



AINDA PENSA QUE OS FÍSICOS SÃO COMO O PROFESSOR TORNESOL, DISTRAÍDOS E PREOCUPADOS COM ASSUNTOS SEM INTERESSE, COMO AS ABORRECIDAS OSCILAÇÕES DE UM PÊNDULO? NADA MAIS ERRADO. DESDE GALILEU, OS FÍSICOS, SEMPRE QUE NECESSÁRIO, SAEM DO REFÚGIO MARY POPPINS DO LABORATÓRIO PARA A DUREZA DO MUNDO EXTERIOR. E ARREGAÇAM AS MANGAS. GOSTAM DE PROJECTOS E CAUSAS.

Steven Chu, que se inspirou nas oscilações de um pêndulo para arrefecer átomos com lasers (ver caixa), o que lhe valeu o prémio Nobel da Física de 1997, em conjunto com Claude Cohen-Tannoudji e William D. Phillips, é bem conhecido pela sua preocupação com o aquecimento global. Enquanto director do Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), cargo que ocupa ao momento da nomeação, Steven Chu incentivou a investigação em energias alternativas, em biocombustíveis e em energia solar. São palavras suas: "Tempestades violentas, glaciares a desaparecer, nevões densos, secas prolongadas e aumento do nível do mar trazem o espectro da falta de alimentos e de água. Os sinais claros de mudança climática que vemos alertam-nos para consequências económicas e sociais que afectarão todos, mas em especial os pobres."

Por isso não é de estranhar que Barack Obama tenha escolhido Steven Chu para responsável máximo da Ciência na nova administração. É o primeiro prémio Nobel a ocupar o cargo, que, por razões intrínsecas à história da ciência americana, se designa por Secretário de Estado da Energia. Steven Chu vai ser a grande autoridade do DOE (*Department of Energy*) - o maior financiador público da investigação científica nos Estados Unidos. Depois dos chuzeiros de esperança da campanha eleitoral, já eleito, com esta nomeação Obama rega o mundo, aquecido por crises várias e a mudança climática, com um spray mágico que pode vir a diminuir o efeito de estufa.

O spray mágico de Obama

A nomeação de Steven Chu

Teresa Peña

Em Portugal temos hoje um físico como ministro da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior. Mas nos Estados Unidos o entrelaçamento entre ciência e política veio com os "*founding fathers*", Thomas Jefferson e principalmente Benjamin Franklin, cientista pioneiro no domínio da Electricidade, emergente no século XVIII, e também, como bom iluminista, activista cívico, diplomata e político. No século XIX, Nikola Tesla, Thomas Edison, Alexander Graham Bell transformaram a Electricidade de ciência de salão em engenharia electrotécnica, criando a 2ª revolução industrial. A energia eléctrica, motor ainda do modo de vida de hoje, ajudou à democratização e acesso ao bem estar.

No século XX, o vendaval da segunda grande Guerra varreu os cientistas das melhores universidades americanas para os concentrar em *Los Alamos* num projecto científico-militar, o projecto *Manhattan*. Conduziu à bomba atómica, onde os núcleos dos átomos explodem libertando a enorme energia concentrada. Só o horror do calor dos átomos fez parar o horror da guerra. O pavor a um poder destrutivo inimaginável impôs a paz e a Agência Internacional da Energia Atómica (IAEA) foi criada para garantir uma utilização pacífica da energia atómica. O físico Robert Oppenheimer, o líder científico de Los Alamos, foi nomeado consultor da IAEA. Ao contrário do que Oppenheimer queria, mais tarde a IAEA passou apenas a executar o Tratado de Não Proliferação, assinado para limitar o acesso ao arsenal nuclear, e impor a paz através de um equilíbrio das capacidades em armamento nuclear, uma segurança em que Oppenheimer não acreditava. Se foi a 2ª guerra que trouxe a física (e Oppenheimer) para a política, alguns físicos (como Edward Teller, e já não Oppenheimer) trouxeram a política da guerra fria. Esta fez cair a cortina de ferro tecida com as redes da espionagem. A pressão foi muitas vezes aliviada pelo humor, por exemplo, na caricatura dos filmes de Bond, James Bond, 007, e nos tiques trágico-cómicos da comédia negra Dr. Strangelove de Stanley Kubrick.

O século XXI acordou do optimismo resultante do progresso de mais de 60 anos de paz e da multiplicação das democracias na Europa, para a vulnerabilidade do Terra às emissões



de CO₂ e o carácter finito dos recursos energéticos do planeta. Com a agravante de ainda existirem biliões de pessoas sem electricidade no mundo, mais de um século depois de Edison e Tesla. Estudos de 2006 mostraram que em 2050 será necessário obter pelo menos 60% da capacidade de potência energética de outras fontes que não os combustíveis fósseis, como a energia solar, eólica, ou nuclear.

