

# Sistema automático de abertura de fonte radioativa em laboratório de ensino

## Automatic exposure system for radioactive source at teaching laboratory

Maria Emilia G. Seren, Vladimir Gaal, Sérgio Luiz de Moraes e Varlei Rodrigues

Instituto de Física “Gleb Wataghin”, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) – Campinas (SP), Brasil.

### Resumo

O desenvolvimento do experimento Espalhamento Compton, estudado no curso de graduação de Física Médica da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), acontece no Laboratório de Ensino em Física Médica pertencente ao Instituto de Física “Gleb Wataghin” (IFGW/UNICAMP). O experimento é composto por uma fonte radioativa fixa de  $^{137}\text{Cs}$ , com atividade atual de 610,5 MBq e um detector de cintilação translacionando sobre o centro do sistema, cuja função é detectar o espectro dos fótons espalhados por um objeto qualquer (alvo). A fonte  $^{137}\text{Cs}$  permanece guardada em uma blindagem de chumbo, que possui uma janela colimadora da radiação gama emitida com energia 0,662 MeV. Esta fonte é exposta apenas quando uma barreira de atenuação que protege a janela de colimação é aberta. O processo de abertura e fechamento da barreira de atenuação, quando feito manualmente, expõe os usuários do laboratório à radiação ionizante. Levando-se em conta os efeitos estocásticos nocivos da radiação ionizante, o objetivo deste projeto foi desenvolver um sistema automático de exposição da fonte radioativa, a fim de reduzir a dose aos usuários do Experimento Compton. O sistema desenvolvido é microcontrolado e desenvolve rotinas de operação padrão, respondendo a situações de emergência. Além disso, uma trava eletromagnética permite o rápido fechamento da barreira por ação da gravidade, no caso de interrupção do circuito de corrente elétrica. Além de reduzir a dose total aos usuários do laboratório, o sistema desenvolvido adiciona maior segurança na rotina, já que limita o acesso à fonte radioativa e evita exposições acidentais.

**Palavras-chave:** proteção radiológica, segurança de equipamentos, radiação ionizante, materiais de ensino, espalhamento de radiação, instrumentação.

### Abstract

The development of Compton Scattering experiment, studied by undergraduate students of the Medical Physics course at the *Universidade Estadual de Campinas* (UNICAMP), takes place in the Medical Physics Teaching Laboratory, belonging to the Gleb Wataghin Physics Institute (IFGW/UNICAMP). The experiment consists of a fixed  $^{137}\text{Cs}$  radioactive source, with current activity of 610.5 MBq and a scintillation detector that turns around the center of the system whose function is to detect the scattered photons spectrum by a scatter object (target). The  $^{137}\text{Cs}$  source is stored in a lead shield with a collimating window for the gamma radiation emitted with energy of 0.662 MeV. This source is exposed only when an attenuation barrier protecting the collimating window is opened. The process of opening and closing the attenuation barrier may deliver a radiation dose to users when done manually. Considering the stochastic harmful effects of ionizing radiation, the goal of this project was to develop an automatic exposure system of the radioactive source, in order to reduce the radiation dose received during the Compton Scattering experiment. The developed system is microcontrolled and performs standard operating routines, responding to emergencies. Furthermore, an electromagnetic lock enables quick closing of the barrier by gravity, in case of interruption of the electrical current circuit. Besides reducing the total dose to lab users, the system adds more security to the routine, since it limits the access to the radioactive source and prevents accidental exposure.

**Keywords:** radiation protection, equipment safety, ionizing radiation, teaching materials, radiation scattering, instrumentation.

### Introdução

Em 1920, o físico Arthur Holly Compton estudou a diferença de energia entre fótons espalhados e fótons incidentes em uma amostra. Neste fenômeno, conhecido hoje como Espalhamento Compton ou Colisão Compton, o fóton incidente transfere parte de sua energia para um elétron de um material alvo e é espalhado de acordo com as leis de conservação de energia e momento. Este mecanismo de interação da radiação eletromagnética com a matéria é estudado

na faixa de energia típica de emissão de radioisótopos — dezenas de keV até poucos MeV — e sua probabilidade de ocorrer muda em função do alvo<sup>1</sup>.

