

# Espalhamento : Observando o Desconhecido Indiretamente

A. A. Ferreira\*, M. F. Lourenço\*, L. G. Marcassa e V. S. Bagnato

*Instituto de Física de São Carlos - USP  
Caixa Postal 369, 13560-970 São Carlos/SP*

Recebido em 27 de Agosto, 1996

Através do espalhamento elástico de um projétil por um alvo plano podemos determinar a forma e orientação do alvo. Esta é uma forma didática de introduzir, a utilidade da técnica de espalhamento para estudar o desconhecido. Usando isto na prática os conceitos podem ser ainda melhor estabelecidos.

Em física, mais do que em outras ciências, é importante investigarmos o desconhecido através de medidas indiretas. Assim, por exemplo, todo conhecimento que temos a respeito da natureza atômica da matéria, advém da observação indireta do espalhamento de como elétrons, fótons, partículas alfa, etc. O próprio desenvolvimento de como os constituintes atômicos estão arranjados, estabelecendo o chamado 'átomo nucleado', foi obtido através de espalhamento de partículas  $\alpha$  por folhas metálicas finas, feito por Rutherford [1].

A propriedade comum em quase todo espalhamento, é que desconhecemos o alvo, mas conhecemos as propriedades dos projéteis lançados (que podem ser fótons, elétrons, etc) e medimos o resultado do espalhamento que, em geral, é caracterizado por um desvio nas trajetórias iniciais dos projéteis. A análise do que acontece aos projéteis após interagirem com o alvo é a parte mais importante do espalhamento, permitindo obter informações precisas da constituição do alvo, sua distribuição espacial e várias outras informações.

Apesar de ser uma ferramenta de extrema importância em física, a visão do espalhamento normalmente não está bem clara para o estudante do segundo grau ou dos do ciclo básico dos cursos universitários. O estudante pode até saber que para determinar a forma de certos objetos ele precisa, por exemplo, apenas ver a sombra deste quando iluminado (o que constitui um experimento simples de espalhamento de luz), mas o con-

ceito global do fenômeno não lhe está evidente. Existem várias maneiras distintas de se introduzir os conceitos de espalhamento e de como a análise dos resultados nos permite obter informações precisas sobre o alvo.

Aqui estamos propondo mais uma maneira através da qual é possível a determinação de formas geométricas, através do espalhamento elástico de corpúsculo massivo. O entendimento da simples situação mecânica exposta neste trabalho poderá proporcionar, ao estudante iniciante, um conceito mais íntimo com o espalhamento e com as idéias gerais por trás deste efeito. Este experimento pode ser repetido em cursos do segundo grau ou em cursos básicos universitários.

Para iniciarmos nossa discussão, imagine a situação ilustrada na figura 1, onde um dos mais simples experimentos de espalhamento será descrito.

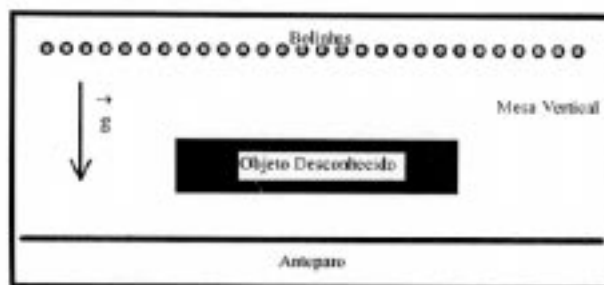


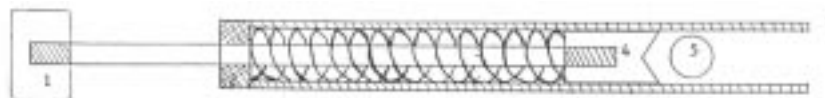
Fig. 1. Experimento simples de espalhamento.

\* Alunos de graduação do IFSC

Numa mesa vertical coloca-se, em sua parte superior, uma seqüência de bolinhas massivas que poderão ser liberadas por queda livre simultaneamente. No caminho de descida elas encontrarão um objeto desconhecido. A região de ausência de bolinhas determina seu tamanho. Se tivermos mais bolinhas atingindo o anteparo de um lado do que de outro, podemos imaginar qual a inclinação referencial do objeto, etc. É possível determinar informações mais precisas, de forma mais quantitativa, medindo quantas bolinhas atingem cada ponto do anteparo e compararmos com a medida feita na ausência do alvo (que deve nos fornecer uma distribuição uniforme de partículas).