Neste cenário, Steven Chu à frente do DOE é uma mudança que pode criar um novo projecto *Manhattan* juntando muitos cientistas. São palavras dele: “O caminho para encontrarmos soluções é reunir as mentes melhores e e mais apaixonadas para trabalhar no problema num esforço coordenado, dando aos investigadores os recursos adequados ao desafio”. Desta vez o desafio não é acabar uma guerra. Mas impedir muitas guerras. “*I am not opposed to wars. I am opposed to dumb wars*”, disse Obama em 2002 referindo-se à Guerra do Iraque. O desafio é encontrar soluções novas para produção, armazenamento, distribuição e eficiência de energia, e inverter as alterações climáticas.

Apesar das acções de Al Gore, nos Estados Unidos apenas o actor de Hollywood Arnold Schwarzenegger, teve visão e poder para criar soluções legislativas felizes para este problema (infelizmente reduziram-se à Califórnia). O cyborg do *Terminator 2* que Schwarzenegger representou era dotado de um CPU baseado em supercondutores capaz de aprender com os humanos. Mas “*Mr. Chu goes to Washington*” pode vir a ser um filme mais interessante que *Terminator 2*, pois Steven Chu doutorou-se em Berkeley, trabalhou nos laboratórios Bell, em Stanford e no LBNL, já arrefeceu átomos com lasers e manipulou moléculas de ADN, e portanto não vai perder tempo ainda para aprender. Americanos e não-Americanos, físicos ou não, podemos estar contentes com a escolha de Obama, e ter esperança na próxima cimeira pós-Quito.



O PAPEL DO PROFESSOR DO ENSINO SECUNDÁRIO (MEMÓRIAS DE STEVEN CHU)

“O meu professor de física na escola secundária, Thomas Miner, era particularmente dotado. Ainda hoje me lembro como ele apresentava a física. Dissemos que iam lidar com questões muito simples e que o pequeno conjunto de questões que a física podia resolver podia parecer trivial quando comparado com as preocupações humanísticas. (...) O Sr. Miner também encorajava projectos laboratoriais ambiciosos. Durante grande parte do meu último semestre na escola secundária de Garden City, construí um pêndulo e usei-o como instrumento de precisão para medir a gravidade. (...) Vinte anos depois, iria desenvolver uma versão refinada desta medição, usando átomos arrefecidos com laser.”



Teresa Peña é Professora do IST, Vice-Presidente da Sociedade Portuguesa de Física, e directora editorial da Gazeta de Física. Faz investigação em Física Hadrónica e Nuclear e é co-autora, entre outros, do livro “Núcleo, uma viagem ao coração da matéria”.



O coeficiente de restituição

para uma colisão não frontal

Vitor Manuel Figueiredo Pereira,
Escola Secundária de Seia

Manuel Fernando Ferreira da Silva,
Departamento de Física
da Universidade da Beira Interior

No âmbito do estudo da Lei de Conservação do Momento Linear para o Ensino Secundário, introduz-se o grau de inelasticidade de uma colisão “medido” através de um parâmetro chamado coeficiente de restituição (e). No entanto, a definição dada nos manuais em uso, além de muitas vezes pouco rigorosa é válida só para colisões frontais, e nessas enfatizam-se apenas os dois casos extremos: colisões elásticas ($e=1$) e perfeitamente inelásticas ($e=0$). Neste artigo propomos o estudo e a análise de colisões não frontais para o Ensino Secundário. Será ainda discutida uma situação típica simples e proposta a realização de uma actividade prática, o jogo de *snooker*, para explorar de modo lúdico o significado daquele parâmetro.

O INTERESSE DAS COLISÕES A DUAS DIMENSÕES NÃO ELÁSTICAS NEM PERFEITAMENTE INELÁSTICAS

O Programa de Física para o 12.º Ano [1] inclui, na Unidade I – Mecânica, o tema “Centro de Massa e Momento Linear de Sistemas de Partículas”, em que se aplica a Lei de Conservação do Momento Linear. Para não se gerar a ideia de que esta lei apenas se aplica a colisões, é proposta também a análise

de situações de conservação que não sejam colisões (um exemplo é uma explosão [2]-[5]). Quanto às colisões, o grau de elasticidade, para além de estar definido de forma pouco rigorosa em todos os manuais escolares, é usado, exclusivamente, para a análise de colisões a uma dimensão, o que reduz o seu significado físico. Depois, na prática, os manuais acabam por tratar apenas os casos para o coeficiente de restituição $e=1$ (colisão elástica) e $e=0$ (colisão perfeitamente inelástica). No primeiro caso, na resolução de exercícios/problemas de exploração e análise da conservação do momento linear, o coeficiente de restituição nem sequer é utilizado, pois usa-se, normalmente, a conservação da energia cinética. Nas situações correspondentes ao segundo caso, a resolução de exercícios/problemas permite concluir que aquele coeficiente é nulo, não sendo possível extrair mais nenhuma consequência física relevante, a não ser que, após o choque, os corpos se movem juntos.

