

4

Conclusões

Neste trabalho foram apresentadas seções de choque absolutas para ionização, perda e captura eletrônicas da molécula de vapor d'água, obtidas em coincidência com os possíveis fragmentos da molécula alvo. O conjunto reduzido de dados se deveu a dificuldades experimentais geradas pela baixa tolerância do detector de projéteis à alta densidade do feixe utilizado, aliada à baixa probabilidade dos eventos registrados, assim como dificuldades de ordem técnica. Apesar disso, alguns resultados interessantes puderam ser obtidos. Cabe, ainda, ressaltar que esses são os primeiros dados absolutos para He^+ de que o autor tem notícia, diferenciais no estado final do alvo.

As seções de choque apresentadas no capítulo anterior, apesar de formarem um conjunto reduzido em valores de energia, apresentam uma boa consistência quando comparados com outros dados obtidos com prótons de mesma velocidade e coerência quando analisadas as diferenças. A manutenção das tendências gerais indica que uma alteração 'pequena' no tipo do projétil (de H^+ para He^+) não deve gerar grandes diferenças nas tendências. O aumento das seções de choque para formação de O^+ , em comparação aos outros fragmentos, indica também um resultado coerente: os eventos que liberam o íon de oxigênio acontecem em colisões de baixo parâmetro de impacto, por serem mais violentas. Para essas colisões a carga efetiva do He^+ passa a ser maior, uma vez que seu único elétron se encontra mais afastado do que os elétrons internos do átomo de oxigênio, reduzindo bastante o efeito de blindagem do potencial do projétil. Nessas colisões mais próximas, a maior carga nuclear do He^+ em comparação com prótons se manifesta.

A fim de explorar mais as diferenças, especialmente no que diz respeito aos novos canais medidos em relação ao trabalho com prótons (perda e captura eletrônicas), foram comparadas, em um gráfico ternário, as proporções relativas de produção de fragmentos para os dados de fótons, elétrons, prótons, He^+ , C^{3+} e O^{5+} . A evidência de que projéteis de maior estado de carga ativam mais eficazmente o processo de fragmentação explosiva foi confirmada, com os dados de He^+ obtidos neste trabalho ocupando a posição intermediária em relação a prótons e íons mais pesados como carbono e oxigênio, obedecendo

à tendência indicada por Luna e Montenegro [15]. Apesar de possuírem uma carga total igual, prótons e He^+ possuem carga efetiva diferentes em função do parâmetro de impacto de colisão: enquanto o próton apresenta carga efetiva sempre igual a +1, o íon de He pode apresentar uma carga efetiva próxima de +2 nas colisões mais próximas (e mais explosivas). É esse o efeito que explica porque os dados com o He^+ ocupam a posição intermediária.

Além disso, também se confirmam as evidências de que os canais mais favoráveis à fragmentação completa da molécula são a perda e a captura eletrônicas, processos que sabidamente atuam em um espectro maior de parâmetros de impacto. A justificativa para tal fato se dá em um casamento de velocidades que potencializa o processo: para energias altas, as interações mais prováveis ocorrerão em pequenos parâmetros de impacto, onde os elétrons mais internos e mais rápidos serão considerados ativos, proporcionando seções de choque pequenas. À medida que a velocidade vai diminuindo, orbitais mais externos, com valores mais prováveis das distribuições de velocidades mais baixos, começam a elevar o valor da seção de choque pois, além de aumentar o parâmetro de impacto efetivo, aumentam a densidade de níveis e, portanto, de elétrons e orbitais disponíveis.

É interessante analisar, também, os gráficos ternários em comparação com informações da figura 4.1 [30]. Essa figura mostra a perda de energia dos projéteis ao penetrarem em um alvo de água, em função da sua energia. Também é mostrada a curva do estado de carga de equilíbrio do carbono em função da energia, ao penetrar no alvo. Observando com cuidado, em todos os gráficos ternários da figura 3.11 existe um valor de energia para o qual ocorre uma inversão, no sentido do crescimento da velocidade em relação à linha, ao longo da qual coalescem os dados. Na figura 3.11(a) (ionização) isso pode ser observado com um pouco mais de clareza. Para as figuras 3.11(b) e 3.11(c), um maior número de medidas, em energias maiores, se faz necessário para confirmar a observação.