Neste trabalho queremos realizar um experimento simples de espalhamento mecânico para investigar a forma de figuras planas desconhecidas.

O experimento será um pouco mais elaborado do que o descrito acima, mas tem o mesmo princípio. Por se tratar de colisões elásticas, as leis da física utilizadas para descrever a interação dos projéteis com o alvo são bastante simples, permitindo a todos os estudantes do segundo grau e/ou do ciclo básico do nível superior entenderem a álgebra aqui utilizadas.



1 - Puxador de alumínio; 2 - Bucha de aço soldada; 3 - Mola flexível; 4 - Bucha móvel de PVC; 5 - Esfera de aço (diâmetro de 1.2 cm); 6 - Cilindro de aço (comprimento de 20.0 cm).

Figura 3: Detalhes do canhão para lançamento dos projéteis.

Como projétil utilizamos uma bolinha de aço de diâmetro 1.2 cm, que após ser colocada no canhão e a mola comprimida, emerge deste sempre com a mesma velocidade. O canhão pode disparar o projétil de qualquer posição da lateral, que denominaremos de eixo X. O lançamento ocorre sempre perpendicular à direção X, isto é, ao longo da direção Y.

Localizado quase que na outra extremidade da mesa e centrado em  $X=0$ , fixamos objetos planos (quadrados, círculos, triângulos e outros). Estes objetos funcionarão

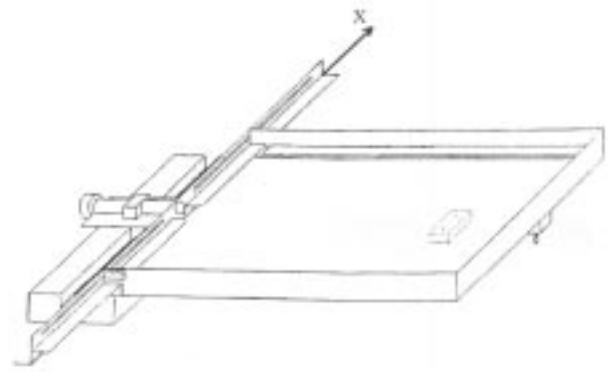


Figura 2. Sistema experimental completo para o experimento de espalhamento elástico de projéteis.

Nosso sistema experimental está mostrado na figura 2. Numa mesa de dimensões 65.5 cm por 45.5 cm fixamos suportes laterais de 5 cm de altura restringindo o espaço disponível aos projéteis a serem utilizados. A superfície da mesa é lisa, podendo ser de cartolina ou fórmica. Uma das extremidades da mesa (com dimensão 45.5 cm) é modificada adaptando-se um trilho de alumínio no qual é montado um “canhão”, o qual está esquematizado na figura 3. O canhão é feito de modo a atirar bolinhas sempre com a mesma velocidade. O trilho de alumínio é feito com cantoneiras, apresentando encaixes com a mesa, permitindo deslizamento de todo o sistema por toda a lateral.

como alvo de espalhamento. Procuraremos determinar a forma do alvo, suas dimensões e orientação, através da observação do espalhamento elástico do projétil com o alvo. Os objetos que servirão como alvo têm sua superfície coberta por borracha, isto para aproximar mais a colisão de ser perfeitamente elástica. Uma vez determinada o tipo de superfície do alvo, via espalhamento das bolinhas lançadas, compararemos o resultado com a forma verdadeira podendo, assim, avaliar quão preciso

e fidedigno foi o experimento.

Todas as partes do sistema experimental, bem como a montagem completa tendo como alvo um círculo ou um triângulo, estão mostradas nas figuras 4a, 4b a 4c.