De facto, as situações físicas mais interessantes que enfatizam e reforçam o significado físico do coeficiente de restituição, são as que dizem respeito a colisões inelásticas a duas dimensões para as quais $0 < e < 1$. No entanto, estes casos, quando abordados no Ensino Secundário, referem-se a situações físicas de colisão oblíqua entre dois corpos, sem se referir explicitamente que o são. Assim, na resolução de exercícios de aplicação, são fornecidos todos os dados necessários (massas dos corpos, velocidades iniciais e,

por exemplo, os ângulos de deflexão dos corpos após o choque, relativamente a uma direcção bem definida que, normalmente, coincide com a trajectória do centro de massa de um dos corpos). De seguida, definindo um sistema de referência inercial, aplica-se a lei de conservação do momento linear ao sistema em estudo e, atendendo ao carácter vectorial desta lei, resultam duas equações com apenas duas incógnitas: os módulos das velocidades dos corpos após o choque. Sendo o sistema de equações resolúvel analiticamente, a partir das soluções encontradas é possível exprimir a velocidade de cada corpo após a colisão, em relação ao referencial inercial previamente escolhido. Com esta estratégia contorna-se a necessidade do uso explícito do coeficiente de restituição.

Quanto a trabalho laboratorial, o caso de choque frontal inelástico envolvendo o conceito de coeficiente de restituição é tratado nos manuais apenas quando um dos corpos intervenientes na colisão se encontra em repouso relativamente a um referencial inercial. Um exemplo disso é o que acontece na realização do Trabalho Laboratorial TL 1.4 COLISÕES, de carácter obrigatório, no qual se propõe a determinação experimental do coeficiente de restituição de dois materiais que colidem: um carrinho que se move sobre uma calha de ar e uma parte fixa dessa mesma calha. Um outro exemplo é o caso de uma bola que se deixa cair sobre o chão a partir de uma certa altura, actividade conhecida por “bola saltitona”.

Em complemento, aqui propomos uma outra actividade prática, lúdica mas didáctica, para levar mais longe a exploração deste tópico, proporcionando aos alunos situações de aprendizagem ancoradas nas suas experiências quotidianas dos fenómenos físicos.

AS TRANSFORMAÇÕES DE ENERGIA NUM CHOQUE

Um choque entre corpos envolve a deformação destes e a sua posterior recuperação, a qual só terá lugar na condição do choque não ser excessivamente violento. Num choque ocorre aumento da energia interna dos corpos, como consequência da conversão de parte da energia cinética inicial em energia potencial associada à deformação, elástica ou permanente, e é produzido som devido à vibração da estrutura interna de cada um dos corpos. Isto acarreta uma diminuição da energia cinética inicial do sistema de corpos, excepto se a colisão for elástica. Nesta ocorre uma restituição total da energia cinética após o choque pelo facto de toda a energia potencial elástica de deformação se reconverter em energia cinética.

Pode-se pois em geral considerar que um choque se decompõe em dois períodos distintos: primeiro um período de deformação ou compressão, que ocorre no intervalo $[0, t_d]$ até se atingir a deformação máxima dos corpos compatível com a energia cinética inicial, seguido de um período de recuperação, no intervalo $[t_d, t_c]$ onde acontece a restituição (*total* – colisão elástica; *parcial* – colisão inelástica; *nula* – colisão perfeitamente inelástica) da energia cinética inicial, sendo t_c o tempo de contacto ou a duração total do choque.

O CASO A UMA DIMENSÃO: CHOQUE FRONTAL

Consideremos o caso simples do movimento colinear de duas esferas do mesmo tamanho, de massas m_1 e m_2 , como ilustra a Fig. 1.

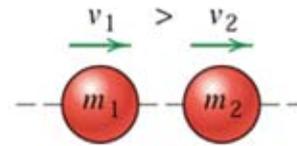


Figura 1 - Choque frontal entre duas esferas; situação antes do choque.