Com o número de pontos obtido nessa região é impossível determinar com clareza esse valor de retorno, porém uma estimativa grosseira indica algo em torno de 250 keV/amu, para todos os três processos (ionização, perda e captura eletrônicas). Comparando esse valor com o valor onde a taxa de deposição de energia é máxima, na figura 4.1, nota-se que é o mesmo valor, e fica claro que não há coincidência: o pico de Bragg se localiza onde a taxa de deposição de energia é máxima, ou seja, quando a inelasticidade das colisões é máxima e ocorre a fragmentação completa da molécula alvo. Fica claro, também, o comentário feito no capítulo anterior sobre a direção na qual os dados caminham ao aumentar a energia dos projéteis: os dados obtidos por

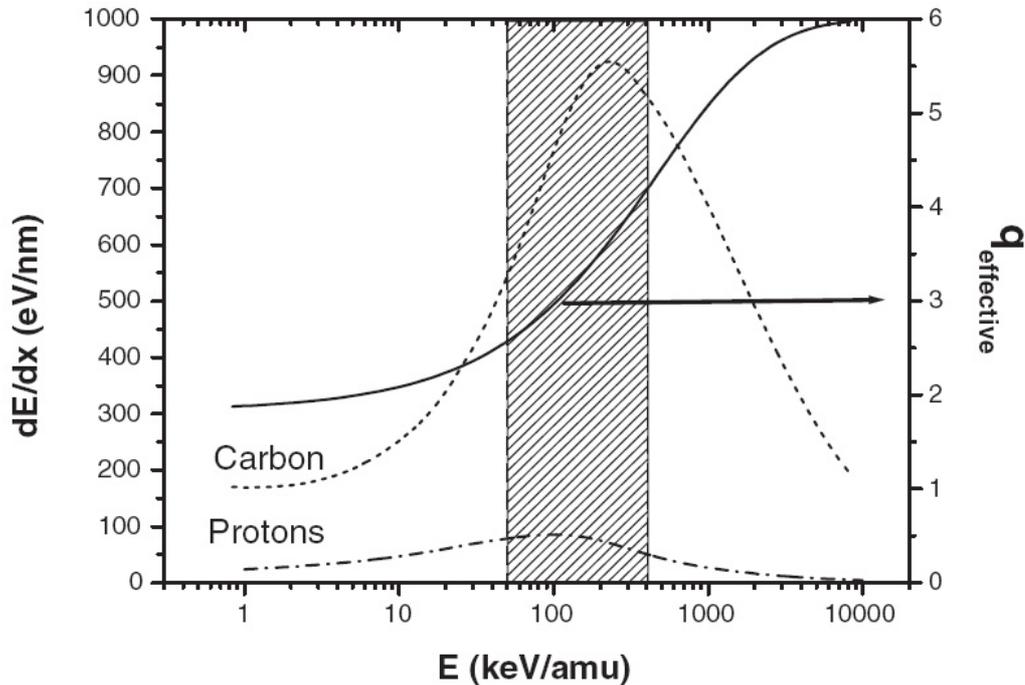


Figura 4.1: Taxa de deposição de energia por comprimento para C^{3+} em função da energia por unidade de massa atômica, linha pontilhada e eixo da esquerda; carga efetiva do carbono em função da energia por unidade de massa atômica ao penetrar a zona de interação, linha contínua e eixo da direita; taxa de deposição de energia por comprimento para prótons em função da energia por unidade de massa atômica, linha “traço-pontilhada”. Retirado da referência [30].

Luna e Montenegro [15] com C^{3+} estão em uma faixa de energia imediatamente à esquerda do pico de Bragg, enquanto os dados obtidos nesse trabalho com He^+ estão imediatamente à direita do pico.

Um maior número de medidas se faz necessário, tanto para a redução de erros estatísticos (no caso de medidas em energias já apresentadas neste trabalho, em particular 1 MeV), quanto para melhor avaliação das tendências, especialmente em energias mais baixas onde uma lacuna permanece entre os dados aqui apresentados e os obtidos por Rudd e colaboradores em 1985 [14].

Além disso, a única medida de captura obtida não permite avaliar a tendência do processo. Mais medidas em energias diferentes nesse canal trariam um melhor entendimento sobre seu comportamento e permitiriam confirmar, ou não, se as tendências reveladas pelos dados de Rudd e colaboradores [14] se estendem até energias mais altas.

Um maior número de medidas na região do pico de Bragg, utilizando um mesmo projétil, também seria interessante para permitir uma observação conclusiva sobre o assunto, uma vez que apenas a seqüência de dados de

ionização da referência [15] apresenta uma inversão clara na tendência do tipo de fragmentação com a energia. Seria interessante tentar obter o mesmo resultado claro com o He^+ , não só na ionização, mas também nas tendências dos outros processos (perda e captura eletrônicas).