

O Uso da Internet na Compreensão de Temas de Física Moderna para o Ensino Médio*

Marisa Almeida Cavalcante[†], Anderson Piffer e Patrícia Nakamura

GoPEF - Grupo de pesquisa em Ensino de Física da PUC/SP

e Escola do Futuro/USP-SP

Recebido em 5 dezembro, 2000. Aceito em 5 de fevereiro, 2001.

Este trabalho apresenta uma metodologia na abordagem da *descoberta do núcleo*, tema de extrema importância na história da ciência do século XX e que, em geral, é tratado apenas na disciplina de química no ensino médio brasileiro. Esta abordagem permite aos professores de física e química, trabalhar de forma interdisciplinar, mostrando a interligação existente entre o conteúdo desenvolvido com as diferentes áreas do saber. A metodologia desenvolvida neste trabalho utiliza, além de recursos computacionais disponíveis na Internet, o equipamento construído por Ferreira *et al.*[1] para o estudo da forma geométrica de diferentes alvos, a partir das leis de conservação de momento e energia. Isto permite a observação, de uma maneira simples, de fenômenos clássicos para grandes descobertas da física moderna. Convém notar que este trabalho vai de encontro aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, visto que trata de questões da ciência moderna, utilizando desde recursos experimentais até simulações computacionais de um modo interdisciplinar, permitindo ao aluno desenvolver a capacidade de investigação física utilizando-se de diferentes técnicas de aprendizagem.

This work presents a methodology focusing on the *discovery of the nucleus* theme of extreme importance in the history of the science of the twentieth century, and that, in general, is treated in the discipline of chemistry in the Brazilian high school. This approach allows physics and chemistry teachers working together to develop contents in different areas of knowledge. The methodology uses, besides resources available in the Internet and the equipment, built by Ferreira *et al.* [1], for studying in the geometric form of different targets from the conservation laws of momentum and energy. This assures the application, in a simple way, of classical phenomena to great discoveries of the modern physics. This proposal meets the Brazilian science education standards, since it treats the teaching of modern science, from experimental resources to computers simulations, relating different areas of the knowledge and allowing the student to develop the capacity of physical investigation with different learning techniques.

I Introdução

Em ciências e principalmente em física, nem sempre é possível fazer medições ou investigações diretas a fim de se conhecer o objeto de estudo. Muitas vezes tem-se que recorrer a uma análise ou medição indireta. É assim que conhecemos hoje a estrutura atômica da matéria. Essa investigação é feita através da observação indireta do espalhamento de fótons, elétrons, partículas alfa etc., que bombardeiam o alvo a ser estudado.

É através do conhecimento das características desses projéteis, assim como a análise do desvio de suas trajetórias iniciais, que torna possível conhecer as características do alvo então desconhecido. A Ref. [1] mostra como podemos, através de um experimento de espa-

lhamento mecânico, definir a forma e as dimensões de um objeto desconhecido. Os autores apresentam, como exemplo, a experiência de espalhamento de partículas alfa que possibilitaram a descoberta do núcleo.

No entanto, algumas dificuldades foram detectadas na tentativa de se reproduzir o experimento. Em síntese os problemas apresentados na Ref. [1] foram os seguintes:

- A ausência de recursos disponíveis implica que algumas adaptações experimentais tenham que ser realizadas.

- Devido à pouca importância, que, em geral, o ensino médio atribui ao estudo de temas como leis de conservação de energia e momento, o professor/aluno encontra muita dificuldade para entender a representação

* Este trabalho estará disponível na Internet no *site*, <http://mesonpi.cat.cbpf.br/marisa>, clicando no item *sites* interativos, permitindo maior interatividade do leitor com a proposta apresentada.

[†] marisa@exatas.pucsp.br

gráfica das variáveis envolvidas em um processo de colisão bidimensional. Tal fato foi constatado por nós na disciplina de Instrumentação para o Ensino de Física da PUC/SP (turma de 1999) e em cursos de treinamento de professores

Este artigo apresenta uma proposta que visa a contribuir com o trabalho já desenvolvido na Ref. [1], possibilitando a utilização de recursos computacionais disponíveis gratuitamente na *web*. Detalhamos, através de esquemas ilustrativos, a análise da curva de espalhamento e a identificação do alvo, que foi sugerida na Ref. [1]. A partir desse experimento, seguido do entendimento dos conceitos de espalhamento, o professor pode introduzir tópicos de física moderna, como a investigação da estrutura atômica da matéria por Rutherford [2-5].