Se $v_1 > v_2$, ocorre colisão e as forças de contacto têm uma direcção que passa pelo centro das esferas – o choque diz-se *frontal*. As velocidades são aqui tratadas como quantidades escalares, e arbitrariamente considerados como positivas para a direita e negativas para a esquerda. Imediatamente após o contacto inicial, ocorre o período de deformação, no intervalo de tempo $[0, t_d]$, até a área de contacto entre as esferas parar de aumentar. No instante t_d , correspondente à deformação máxima durante o choque, as esferas movem-se com a mesma velocidade v_0 (Fig. 2).

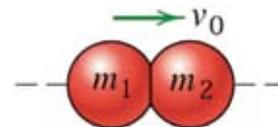


Figura 2 - Choque frontal entre duas esferas; situação em que ocorre a deformação máxima.

No intervalo de tempo $[t_d, t_c]$ tem lugar o período de recuperação, durante o qual a área de contacto diminui até se anular. Após a perda de contacto, as esferas têm novas velocidades, v_1' e v_2' , para as quais se verifica $v_1' < v_2'$ (Fig. 3).

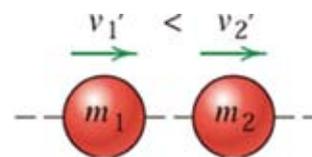


Figura 3 - Choque frontal entre duas esferas; situação após o choque.

Se o choque não for excessivamente violento e se a deformação provocada nas esferas durante o contacto for altamente elástica, durante o período de recuperação as esferas regressam à sua forma inicial. Para choques de maior violência envolvendo corpos menos elásticos, pode resultar uma deformação permanente. Como as forças de contacto são iguais e opostas durante o choque, constituindo um par

acção – reacção, o momento linear total do sistema conserva-se: é o resultado do Teorema do Impulso e do Momento Linear para um sistema de partículas: a variação do momento linear de um sistema é igual ao impulso produzido pelas forças exteriores,

$$I_{\text{ext}} = \Delta p_{\text{sist}}, \quad (1)$$

onde, explicitamente,

$$I_{\text{ext}} = \int_{t_0}^{t_f} F_{\text{ext}}^{\text{res}} dt, \quad (2)$$

sendo $F_{\text{ext}}^{\text{res}}$ a resultante das forças exteriores. Para os alunos do ensino secundário, a relação (1) é entendida através do conceito de força média envolvida no intervalo de tempo em que ocorre o contacto entre os corpos (isto é, durante a colisão). Aplicando a Lei de Conservação do Momento Linear resulta a equação escalar

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'. \quad (3)$$

Para que esta equação seja válida, temos de admitir que o impulso produzido pelas forças exteriores sobre o sistema é desprezável face ao momento linear inicial do sistema¹.

A CAPACIDADE DE RECUPERAR A ESTRUTURA DEPOIS DO CHOQUE É O COEFICIENTE DE RESTITUIÇÃO

Conhecidas as massas das esferas e as condições cinemáticas iniciais, a eq. (2) contém duas incógnitas: v_1' e v_2' . Precisamos de uma relação adicional para determinar as velocidades das esferas após o choque. Esta relação deve traduzir a capacidade das esferas em recuperar do choque, e pode exprimir-se através do quociente entre a intensidade do impulso produzido pelas forças de contacto no período de recuperação e a intensidade do impulso gerado no período de deformação por aquelas forças¹. Este quociente chama-se coeficiente de restituição (e). Designemos por F_d e F_r , respectivamente, as intensidades das forças de contacto durante os períodos de deformação e de recuperação, como mostra a Fig. 4.

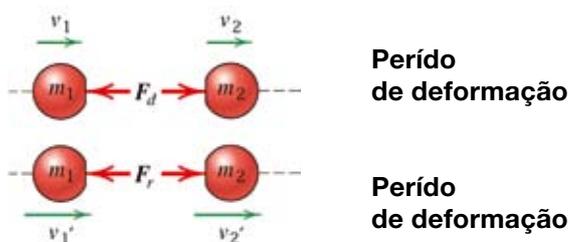


Figura 4 - Forças de contacto durante o choque frontal entre duas esferas.

Atendendo à definição do coeficiente de restituição, este parâmetro é adimensional; na prática, $0 \leq e \leq 1$. Para a esfera 1, usando a definição de e e conjuntamente com (1), podemos escrever

$$e = \frac{I_r}{I_d} = \frac{\int_{t_0}^{t_f} F_r dt}{\int_{t_0}^{t_f} F_d dt} = \frac{m_1[-v_1' - (-v_0)]}{m_1[-v_0 - (-v_1)]} = \frac{v_0 - v_1'}{v_1 - v_0} \quad (4)$$

Analogamente, para a esfera 2, temos

$$e = \frac{I_r}{I_d} = \frac{\int_{t_0}^{t_f} F_r dt}{\int_{t_0}^{t_f} F_d dt} = \frac{m_2[v_2' - v_0]}{m_2[v_0 - v_2]} = \frac{v_2' - v_0}{v_0 - v_2}. \quad (5)$$