O estudo experimental do Espalhamento Compton no ambiente de aprendizagem necessita de um feixe incidente de fótons, um alvo e um sistema de detecção dos fótons espalhados<sup>2</sup>, conforme Figura 1. No Laboratório de Ensino em Física Médica do Instituto de Física Gleb Wataghin, da Universidade Estadual de Campinas (IFGW/UNICAMP), o feixe incidente de fótons é obtido através da colimação da

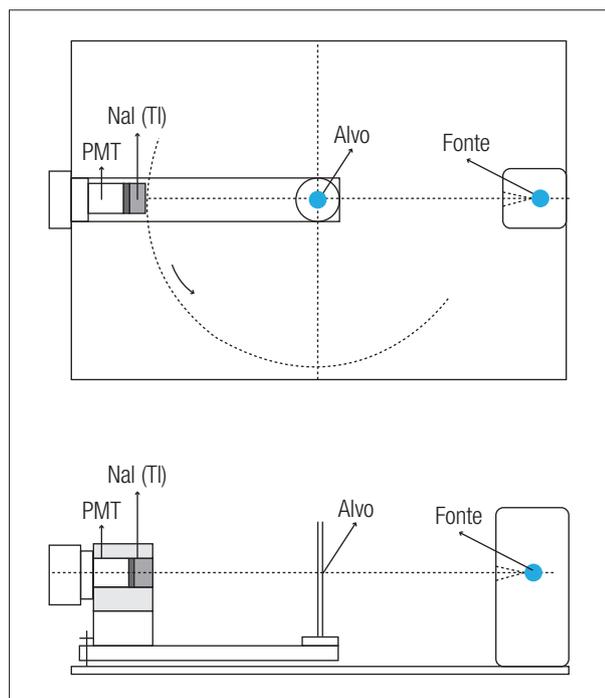
radiação gama emitida por uma fonte de  $^{137}\text{Cs}$ , cuja energia é de 0,662 MeV, e tem atividade atual 610,5 MBq, que é suficiente para produzir uma taxa de contagens de fótons espalhados apreciável para executar o experimento.

A fonte de  $^{137}\text{Cs}$  fica guardada em uma blindagem que possui uma janela de pequeno diâmetro, cuja função é colimar a radiação gama emitida. A janela de colimação é protegida por uma barreira atenuadora, chamada de porta da fonte, que consiste em um bloco maciço de chumbo com 50 mm de espessura e peso aproximado de 1,8 kg, presa em uma alavanca de 15 cm de comprimento, que auxilia na sua abertura.

O detector usado neste experimento é um cintilador composto por um cristal inorgânico de iodeto de sódio dopado com tálio NaI(Tl), acoplado a um tubo fotomultiplicador (PMT), que permite adquirir o espectro dos fótons espalhados pelo material alvo. Este detector é fixado ao final de uma haste que translada ao redor do alvo, sendo possível variar o ângulo de detecção entre  $0^\circ$  e  $130^\circ$ .

Para iniciar a coleta de dados do experimento, a fonte radiativa deve ser exposta. Para que isso ocorra, o usuário do laboratório entra na sala de armazenamento da fonte e abre manualmente sua porta, que fica presa por um gancho durante o período de aquisição de dados. Desta forma, quando qualquer mudança do ângulo de detecção ou material alvo é requerida, o usuário entra novamente na sala onde a fonte está exposta para fechar sua porta, e após as modificações a abre novamente. No final da coleta de dados, o usuário entra pela última vez na sala para fechar a porta fonte.

Como durante o experimento Espalhamento Compton são explorados a influência do número atômico do alvo e a relação entre a energia do fóton espalhado e o ângulo de



**Figura 1.** Esboço da vista superior e lateral do aparato experimental usado para estudar o Espalhamento Compton<sup>2</sup>.

detecção, o usuário deve entrar dezenas de vezes na sala em uma única aula para trocar o alvo e variar o ângulo do detector.

Assim, a maior probabilidade de exposição à radiação ionizante durante o experimento decorre dos processos de abertura e fechamento manual da porta da fonte. A dose total estimada durante a execução padrão deste experimento é baixa, cerca de  $10 \mu\text{Sv}$  para cada usuário. Todavia, outros experimentos do laboratório de física médica podem contribuir para dose total que um aluno ou docente recebe durante um curso integral de laboratório experimental de física médica.

