957	23,0
		3,834	0,2
Th-228	1,910 anos	5,421	72,7
		5,339	26,7
		5,210	0,4
		5,172	0,2

		5,137	0,1
Ra-224	3,64 dias	5,686 5,449 5,161	94 5,5 0,0
Rn-220	51,5 seg	6,288 5,747	99,9 0,1
Po-216	0,158 seg	6,779 5,985	99,0 0,0
Po-212	3,04E-7 seg	8,784	1000,0
Bi-212	60,5 min	6,090 6,051 5,769 5,626 5,607 5,486	27,2 69,9 1,7 0,2 1,1 0,0

Tabela 1- Energias das partículas alfa emitidas pela cadeia de decaimento do Tório.

Cada cadeia possui um tempo característico para atingir seu equilíbrio secular, onde o número de partículas emitidas em todos os canais são iguais, ou seja,

$$\omega_1 N_1 = \omega_2 N_2 = \dots = \omega_n N_n \quad (6).$$

A energia da partícula alfa emitida, nos diz a distância percorrida por ela, antes de ser absorvida pela atmosfera. A curva que relaciona a energia da partícula com seu alcance, é conhecida como curva de Bethe, e é mostrada a seguir [3].

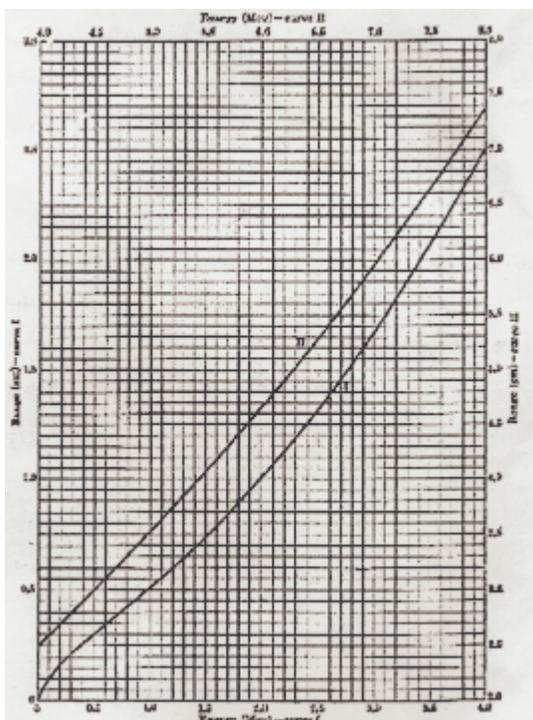


Figura 7 – Curva que relaciona a energia da partícula α , com a distância percorrida por ela no ar, antes de ser absorvida.

Comentários feitos pelo Coordenador

- **Projeto:** Projeto aprovado, muito interessante.
- **Relatório Parcial:** Relatório aprovado.