II Equipamento utilizado

O equipamento proposto é constituído de um tabuleiro que pode ser de madeira, ou ainda uma “forma de bolo”, e um “canhão” usado para arremessar o projétil. O alvo ou o objeto a ser investigado é fixado no tabuleiro (Fig. 1a). O canhão (Fig. 1b) pode ser deslocado sobre o tabuleiro, ao longo de um eixo x perpendicular à direção de arremesso do projétil, através de trilhos.

No tabuleiro é fixado uma folha de papel carbono e uma folha de papel sulfite onde pretende-se registrar a trajetória do projétil.

A superfície por onde passa o projétil deve ser lisa e com dimensões de aproximadamente 40 x 40 cm. Em suas laterais, são fixados suportes para limitar o espaço disponível para o projétil. Dispomos de uma placa de madeira fina sobre o objeto para que possamos determinar a sua forma, apenas através dos resultados obtidos.

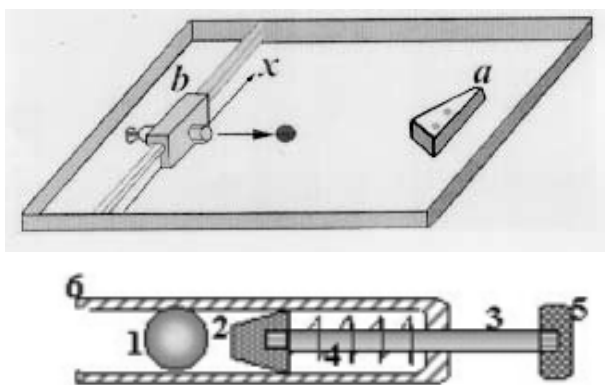


Figura 1. a: Representação do tabuleiro com o canhão e o alvo; b: Canhão que usa como projétil uma esfera de aço.

O canhão¹ é constituído de: esfera de aço (diâmetro de 1,6 cm); bucha de alumínio; haste móvel; mola; puxador de nylon; e cilindro de alumínio.

¹Este canhão foi projetado por um dos autores (AP), aluno da disciplina Instrumentação para Ensino de Física da PUC/SP, onde o projeto foi desenvolvido.

Você também pode utilizar como canhão um brinquedo que utilize um sistema para lançamento de projéteis semelhante ao especificado na Fig. 1b (revólver de material plástico para lançamento de projéteis em alvos).

Os alvos em diferentes formas geométricas podem ser feitos de madeira.

III Realizando o experimento

O experimento de espalhamento é bastante simples. Fixamos folhas de papel carbono e sulfite no tabuleiro, assim como o alvo a ser estudado. Com o canhão realiza-se uma série de disparos variando a posição do impacto sobre a superfície do alvo (posição x). Após vários disparos, retira-se a folha de papel sulfite. Caso seja possível observar com nitidez as diversas trajetórias do projétil, a forma do alvo poderá ser facilmente conhecida. Neste papel observamos uma maior nitidez apenas nas laterais do tabuleiro, onde ocorre o impacto da bola após a colisão. Por esta razão, para descobrir a forma do “alvo” temos que recorrer à análise de dados por representação gráfica. Para cada lançamento anota-se o valor de y , identificando-se o par de ordenadas (x, y) de cada colisão.

IV Análise de dados através da representação gráfica das variáveis do sistema

Como podemos obter informações a respeito da forma do alvo? Uma das dificuldades iniciais encontradas pelos alunos é compreender a relação entre os ângulos indicados na Fig. 2. Para melhor explicitar esta relação, fazemos uma breve analogia deste fenômeno com a reflexão da luz em um espelho plano. Supondo que o alvo é um espelho e girando-o de um ângulo θ , o ângulo de reflexão obtido será igual a 2θ . Isto ocorre porque os ângulos de incidência e reflexão são iguais.