Devemos ser cuidadosos nestas equações ao expressar a variação do momento linear de cada esfera, $\Delta p_1 = m_1 \Delta v_1$ e $\Delta p_2 = m_2 \Delta v_2$, no sentido do correspondente impulso. Eliminando v_0 em (3) e (4) resulta

$$e = \frac{v_2' - v_1'}{v_1 - v_2}, \quad (6)$$

ou seja, e corresponde ao quociente entre o módulo da velocidade relativa de afastamento e o módulo da velocidade relativa de aproximação. Os valores das velocidades podem ser positivos ou negativos, pois isso só depende do referencial escolhido, mas o valor de e é sempre positivo. Este parâmetro de colisão é considerado uma constante para geometrias conhecidas e uma dada combinação de materiais. Isto não é rigoroso, pois o coeficiente de restituição depende da velocidade relativa do choque e aproxima-se da unidade quando a velocidade relativa do choque tende para zero. Assim sendo, os valores de e relativos a determinados pares de materiais que são apresentados em tabelas não se aplicam sempre.

Se numa colisão forem conhecidas as massas dos corpos, as velocidades iniciais e o coeficiente de restituição, então as equações (2) e (5) permitem a determinação de v_1' e v_2' .

COLISÕES NÃO FRONTAIS OU OBLÍQUAS

Numa colisão não frontal, as velocidades iniciais não estão na linha que une os centros dos corpos. Consideremos a Figura 5(a) que mostra dois corpos esféricos, com velocidades iniciais v_1 e v_2 , em rota de colisão.

1 Sendo o tempo de actuação da força muito pequeno, isto é, quando na prática a interacção é instantânea, a condição verifica-se sempre que a força seja finita (N.E.) Lisboa, colisão; ver [7].

2 Seguimos de perto [6]. Existem outras maneiras de definir este parâmetro para uma colisão; ver [7].

COLISÃO (PERFEITAMENTE) ELÁSTICA

Neste tipo de colisão, a capacidade de recuperação dos corpos após o choque é igual à sua capacidade para se deformarem. Logo, nestas colisões não ocorre diminuição da energia cinética total do sistema, permanecendo o seu valor inalterado – **conservação da energia cinética**. Usando as equações (2), (5) e a conservação da energia cinética

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2, \quad (7)$$

é fácil verificar que, neste caso, $e=1$ e que as velocidades dos corpos após a colisão são

$$v_1' = \frac{v_1(m_1 - m_2) + 2m_2 v_2}{m_1 + m_2} \quad e \quad (8)$$

$$v_2' = \frac{v_2(m_2 - m_1) + 2m_1 v_1}{m_1 + m_2}. \quad (9)$$

COLISÃO PERFEITAMENTE INELÁSTICA

Nos choques perfeitamente inelásticos (ou plásticos) ocorre a diminuição máxima da energia cinética e, por isso, os corpos ficam unidos após a colisão, adquirindo a mesma velocidade final. Isso significa que a velocidade relativa de afastamento dos corpos é nula e, conseqüentemente, este tipo de colisões é descrito por $e=0$. Como neste caso a energia cinética do sistema não se conserva, para determinar v_1' e v_2' basta fazer uso da equação (2) tendo em conta que $v_1'=v_2'$, resultando

$$v_1' = v_2' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}, \quad (10)$$

correspondente à velocidade do centro de massa do sistema.

COLISÃO INELÁSTICA

As colisões mais comuns que ocorrem à nossa volta situam-se entre os dois extremos referidos anteriormente. Designam-se por colisões inelásticas e são descritas por um coeficiente de restituição situado no intervalo $0 < e < 1$. Nesta situação a energia cinética diminui sempre, tanto mais quanto mais pequeno for o valor de e . Usando as equações (2) e (5) e alguma manipulação algébrica, obtém-se

$$v_1' = \frac{v_1(m_1 - em_2) + m_2(1+e)v_2}{m_1 + m_2} \quad e \quad (11)$$

$$v_2' = \frac{v_2(m_2 - em_1) + m_1(1+e)v_1}{m_1 + m_2}. \quad (12)$$

Sendo este o caso mais geral, as eqs. (8) e (9) podem ser obtidas directamente a partir de (11) e (12) substituindo nestas $e=1$, e a eq. (10) resulta após substituir $e=0$.