O Laboratório de Ensino em Física Médica desenvolve uma política de radioproteção e segurança, baseada no preceito de que as exposições devem ser tão baixas quanto razoavelmente exequíveis (princípio ALARA)<sup>2,4</sup>. Continuamente, são desenvolvidas ações para reduzir a magnitude da exposição dos indivíduos ocupacionalmente expostos e indivíduos do público que usam o laboratório.

Neste contexto, o objetivo deste projeto foi desenvolver um sistema de exposição e supressão de fonte radiativa através da automatização de uma barreira atenuadora para fonte  $^{137}\text{Cs}$ , a fim de limitar a exposição dos usuários do experimento Compton aos efeitos nocivos da radiação ionizante.

## Metodologia

O sistema automático de exposição da fonte radioativa proposto deveria ter três características fundamentais: executar as rotinas de exposição e supressão da fonte radiativa considerando as situações de emergência, ter baixo custo, e utilizar apenas recursos locais para sua instalação.

O desenvolvimento do projeto aconteceu em três estágios. Na primeira etapa, definiram-se as condições de operação do equipamento, tanto durante a rotina padrão quanto em circunstâncias excepcionais, aqui chamadas de situações de emergência.

Na segunda etapa, foram exploradas as tecnologias disponíveis no mercado, de baixo custo, que estavam aptas a cumprir as condições de operação propostas na primeira etapa do projeto.

Na terceira etapa deu-se a construção do sistema, ou seja, montagem eletrônica do circuito, instalação *in situ* do sistema e testes de funcionamento.

## Condições de operação

A elaboração das condições de operação foi baseada em proteger os usuários do laboratório dos efeitos nocivos da radiação ionizante. Embora a dose estimada durante a execução do experimento Compton seja de pequena magnitude, esforços para oferecer maiores níveis de segurança devem sempre ser avaliados, levando-se em conta os efeitos estocásticos da radiação.

As condições de operação consideraram a filosofia de proteção em profundidade através do método de múltiplas barreiras e são divididas em dois blocos: condições normais de operação e situações de emergência.

Em condições normais de operação, os seguintes tópicos devem ser obedecidos:

- a) O arranjo experimental será armazenado em uma sala classificada como área controlada, que fica permanentemente trancada. Seu acesso é restrito às pessoas autorizadas pelo supervisor de radioproteção;
- b) O computador de controle e processamento de dados deverá ficar externo à sala de fontes, sendo que seu uso é independente do aparato experimental;
- c) Os usuários do experimento, assim como todos os outros usuários do laboratório, devem ser monitorados em relação a exposição à radiação.
- d) O acionamento de abertura ou fechamento automático da porta da fonte deverá ser feito remotamente por um botão externo à sala de fontes;
- e) Os botões para abertura e fechamento da porta da fonte devem ter identificação e aparências distintas para evitar serem confundidos;
- f) A fonte  $^{137}\text{Cs}$  só poderá ser exposta com a porta da sala de fontes fechada;
- g) O sistema deve permitir o fechamento e abertura da porta da fonte de acordo com a necessidade do usuário, podendo acontecer inúmeras vezes em curtos intervalos de tempo.
- h) Uma luz de advertência, identificada como tal, deverá ser fixada na porta externa da sala e permanecer acesa durante todo o tempo em que a fonte estiver exposta, a fim de prevenir exposições acidentais;

Nas condições normais de operação, são incluídas ações de prevenção de acidentes. Além das barreiras físicas como acesso restrito à área controlada e blindagem da fonte, barreiras morais como cartazes de advertência e luz de sinalização são considerados para garantir a segurança dos usuários.

Nas situações de emergência é prevista falha humana, desde que existe a possibilidade de esquecimento de fechamento da porta da fonte entre a troca de alvos e ângulo de detecção e também a possibilidade da porta da fonte permanecer aberta ao final do experimento. Também são previstos problemas na rede elétrica e mau-funcionamento do sistema.

Nestas situações, ações para limitar a evolução e consequências da exposição de usuários devem ser praticadas. Desta forma, os seguintes tópicos devem ser contemplados pelo sistema automático de exposição:

- a) Se a porta de entrada da sala de fontes for repentinamente aberta quando a fonte estiver exposta, a porta da fonte deve ser fechada imediatamente pelo sistema;
- b) No caso de falhas na alimentação elétrica do sistema, a porta da fonte deve ser recolhida imediatamente;
- c) Um sistema temporizador deverá fechar a porta da fonte após um período estabelecido;
- d) Em caso de falhas no sistema, deve ser possível a intervenção humana para recolher a porta da fonte até a posição de fechamento de forma simples, segura e rápida.