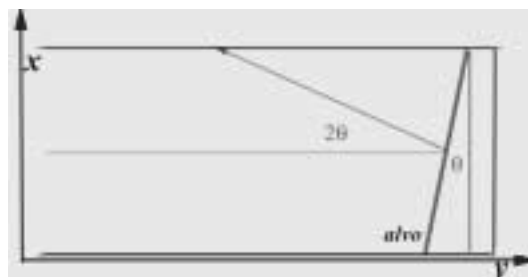


Figura 2. Analogia com a reflexão da luz por um espelho plano.

Devido ao princípio da conservação do momento, o mesmo deve ocorrer quando se efetua uma colisão entre a esfera e o alvo, desde que este alvo esteja fixo.

Suponha que o alvo tenha uma forma desconhecida e que tenhamos apenas a relação entre a coordenada x de lançamento e a coordenada y que define a reflexão da partícula após duas colisões, como mostra a Fig. 3.

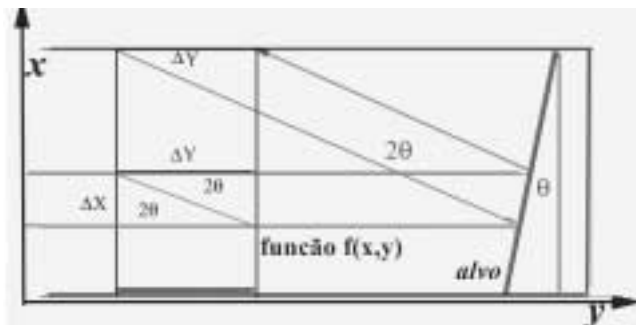


Figura 3. Reflexão após duas colisões.

Podemos verificar na Fig. 3 que através de uma relação entre as variáveis x e y podemos obter o ângulo 2θ , pois $\text{sen}2\theta = \Delta x/\Delta y$. Considere um exemplo de identificação da forma de alvos desconhecidos. A Tabela 1 pode ser obtida fixando-se valores de x (lançamento) e o respectivo valor de y , após a colisão com o alvo. Para cada bolinha incidente medimos, no eixo y , o correspondente valor obtido. Uma observação de extrema importância para a nossa análise é que, para x variando de 2 a 4 cm, os desvios y são obtidos na lateral esquerda do papel, enquanto que, para x variando de 5,5 a 6,5 cm, os desvios y são obtidos na lateral direita do papel:

Tabela 1. Resultados da simulação.

x(cm)	y(cm)
2,0	15,0
3,0	13,8
4,0	12,6
5,5	14,9
6,0	15,4
6,5	15,9

Os valores apontados na Tabela 1 são mostrados na Fig. 4, onde a inclinação de cada reta está indicada nos boxes correspondentes. Para x variando entre 2 e 4 cm a inclinação da reta é $-1,2$ e portanto $[\text{sen}2\theta]^{-1}$. Daí, concluímos que $\theta = -30^\circ$.

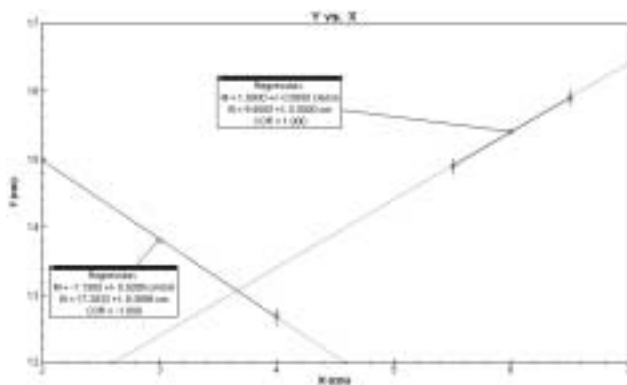


Figura 4. Análise gráfica dos valores da Tabela 1.

Transferindo os resultados da Fig. 4 para a folha de papel utilizada no tabuleiro obteremos o diagrama mostrado na Fig. 5.