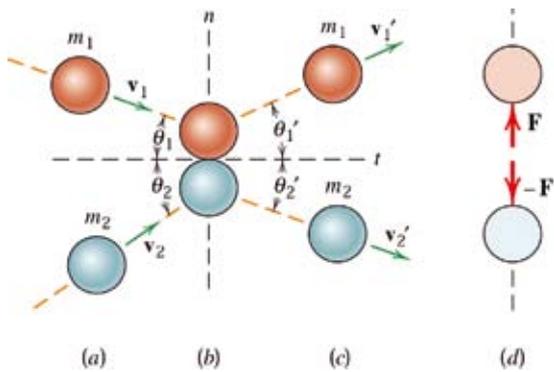


Figura 4 - Forças de contacto durante o choque frontal entre duas esferas.

As direcções dos vectores velocidade são medidas em relação à direcção tangente à superfície de contacto [Fig. 5(b)]. As componentes das velocidades iniciais segundo os eixos t (tangencial) e n (normal) são:

$$v_{1t} = v_1 \cos \theta_1; v_{1n} = -v_1 \sin \theta_1 \quad (13)$$

$$v_{2t} = v_2 \cos \theta_2; v_{2n} = v_2 \sin \theta_2. \quad (14)$$

A Fig. 5(c) mostra as condições após a colisão. As forças de contacto, F e $-F$, são ilustradas na Fig. 5(d). A intensidade de cada uma destas forças [Fig. 5(e)], varia desde zero, no início do contacto, aumentando no período de deformação até atingir o seu máximo no instante t_d , voltando a diminuir durante o período de recuperação até se anular, no instante t_c . Dados os valores de m_1 e m_2 e as condições iniciais v_{1t} , v_{1n} , v_{2t} , e v_{2n} , temos quatro incógnitas, v'_{1t} , v'_{1n} , v'_{2t} , e v'_{2n} , necessárias para a descrição da cinemática final. Precisamos, pois, de quatro equações que se obtêm do seguinte modo:

1ª e 2ª equações – na direcção t , o impulso produzido sobre cada corpo é nulo, pois nessa direcção não há forças aplicadas; de $I = \Delta p$ resulta $\Delta p = 0$ para cada corpo, logo o momento linear de cada um deles conserva-se segundo esta direcção, resultando

$$v_{1t} = v'_{1t} \quad (15)$$

$$v_{2t} = v'_{2t}; \quad (16)$$

3ª equação – na direcção n tudo se passa como se de um choque frontal se tratasse, conservando-se o momento linear do sistema nessa direcção

$$m_1 v_{1n} + m_2 v_{2n} = m_1 v'_{1n} + m_2 v'_{2n}; \quad (16)$$

4ª equação – como já observámos, segundo a direcção n tudo se passa como no choque frontal; logo, por generalização, o coeficiente de restituição para a colisão não frontal é

$$e = \frac{v'_{2n} - v'_{1n}}{v_{1n} - v_{2n}} \quad (18)$$

Conhecendo e , m_1 , m_2 , v_{1t} , v_{1n} , v_{2t} , e v_{2n} , (ou, equivalentemente, v_1 , v_2 , θ_1 e θ_2), as quatro equações (15), (16), (17) e (18) permitem a determinação de v'_{1t} , v'_{1n} , v'_{2t} , e v'_{2n} , o que, por sua vez, permite obter facilmente v'_1 , v'_2 e os ângulos θ'_1 e θ'_2 .

COLISÕES NÃO FRONTAIS OU OBLÍQUAS

Considere-se o seguinte enunciado:

Na mesa de snooker da figura pretende-se inserir a bola B no buraco lateral D , sabendo que a bola deverá ressaltar na tabela. Desprezem-se os efeitos de rolamento e os atritos entre a bola e a mesa. Determine a localização x do ponto C , em função da distância d , e particularize para os seguintes coeficientes de restituição relativos ao par de materiais bola + tabela: a) $e=1$; b) $e=0,8$.

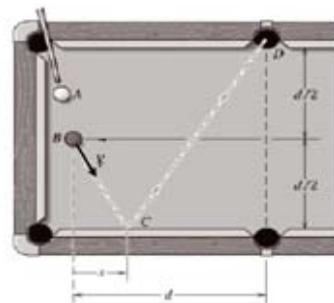


Figura 6 - Aplicação ao jogo de snooker.

Trata-se de um exercício de aplicação [7, p. 221; 3/256] que facilmente se poderá transformar num problema bastando, para isso, solicitar aos alunos que investiguem quais os factores de que dependerá, explicitamente, a localização do ponto C sem fornecer quaisquer dados sobre o coeficiente de restituição.