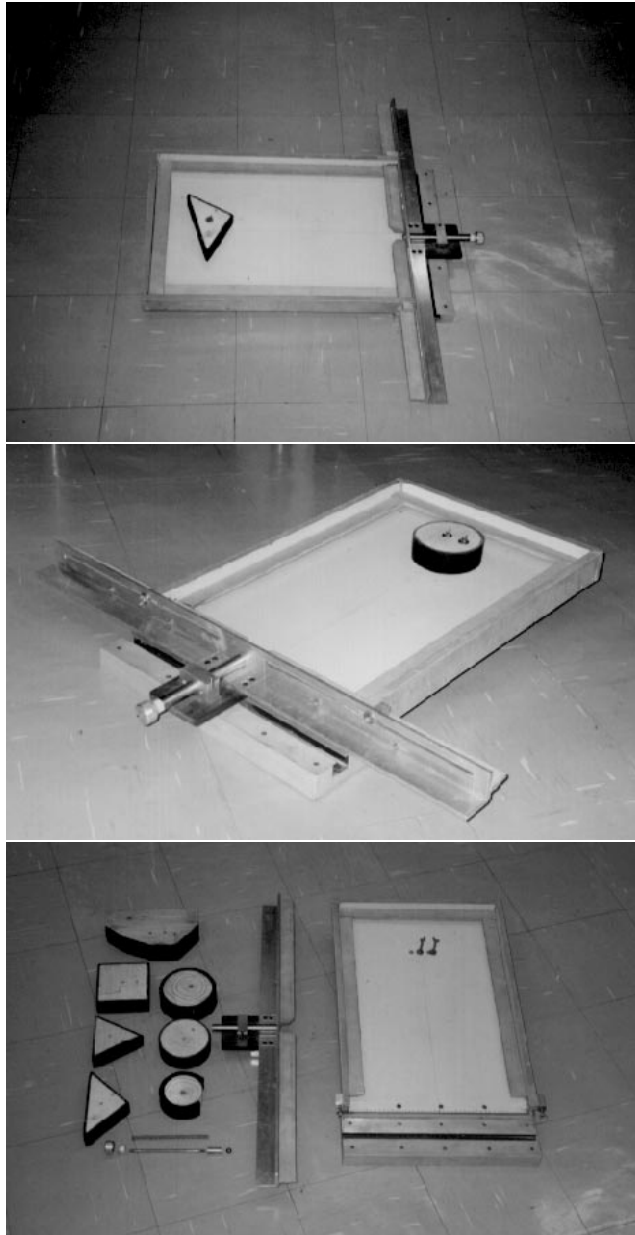


Figura 4. (a) Sistema montado tendo como alvo um triângulo. (b) Tendo como alvo um círculo. O centro geométrico do alvo sempre coincide com  $X = 0$  e (c) todas as partes do sistema.

O experimento de espalhamento é feito da seguinte maneira: para um determinado alvo fixo, realizamos uma série de disparos variando a posição  $X$  do canhão, ou seja, variamos o chamado parâmetro de impacto em relação ao alvo. Para cada disparo, verificamos para onde a partícula é desviada, isto é, em que posição das laterais da mesa o projétil atingirá após a colisão ou

mesmo se a bolinha passou sem ser defletida ou qual a deflexão  $X$  sofrida. Uma análise da posição  $Y$ , da lateral atingida pelo projétil, como função da posição  $X$  de disparo, permitirá determinarmos a forma e a orientação do alvo. Para auxiliar o leitor, a figura 5 resume a situação, mostrando a definição das coordenadas  $X$  e  $Y$  a serem medidas. O alvo está sempre centrado em  $X=0$ .

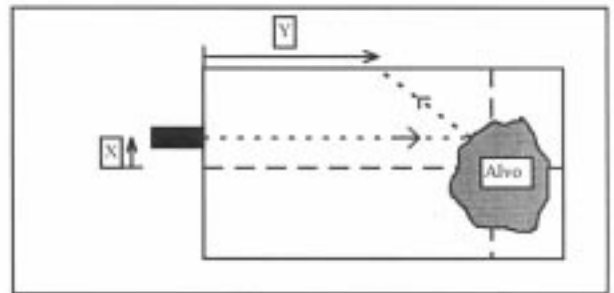


Figura 5. Resumo da situação. Projétil será disparado da posição  $X$  e observaremos a posição  $Y$  que ele alcançará devido a sua interação com o alvo via colisão elástica.

Imaginemos que o alvo apresenta uma determinada superfície plana de orientação  $\theta$ , localizada entre os pontos  $X_1$  e  $X_2$ , como mostra a figura 6. O ângulo  $\theta$  é medido pela normal à superfície com o eixo  $Y$ . Fazemos uma colisão com projétil lançado entre  $X_1$  e  $X_2$ . Neste caso de superfície plana, o ângulo de incidência e de espalhamento, em relação à normal ao alvo, são iguais e são também iguais a  $\theta$ . Supondo agora que a posição de lançamento é deslocada de uma quantidade  $\Delta X$ , isto corresponderá a uma variação  $\Delta Y$  na posição de espalhamento, como pode ser visto. Assim, variando a posição de incidência ( $X$ ), observamos como varia a posição de espalhamento ( $Y$ ). Através do comportamento  $Y(X)$  esperamos encontrar informações sobre a orientação com a superfície.