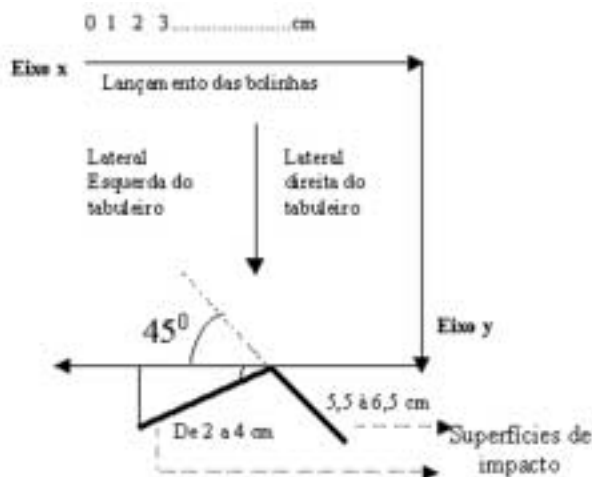


Figura 5. Representação diagramática dos pares ordenados (x, y) da Fig. 4.

Deste modo temos a reprodução dos ângulos formados entre as superfícies de impacto e o eixo de lançamento dos projéteis.

Para experimentos de espalhamento de partículas alfa, a análise dos resultados segue o mesmo princípio, mas a sua execução experimental envolve uma série de dificuldades. Se quisermos reproduzir o experimento original de Rutherford, temos que enfrentar uma série de problemas relacionados a técnicas de contagem de partículas por cintilação como: (a) um bom sistema óptico que garanta a detecção de cada partícula alfa através do seu impacto em lâminas ou depósitos de materiais fluorescentes; (b) a confecção de finas lâminas de metais para alvos (da ordem de 10^{-5} cm); (c) um sistema em alto vácuo.

A seguir, discutimos as contribuições que este experimento trouxe para a ciência no início do século XX e como relacioná-lo com espalhamentos mecânicos.

V Espalhamento de Rutherford

Inicialmente devemos esclarecer que a experiência descrita anteriormente deve servir como um artifício inicial para tratarmos questões tão importantes quanto a descoberta do núcleo atômico, permitindo-nos uma analogia entre os desvios da bolinha e o desvio sofrido por um feixe de partículas alfa [1] lançado contra uma folha fina de metal. Este procedimento ajuda o professor/aluno compreender melhor esta descoberta.

Como seu descobridor em 1897, J.J. Thomson foi o primeiro a incorporar, em 1903, elétrons na estrutura atômica da matéria. Em 1906 propôs um modelo atômico, hoje conhecido como o *pudim de passas*. Neste modelo, o átomo era constituído de uma distribuição contínua de carga positiva, com elétrons inseridos dentro desse pudim, como passas.

Geiger e Marsden, colaboradores de Rutherford, realizaram uma experiência em que incidiam um feixe de partículas alfa sobre uma folha fina de ouro. Atrás dessa folha fina havia um anteparo fluorescente. A figura observada no anteparo era um círculo. Esse efeito era causado pela interação das partículas alfa com os átomos da folha de ouro, fazendo com que estas sofressem um desvio de sua trajetória. Assim como podemos observar as formas de um corpo através da colisão de um outro corpo, foi possível construir um modelo para o átomo. Somente com métodos desse tipo podemos, “observar” o átomo, pois suas dimensões são muito pequenas até mesmo para o mais potente microscópio.

De acordo com a teoria atômica de Thomson a maioria das partículas seriam desviadas em ângulos muito pequenos. Experimentalmente, Geiger descobriu que o ângulo mais provável de deflexão era de 1° . No entanto havia deflexões com ângulos maiores de 10^0 valor este muito maior do que o previsto pelo modelo de Thomson. Rutherford então propôs, em 1911, que a carga positiva do átomo estaria concentrada em um pequeno corpo central (o núcleo), e a carga negativa era formada por Z (designando o elemento químico) elétrons com carga $-e$. O núcleo atômico saía extremamente pequeno (cem mil vezes menor que o tamanho do átomo) e concentraria quase todo peso atômico. Rutherford concluiu que o espalhamento das partículas alfa daria-se à interação eletrostática com o núcleo e o efeito dos elétrons poderia ser desprezado.

De modo a permitir uma maior visão deste experimento ao professor/aluno, propomos em nosso *site*, a utilização do aplicativo desenvolvido por Angel Franco Garcia [6].