## Resultados

Após ampla pesquisa, optou-se pela montagem de um sistema microcontrolado devido à complexidade lógica e a possibilidade de comunicação com uma porta serial ou paralela. O sistema microcontrolado é composto de duas partes: *software* e *hardware*. A parte de *software* abrange a implementação dos comandos executados pelo sistema microcontrolado. Sua implementação foi feita em linguagem C, utilizando a IDE mikroC PRO for PIC<sup>5</sup> e gravada com *software* lprog.

A parte de *hardware* envolve os componentes do sistema e seu funcionamento. A arquitetura do *hardware* é composta por um processador, sensores nas portas da fonte e da sala controlada, motor da porta da fonte, trava eletromagnética, *timer*, e lâmpada de sinalização.

Um microcontrolador da família PIC 16F877A foi escolhido para gerir o circuito do sistema de abertura de fonte. Este tipo de microcontrolador é confiável e usado em sistemas industriais de alta demanda. Além disso, apresenta um grande número de entradas e saídas e está bastante disponível no mercado.

Para a abertura e fechamento da porta da fonte, foi definido um servo motor, já que o mesmo possui torque significativo mesmo nos modelos mais simples. Sua instalação é simples e dispõe de limite de curso ( $-90^\circ$ ;  $0^\circ$ ;  $+90^\circ$ ). Este motor rotaciona uma alavanca de cerca de 15 cm, acoplada à porta da fonte.

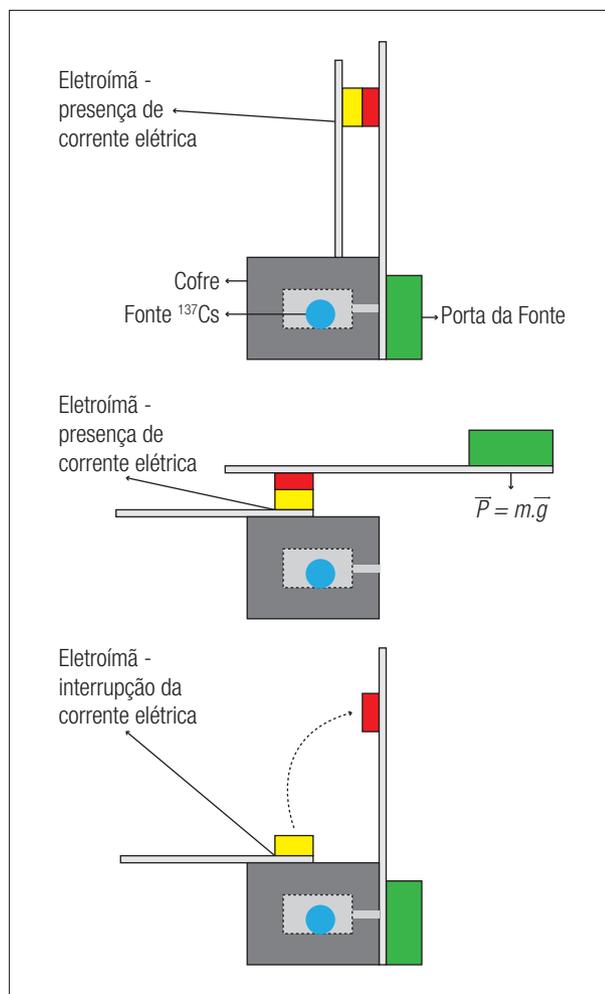
O servo motor escolhido para integrar o sistema é o modelo HS-805BB, marca Hitec, que possui torque de 19,8 kg/cm a 4,8 V e 24,7 kg/cm a 6,0 V.

Uma trava eletromagnética ou eletroímã, modelo 620040400 da marca Kraftmagnet, que vincula o braço do motor à alavanca da porta da fonte, foi a solução encontrada para o fechamento da porta da fonte nas situações de emergência. Uma vez que a corrente elétrica é interrompida no eletroímã, o arranjo é desacoplado sem intervenção lógica ou humana, e o fechamento rápido da porta da fonte acontece pela simples ação da força de gravidade, conforme Figura 2.