No caso mostrado na figura 6 (secção plana do alvo) a variação  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  e o ângulo de orientação  $\theta$  podem ser facilmente encontrados através de argumentos geométricos, como sendo:

$$\frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{1}{\sin(2\theta)} \quad (1)$$

Para  $\theta = 0^\circ$  e  $\theta = 90^\circ$ ,  $\Delta Y/\Delta X$  diverge, mas para  $\theta = 45^\circ$ ,  $\Delta Y/\Delta X = 1$ , como era esperado pela geometria da figura 6.

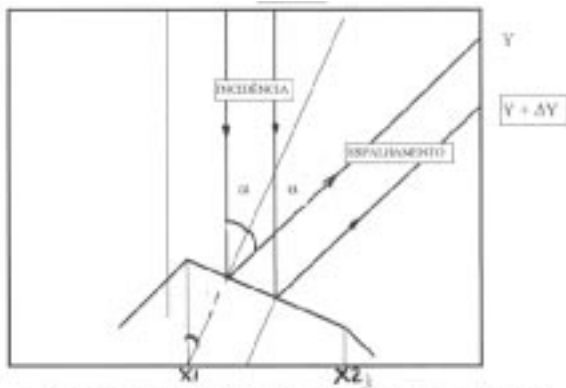


Fig. 6: Espalhamento por uma seção plana do objeto. Trajetórias de incidência paralelas, levaram a trajetórias de espalhamento paralela.

Figura 6. Espalhamento por uma seção plana do objeto. Trajetórias de incidência paralelas levaram a trajetórias de espalhamento paralela.

Assim, uma seção plana do alvo de orientação  $\theta$ , terá um gráfico de espalhamento ( $Y = Y(x)$ ) na forma de uma reta com inclinação  $1/\text{sen}(2\theta)$  entre os pontos de fronteira do plano ( $X1$  e  $X2$ ). Este comportamento persiste entre as partes  $X1$  e  $X2$  sendo, portanto, fácil sua identificação. Caso o alvo seja um sólido geométrico, composto por arestas planas, a curva de espalhamento  $[Y(x)]$  apresentará uma sequência de retas de inclinações distintas. Através da análise destas retas podemos recuperar a forma geométrica do alvo. Isto é exatamente o que muitos cientistas fazem para descobrir informações específicas do alvo estudado.

Caso a superfície do alvo seja um círculo centrado em  $x = 0$  e de raio  $R$ , pode-se desenvolver geometricamente para mostrar que  $\frac{\Delta Y}{\Delta X}(x)$  é uma função decrescente com  $X$  e que depende de  $R$ .

Assim, se no alvo entre os pontos  $x_1$  a  $x_2$  há um círculo de raio  $R$  centrado em  $x = 0$ , a curva de espalhamento  $Y(x)$  mostrará entre estes dois pontos uma curva de inclinação decrescente com  $x$ . A dedução desta expressão fica como exercício ao leitor.

Em resumo, podemos dizer que se o alvo tem face plana de orientação  $\theta$ , a função de espalhamento será

$$Y(X) = \frac{1}{\text{sen}(2\theta)} \quad (3.1)$$

e sua inclinação

$$\frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{1}{\text{sen}(2\theta)} \quad (3.2)$$

mostrando todas as características da função espalhamento  $Y(x)$ .

Já para superfície circular de raio  $R$ , centrada na origem, a curva  $Y(X)$  é mais complexa, porém mostra uma inclinação variável iniciando com grande valor e diminuindo. Na prática nunca temos exatamente  $X = R$ , devido ao tamanho finito do projétil.

Para demonstrarmos as idéias aqui apresentadas, vamos mostrar os resultados experimentais obtidos para vários alvos. A figura 7 mostra a curva de espalhamento para um sólido constituído somente de faces planas. Como podemos observar  $y(x)$  é constituído somente de seções retas de inclinações distintas. Os limites destas regiões denotam também o limite das regiões planas do alvo. Medindo  $\Delta Y/\Delta X$  para cada região, podemos saber a orientação da face. Conectando os pontos com retas seguindo esta orientação recuperamos a forma do alvo.