A grande maioria dos nossos professores tem pouco contato com computadores e o grau de dificuldade aumenta ainda mais quando nos referimos à utilização de recursos disponíveis na Internet para o ensino. Por esta razão, no *site*, fornecemos todas as informações necessárias para que um leigo possa fazer um *download* e descompactar um arquivo para cada simulação.

A primeira simulação está associada à definição de parâmetro de impacto e a sua dependência com o ângulo de espalhamento, bem como a influência da energia da partícula incidente neste processo. A Fig. 6 retrata o processo de espalhamento de Rutherford.

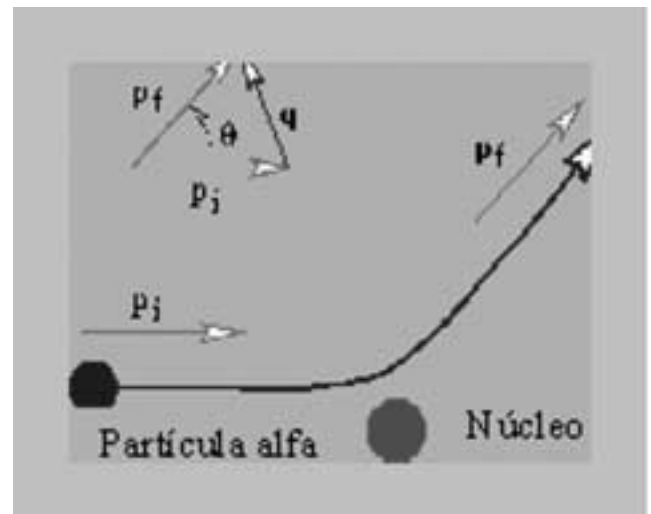


Figura 6. Os momentos p_i e p_f da partícula alfa antes e depois da colisão com o núcleo.

Com esta primeira simulação, espera-se que os alunos estejam aptos a concluir que:

- No espalhamento de Rutherford, as colisões decorrem da repulsão eletrostática entre o núcleo do alvo e a partícula incidente, mostrando uma diferença de natureza interativa entre o experimento realizado e a simulação computacional. Para o experimento realizado no tabuleiro o processo de interação é mecânico, e para as partículas alfa a natureza do fenômeno é eletrostática. No entanto, nos dois casos, as leis de conservação de momento e energia são válidas, o que permite fazer uma analogia bastante satisfatória em descobrir o desconhecido a partir de experimentos de colisões;
- Em um processo eletrostático de repulsão entre o alvo e a partícula, quanto mais próxima do núcleo esta partícula incidir, maior deve ser sua deflexão;
- Partículas de alta energia passam tão rapidamente pelo átomo não deve ocorrer uma grande deflexão. Para energias menores, a interação com o campo Coulombiano produzido pelo núcleo propicia maiores desvios.

VI Simulação do experimento de Geiger - Marsden

Neste aplicativo, um feixe de partículas alfa incide sobre um material e uma tela de cintilação para a detecção das partículas. Estas partículas sofrem deflexões devido à interação com o alvo, e um detector, ao redor da tela, fornece a contagem relativa para cada ângulo. Tanto a energia da partícula quanto o número atômico do alvo podem ser alterados pelo aluno.

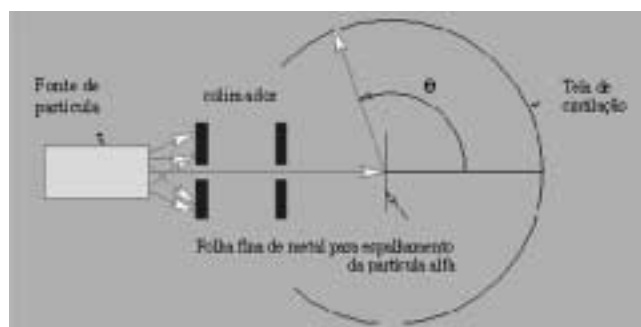


Figura 7. Descrição do experimento de Geiger - Marsden.