No circuito, são utilizados dois sensores tipo chave de fim de curso (*microswitch*). Um dos sensores é utilizado na porta de entrada da área restrita e o outro sensor na própria porta da fonte. *Microswitches* são componentes sensíveis a forças magnéticas de pequenas magnitudes, têm alta durabilidade, baixo custo e são facilmente encontrados no mercado.

O *timer*, ou cronômetro, é o componente do circuito que permite temporizações e contagens no microcontrolador. Este componente é o responsável por contar o tempo em que a fonte está exposta. Se o mesmo ultrapassar quatro horas, tempo de duração normal de uma aula de laboratório, a porta da fonte deve ser fechada. A opção de desligar o *timer* do circuito deve estar disponível, acreditando que alguns projetos de pesquisa possam utilizar um tempo maior de coleta de dados.

A lâmpada de sinalização é simplesmente uma lâmpada vermelha que deve ser acionada pelo microcontrolador durante todo o tempo que a porta da fonte permanecer aberta. Ela é fixa na porta externa da sala do experimento e tem como único objetivo alertar o usuário sobre o risco de exposição.



**Figura 2.** Atuação do eletroímã. (A) Posição de proteção da fonte sob atuação de corrente elétrica. (B) Posição de exposição da fonte sob atuação da corrente elétrica. (C) Posição de proteção da fonte sob interrupção da corrente elétrica.

**Tabela 1.** Check-list dos testes de operação do sistema de exposição da fonte.

Condição de Operação	Tarefa	Status
Normal	Abertura da porta pelo botão	(√) OK
	Acionamento automático da lâmpada de sinalização	(√) OK
	Fechamento da porta pelo botão	(√) OK
Emergência	Fechamento automático da porta após 4 horas contínuas de abertura	(√) OK
	Fechamento da porta da fonte com a abertura repentina da porta da sala do experimento	(√) OK
	Fechamento da porta da fonte com o corte repentino de alimentação elétrica	(√) OK

Um suporte de alumínio foi construído para adaptar o novo sistema à estrutura previamente existente. Um sistema de ajustes deslizantes de aperto rápido permitiu a instalação ágil do suporte, evitando exposição desnecessária à fonte de  $^{137}\text{Cs}$ .

Após a implantação completa do sistema foram realizados testes para avaliar sua eficácia nas condições normais de operação e nas situações de emergência (Tabela 1). O sistema de exposição automática da fonte de radiação respondeu de forma satisfatória a todos os testes executados.

Nas próximas revisões deste projeto, pretende-se implementar redundâncias à segurança do sistema automático de exposição de fonte radioativa, como por exemplo, instalação de câmera e sensor de presença na sala da fonte e alternativas para possíveis falhas dos *microswitches*.

## Discussão e Conclusões

A implantação do sistema microcontrolado para exposição automática da fonte de  $^{137}\text{Cs}$  durante o experimento Espalhamento Compton foi viável na rotina do Laboratório de Ensino em Física Médica do IFGW/UNICAMP. A exposição dos usuários à radiação ionizante durante a troca de alvo e modificações no ângulo do detector foi suspensa com a criação do dispositivo. Além da redução de dose total dos usuários do laboratório, o sistema agrega mais segurança na rotina, já que limita o acesso à fonte e previne exposições acidentais.

Além disso, os testes de operação do sistema, realizados após sua construção, poderão ser utilizados rotineiramente como garantia de funcionamento adequado. Todavia, as redundâncias da segurança do sistema ainda são escassas, e certamente serão melhoradas em uma segunda versão deste projeto.

## Agradecimentos

Agradecemos ao IFGW/UNICAMP que apoiou e financiou todos os custos de execução deste projeto.

## Referências

- Knoll GE. Radiation Detection and Measurement. New York: John Wiley & Sons Inc; 1989.
- Melissinos AC, Napolitano J. Experiments in Modern Physics. New York: Academic Press; 1992.
- International Atomic Energy Agency. International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources - Safety Series No. 115. Vienna: IAEA; 1996.
- Comissão Nacional de Energia Nuclear. Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica – CNEN-NN-3.01. Brasília; 2011.
- MicroC PRO for PIC [homepage on internet]. Belgrade: MikroElektronica, Inc. [cited 2012 Apr 4]. Available from: <http://www.mikroe.com>