COLISÕES NÃO FRONTAIS OU OBLÍQUAS

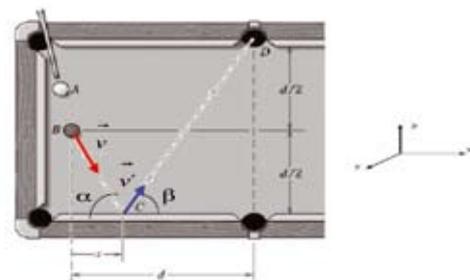


Figura 7 - Análise da colisão entre a bola e a tabela da mesa.

De acordo com o sistema de referência escolhido, a direcção x é o eixo tangencial e a direcção y é o eixo normal. Corpo 1 – Bola (m_B): $v_1=v$, $v'_1=v'$; corpo 2 –



Tabela: $v_2 = v'_2 = 0$.

Da análise da configuração representada na Fig. 7 resulta:

$$\tan \alpha = \frac{d/2}{x} = \frac{d}{2x} \quad (19)$$

$$\tan \beta = \frac{d}{d-x}, \quad (20)$$

$$v = v \cos \alpha \hat{i} - v \sin \alpha \hat{j} \text{ e } v' = v' \cos \beta \hat{i} + v' \sin \beta \hat{j}. \quad (21)$$

O coeficiente de restituição para o par de materiais bola+tabela, de acordo com (18), é dado pela relação

$$e = \frac{v'_{2n} - v'_{1n}}{v_{1n} - v_{2n}} = \frac{0 - v' \sin \beta}{-v \sin \alpha - 0} = \frac{v' \sin \beta}{v \sin \alpha}, \quad (22)$$

resultado

$$v' \sin \beta = e v \sin \alpha. \quad (23)$$

O momento linear da bola é conservado na direcção x , uma vez que segundo esta direcção não há força exterior a actuar sobre a bola, isto é,

$$I_{1x} = \Delta p_{1x} \Rightarrow p_{1x_i} = p_{1x_f} \Leftrightarrow m_B v \cos \alpha = m_B v' \cos \beta, \quad (24)$$

obtendo-se a relação

$$v \cos \alpha = v' \cos \beta. \quad (25)$$

Dividindo membro a membro a equação (23) pela equação (25) resulta

$$\tan \beta = e \tan \alpha. \quad (26)$$

A equação (26) permite concluir que a relação entre os ângulos depende exclusivamente do coeficiente de restituição e como, por definição, $0 \leq e \leq 1$, verifica-se, facilmente, que $\alpha \geq \beta$. O caso $e=1$ (colisão elástica) está associado à "lei da reflexão" $\alpha = \beta$.

Partindo da equação (26) e usando (19) e (20), resulta

$$x = \frac{e}{2+e} d \quad (27)$$

CONCLUSÕES A RETIRAR:

- colisão elástica: $e = 1 \Rightarrow \alpha = d/3$;
- colisão inelástica: $e = 0,8 \Rightarrow \alpha = 2d/7$.
- quanto mais elevado for o valor de e (isto é, quanto mais próxima de uma colisão elástica for a colisão), maior será a localização x ;
- se a colisão for elástica ($e=1$), $\alpha = \beta \approx 56^\circ$;
- quando $e < 1$, verifica-se $\tan \beta < \tan \alpha \Leftrightarrow \alpha > \beta$;
- quanto mais pequeno for o valor de e , menor será o ângulo β e maior será o ângulo α . No limite $e \rightarrow 0$ (colisão perfeitamente inelástica), $\beta \rightarrow 45^\circ$ e $\alpha \rightarrow 90^\circ$.

É interessante para os alunos testar todas estas conclusões através do jogo de snooker. Propomos, por isso, que utilizem uma mesa de snooker, usando bolas de diferentes coeficientes de restituição relativamente à tabela da mesa de jogo. Este contexto lúdico é também uma actividade didáctica através da qual os alunos serão conduzidos a uma compreensão do papel desempenhado por e nas colisões inelásticas a duas dimensões que, de resto, ocorrem frequentemente. A posição inicial da bola deverá variar sobre a mesa, assim como o buraco onde se pretende introduzir a bola, de modo a proporcionar diferentes configurações iniciais. Os alunos podem refazer todos os cálculos para diferentes características de configuração do sistema. Deve-se permitir que os alunos construam as mais variadas situações, valorizando o espírito criativo e a análise crítica. Deverá ser dada particular ênfase à diferença entre as condições reais em que é realizada a experiência e as condições ideais indicadas no enunciado do exercício. Pensamos que a abordagem do assunto colisões proposta pelo programa e os manuais escolares limita, criando dificuldades à compreensão do conceito de parâmetro de impacto. Por outro lado, a generalização do conceito de coeficiente de restituição para uma colisão não frontal é bastante simples para os alunos do Ensino Secundário, e permite o contacto com a sua experiência concreta da vida real. Basta reconhecer que, neste tipo de colisões, na direcção perpendicular à tangente da superfície de contacto entre os corpos tudo se passa como se fosse um choque frontal, situação amplamente explorada nas aulas de Física do 12.º Ano. As aulas de resolução de exercícios/problemas podem ser seguidas de uma metodologia próxima da aqui apresentada.