A tela de cintilação é necessária para observar o impacto da partícula alfa. Ao colidir com a tela cada partícula alfa produz uma fluorescência que pode ser vista com auxílio de uma luneta. O número de cintilações por segundo era então observada, no experimento original de Geiger e Marsden, para cada ângulo de desvio.

Do mesmo modo que na execução da simulação anterior, há instruções detalhadas no *site* acerca do procedimento a ser adotado para que se possa aproveitar, ao máximo, os recursos do *software*.

Através da simulação, sugerimos que estudos da dependência do espalhamento alfa sejam efetuados em função da energia da partícula incidente e do número atômico do alvo.

Através destes procedimentos, o aluno pode verificar que:

- Deflexões, a ângulos maiores, ocorrerão quanto maior for o número atômico Z do alvo;
- Para um dado material espalhador, teremos deflexões em maiores ângulos para menores valores de energia das partículas alfa;
- Quanto maior a energia da partícula incidente, menor será o desvio da trajetória, pois neste caso diminui o seu tempo de interação com o campo eletrostático de repulsão do núcleo.

Portanto, menores serão os desvios observados para cada partícula individualmente.

Considerando um determinado número de interações; teremos uma maior relação entre o número de partículas que praticamente não sofrem desvio e aquelas que sofrem desvios em ângulos maiores que 10^0 (menor fração para grandes desvios).

VII Conclusão geral e aspectos interdisciplinares

Este trabalho foi desenvolvido visando, dentre outros aspectos, acrescentar novos subsídios ao trabalho da Ref. [1], por três razões básicas:

- Fazer uma interligação direta entre o experimento proposto sobre colisões, assunto abordado no âmbito da física clássica, e a descoberta do núcleo por Rutherford,

fornecendo sobretudo recursos computacionais para um melhor entendimento desta descoberta;

- Contornar algumas dificuldades encontradas pelos alunos no entendimento da representação gráfica da curva de espalhamento e a identificação do alvo;
- A inserção da física desenvolvida no século XX na sala de aula.

Além disso observamos que, na prática, o estudo do espalhamento de partículas alfa pela matéria, e por conseguinte o modelo atômico de Rutherford, é feito na disciplina de química independentemente das conexões óbvias com o conteúdo de física. Para o aluno, em geral, não existe nenhum paralelo entre a física lecionada e a experiência de Rutherford, pois este é um tema associado à química.

Este artigo mostrou como é possível tratar este tema com a devida importância histórica, mostrando ao aluno que a produção do conhecimento se faz através de um processo dinâmico. Este exemplo mostra claramente como a partição didático-pedagógica na “transmissão do conhecimento”, por muitas vezes, acaba retirando a beleza e o fascínio das grandes descobertas científicas. Como salienta Gilbert [5]: *Estamos em uma época em que se faz urgente o resgate desta beleza e deste fascínio.*

Agradecimentos

Ao Prof. Angel Franco Garcia, pela grande contribuição que vem prestando ao ensino de física pela disponibilidade gratuita de várias simulações na Internet e por permitir que estas possam estar disponíveis em nosso *site*.

References

- [1] A.A. Ferreira, M.F. Lourenço, L.G. Marcassa e V.S. Bagnato, *Espalhamento: Observando o Desconhecido Indiretamente*, Rev. Bras. Ens. Fis. **21** (1), 122-126 (1999).
- [2] A.R. Terini, M. Cavalcante, V.E.J. Vicente, e C.E. Paes, *Utilização de Métodos Computacionais no Ensino: A experiência de Geiger e Marsden do Espalhamento de Partículas Alfa*, Caderno Catarinense de Ensino de Física, **11**, 32-42, Abril (1994).
- [3] I. Kaplan, *Física Nuclear*, 2a. Edição, Guanabara Dois, p.42-53. (1978)
- [4] C.A. dos Santos; A. Villani, J.M.F. Bassalo, e R.A. Martins: *Da Revolução Científica à Revolução Tecnológica: Tópicos de História da Física Moderna*, Instituto de Física IFRGS - 1998 - Edição preliminar
- [5] A. Gilbert, *Origens Históricas da Física Moderna*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa (1982).
- [6] Vários *softwares* em Java e para *download* gratuito podem ser encontrados em <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica>.