

Controle quântico com pulsos de femtossegundo

Lino Misoguti
Instituto de Física de São Carlos-USP
Av. Trabalhador São-carlense, 400
CEP 13566-590 São Carlos, SP

A possibilidade de controlar um sistema físico através de uma intervenção externa consiste num dos principais desejos de uma área de pesquisa conhecida como controle quântico. Essa área de controle quântico é bastante ampla e tem importantes aplicações em física, química, computação, etc. e tem esse nome devido ao caráter quântico do mundo microscópico. É intuitivo compreender que o que acontecem nas dimensões microscópicas dos átomos afetam os sistemas macroscópicos dos quais temos contato físico e que são mensuráveis. Dessa forma, manipulando o mundo microscópico, no qual as leis da mecânica quântica são aplicadas, pode-se controlar um sistema clássico macroscópico. Em outras palavras, um sistema macroscópico, que tem caráter quântico sob o ponto de vista microscópico, pode ser manipulado por meio de interações externas (campos elétricos, que fundamentalmente também são quânticos) de forma a direcionar o sistema a um alvo desejado. Essa é uma área relativamente nova e rica de pesquisas teóricas quanto experimentais. Nessa palestra, foram abordados alguns conceitos importantes de uma área de controle quântico em que se utilizam pulsos ultracurtos de femtossegundos (fs), especialmente sob o ponto de vista experimental. Foram apresentados as principais características dos pulsos ultracurtos, os sistemas lasers utilizados, dificuldades, alguns exemplos, etc.

Como comentado, há várias vertentes de controle quântico. Como ilustração e motivação pode-se citar exemplos de aplicações em química e física. Na área de química, por exemplo, é interessante controlar uma reação química por meio de uma ação externa para que a produção de um determinado subproduto seja otimizada frente a outros possíveis produtos de serem obtidos, ou seja, modificar o curso natural de uma reação química. Em física, há uma área em que se faz o uso de pulsos ultracurtos para controle quântico. Neste caso tira-se proveito da alta intensidade e da possibilidade de manipulação arbitrária do campo elétrico da luz desses pulsos. Como o principal tópico abordado consistia no uso de pulsos de fs, nesta apresentação foram discutidos aspectos experimentais do uso de laser de pulsos ultracurtos de fs para aplicações em controle quântico e que também é conhecido como controle coerente, devido ao uso de laser. Mais especificamente, com controlar a interação da luz com a matéria a partir da modulação arbitrária da fase/intensidade espectral dos pulsos de fs.

Os pulsos ultracurtos de fs são produzidos por sistemas lasers especiais. Atualmente existem vários sistemas comerciais que permitem a geração de pulsos de alguns fs como os lasers de Ti:safira, lasers de fibras dopadas com terras raras, etc. Uma das propriedades mais importante e fundamental desses pulsos é a banda espectral larga. Pulsos curtos não

são “monocromáticos”, mas sim, bastante “policromáticos”. Essa propriedade fundamental é explicada pela matemática da transformada de Fourier na qual a banda espectral está correlacionada com a duração do pulso. Neste caso, a banda espectral e a duração do pulso são dois domínios complementares da transformada de Fourier. Dessa forma, pulsos curtos (longos) possuem banda espectral larga (estreita). Ademais, é preciso mencionar que forma temporal de um pulso esta relacionada à fase espectral da banda larga do laser pois os pulsos surgem de uma espécie de interferência espectral conhecida como travamento de modos (*modelocking*) dentro da cavidade laser. Portanto, pela manipulação da fase espectral implicam em modificações temporais únicas, propiciando o controle coerente da interação com os meios. Em outras palavras, as características temporais de um pulso podem ser controladas pela manipulação da parte espectral. Os pulsos curtos de laser pulsado têm naturalmente mais intensidade que a luz de um laser contínuo, mais muitas vezes, para se conseguir o controle de alguns processos, mais intensidades são necessárias. Neste caso, há amplificadores de pulsos, como sistemas baseados em Ti:safira que são bastante utilizados para controle coerente. Os cristais de Ti:safira possuem características apropriadas que permitem a produção de sistemas lasers de altíssima intensidade de curtíssima duração na região do comprimento de onda de 800 nm com taxa de repetição de alguns kHz. Existem atualmente sistemas lasers de Ti:safira amplificados que fornecem intensidades fantásticas da ordem de terawatts permitindo diversas aplicações na fronteira do conhecimento.

Outro ingrediente importante para o controle coerente utilizando pulso de fs é o modulador espectral do pulso. Pode-se manipular tanto a fase ou a intensidade espectral do pulso, no entanto, o mais comum é apenas controlar a fase. Como foi mencionado anteriormente, a modulação da fase modifica a intensidade temporal do pulso. Isso é feito dessa maneira devido à impossibilidade de se controlar temporalmente um pulso ultracurto uma vez que não existem moduladores com tempos de respostas no regime de fs. Para entender como isso pode ser obtido experimentalmente, foi apresentado um modulador de pulso (*pulse shaping system*) baseado em um *array* de cristal líquido e redes de difração. De maneira simplificada, pode-se dizer que uma rede de difração é utilizada para abrir o espectro do pulso de forma que cada região espectral se propague numa região do cristal líquido. A partir da aplicação de diferentes campos elétricos nos pixels do *array* de cristal líquido, pode-se controlar o caminho óptico (fase) de cada região espectral da luz. Uma segunda rede de difração, idêntica à primeira, recombina todo o espectro recompondo o pulso, mas agora modulado temporalmente. Os principais conceitos experimentais de como são feitas as modulações espectrais dos pulsos pelo uso de um modulador de cristal líquido e de redes de difrações, foram apresentados.

Ao final, foram apresentados alguns outros desafios experimentais inerentes ao problema. Como normalmente a interação do campo elétrico da luz com o meio não linear é muito fraco, para se obter um controle final macroscópico, é necessário fazer muitos ciclos de interação. Há basicamente duas metodologias: uma é aplicar um campo elétrico pré-estabelecido o qual direciona ao resultado desejado, a outra, é manipular arbitrariamente o pulso para encontrar qual é o formato mais adequado que otimiza um determinado resultado. Neste segundo caso, trata-se de um ciclo fechado (*closed loop*) no qual o próprio resultado direciona o formato de pulso adequado que maximiza o resultado desejado. Alguns exemplos práticos já realizados usando pulsos de femtossegundos como o controle de processos ópticos não lineares, como a absorções de dois fótons, foram apresentados.

Em termo de perspectivas futuras, trata-se de um campo de pesquisa muito rico e com muito a ser realizado. Há grandes expectativas de aplicações na área de computação quântica, física atômica, e mesmo em áreas já bem estabelecidas de controle de reações químicas e de processo ópticos não lineares.