Referências

- [1] Ministério da Educação. Programa de Física 12.º Ano. M.E.D.G.D.I.C. www.min-edu.pt
- [2] G. Ventura, M. Fiolhais, C. Fiolhais, J. A. Paixão, 12 F - Física 12.º Ano. Texto Editores, 2005
- [3] A. Belo, H. Caldeira, J. Gomes, Física Ontem e Hoje! - Física 12.º Ano. Porto Editora (2005).
- [4] N. Maciel, M. M. Gradim, M. J. Campante, J. E. Villate, Eu e a Física - Física 12.º Ano. Porto Editora (2005).
- [5] D. M. Silva, Vencer Desafios - Exercícios Física 12.º Ano. Lisboa Editora (2006).
- [6] J. L. Meriam, L. G. Kraige, Dynamics - vol. 2 - 3rd edition. Wiley (1996).
- [7] W. J. Stronge, Impact Mechanics. Cambridge University Press (2000).



Participação Portuguesa

Escola de Verão no CERN

Anabela Fernandes e Filipa Oliveira

Entre os dias 1 e 5 de Setembro de 2008 decorreu no CERN, na Suíça, uma escola de Verão organizada pelo Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP) e pelo CERN, com o apoio da Agência Ciência Viva. Esta Escola contou com a participação de 45 professores da área da Física e da Química, provenientes de todo o país.

Durante este estágio tivemos a oportunidade de assistir e participar em várias palestras, realizadas por investigadores a trabalhar no CERN, sobre Física de Partículas e suas aplicações na medicina, sobre detectores, aceleradores, entre outras. Além da componente teórica, pudemos usufruir de várias visitas interessantes, como por exemplo, descer ao detector CMS do acelerador LHC (a uma profundidade de 100m) ou ao centro de controlo do Grande Colisionador Hadrónico (LHC).

Queremos sublinhar a excelente organização deste estágio, não só relativamente à sequência com que os vários assuntos teóricos foram abordados, mas também à aplicação destes no contexto prático, que se traduziu nas visitas às experiências e aos detectores. O entusiasmo e o ambiente informal que se gerou entre todos os participantes contribuiu para que houvesse discussão, troca de ideias e partilha de conhecimentos, o que tornou este estágio ainda mais enriquecedor.

Cabe-nos a nós, professores, aproveitar agora esta experiência única e sermos embaixadores do CERN nos nossos locais de trabalho, partilhando desta forma todo o conhecimento adquirido. Os conteúdos apresentados nas várias palestras estão disponíveis para todos os colegas que os queiram utilizar, em formato PDF e/ou Microsoft Office Powerpoint, a

partir de http://www.lip.pt/cern_em_portugues/. Da nossa parte, sentimo-nos bastante motivadas em organizar ao longo deste ano lectivo algumas actividades dirigidas a alunos e colegas, tais como:

- palestras com cientistas convidados e sessões de divulgação sobre o CERN, enfatizando a sua missão de dar resposta a questões tão fundamentais da Natureza como “O que é a matéria?”, “De que é feita?”, “Qual a sua origem?”, questões estas que fascinam qualquer aluno;
- levar os alunos a participar nas MasterClasses, “Hands on Particles”, que se realizam em Março em várias instituições de investigação em Física de Partículas;
- envolver os alunos mais velhos na montagem de uma exposição com alguns dos materiais que nos foram fornecidos, explicando os conteúdos dos cartazes aos mais novos;
- visualização de pequenos filmes sobre várias experiências a decorrer no CERN.

Certamente que muitos dos colegas que estiveram conosco neste estágio terão outras sugestões de actividades aliciantes a dinamizar com os seus alunos, despertando nestes o interesse para o estudo da Física.

Embora a Física de Partículas não faça parte dos programas curriculares do ensino secundário, podemos enriquecer alguns dos conteúdos programáticos com a referência a aplicações directas e reais, como por exemplo, do electromagnetismo, na construção do LHC, ou da estrutura da matéria, construindo com os alunos uma câmara de nevoeiro.

Este tipo de iniciativas é fundamental na nossa formação contínua, pois o nosso papel é muitas vezes determinante no encaminhamento dos alunos para o estudo da Física.

Um agradecimento muito especial a todos aqueles que contribuíram para o sucesso deste estágio e que nos fizeram sentir importantes na formação científica dos nossos jovens.