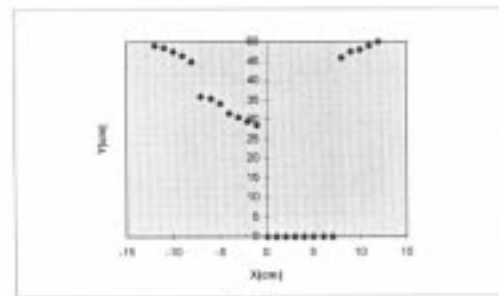


Fig. 7

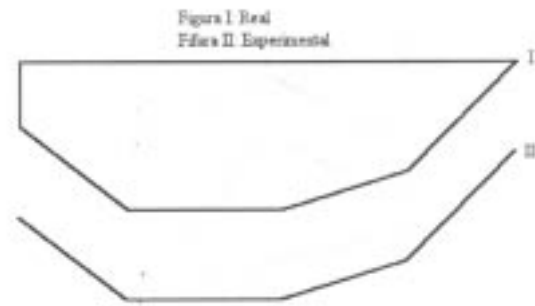


Fig. 8

Na figura 8 mostramos a forma do alvo real (I) e seu formato obtido pela função de espalhamento (II). Este resultado mostra que pudemos obter a forma do alvo sem “praticamente” vê-lo, somente através de informações indiretas obtidas pela resposta ao espalhamento.

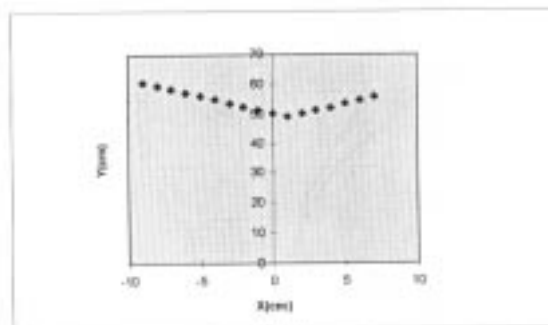


Fig. 9

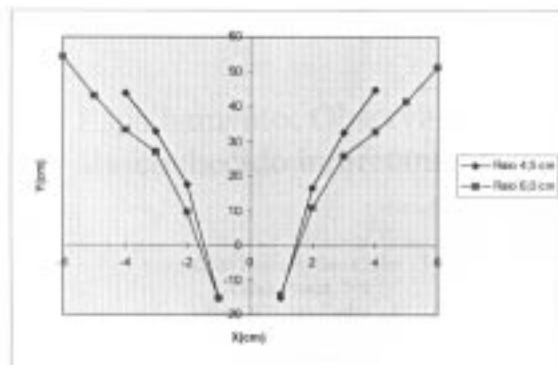


Fig. 11

Figura I: Real  
Figura II: Experimental

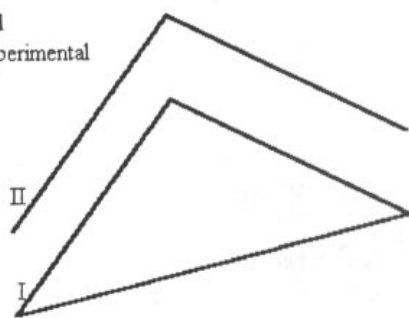


Fig. 10

Um segundo exemplo é um triângulo orientado ao acaso. É mostrado na figura 9 a resposta do espalhamento. Na figura 10 são mostradas a forma real (I) e a obtida pelo espalhamento (II).

No caso do alvo ser um círculo, o resultado obtido para a função espalhamento são mostrados nas curvas da figura 11. As duas curvas mostradas representam círculos de raios diferentes, cujos valores estão indicados. É observado o comportamento como discutido no texto e os raios obtidos a partir da função de espalhamento são próximos dos verdadeiros.

Em conclusão, o objetivo principal deste trabalho é o de transmitir ao estudante a idéia de que muitos dos conhecimentos em física e química sobre a constituição do micromundo ao nosso redor são adquiridos através de observações indiretas do sistema em questão. Em especial, o chamado espalhamento tem sido uma das técnicas mais bem aproveitadas neste sentido. Nunca vimos um átomo isolado mostrando sua estrutura interna. No entanto não temos dúvida de que ele existe, tem a dimensão anunciada e está disposto na forma de um núcleo rodeado por uma nuvem eletrônica. Todo este conhecimento advém de observações feitas através do espalhamento de partículas e campos pelo átomo.

O sistema experimental e exemplos apresentados devem permitir a qualquer estudante absorver facilmente estes conceitos fundamentais e entender de uma forma simples o fascinante mundo de observar o desconhecido indiretamente.

### Referências

- [1.] O espalhamento de Rutherford é tratado em quase todos os livros texto de Física Moderna ou Introdução à Mecânica Quântica.