

Rafael Celestre, Rafael Vescovi, Guilherme Faria, Carlos Dias, Leticia Coelho, Carlos Giles  
rafaelcelestre@gmail.com

Intituto de Física Gleb Wataghin – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP

Palavras-chave: Lasers - Raios-X - Femtosegundo

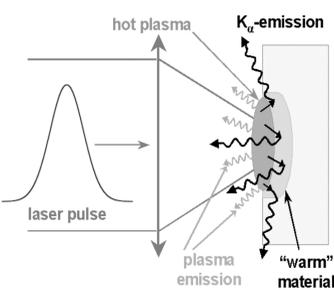
## Introdução

O estudo da dinâmica de fenômenos ultrarrápidos é um vasto campo de pesquisa, este tem recebido muita atenção da comunidade científica devido ao desenvolvimento de novas tecnologias compatíveis com tal escala temporal. Este projeto de pesquisa tem por objetivo o estudo da viabilidade e implementação de instrumentação científica necessária para de produção de pulsos de raios-X ultracurtos através do uso de lasers pulsados de alta potência. A produção de raios-X ocorre através da focalização do laser de infravermelho (~800nm) sobre um alvo metálico, a interação laser-alvo resulta na formação de plasma, que por sua vez resulta na emissão de radiação característica (K-alfa), devido à colisão de elétrons altamente energéticos. A emissão tem aproximadamente a duração do pulso de laser, que é da ordem de femtosegundos. O setup completo, que é table top, inclui óptica para o laser, sistemas automáticos para renovação do alvo metálico e outros sistemas que visam garantir grande autonomia e estabilidade ao sistema. A fonte deve ser capaz de produzir experimentos do tipo 'pump and probe', usando como pump o laser com adição de óptica específica.

## Fontes de Raios-X Pulsados

Plasmas térmicos são produzidos quando um intenso pulso de laser ultracurto (100fs,  $10^{16-17} \text{W/cm}^2$ ) é focalizado em alvos sólidos. Emissões de raios-X muito curtas do plasma térmico são esperadas dentro dessa escala curta de tempo porque os elétrons não transmitem uma fração significativa de sua energia para íons e expansões muito fracas ocorrem durante o pulso.

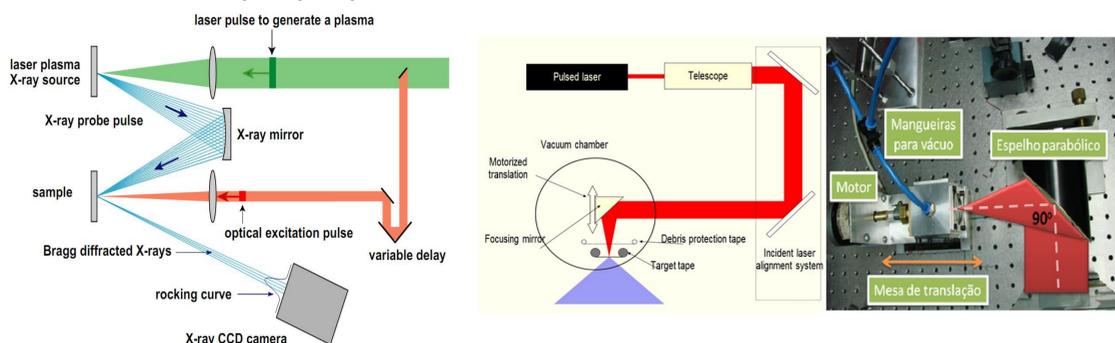
Elétrons rápidos presentes neste plasma, resultantes da interação com a luz do laser, são então acelerados contra o alvo sólido, ionizando as camadas mais internas dos átomos produzindo radiação por *Bremmsstrahlung* e Raios-X  $K\alpha$ .



Exemplo de interações em fonte  $K\alpha$

## Set up experimental

É uma grande vantagem das fontes de raios-X a partir de lasers que a geração de radiação por esse método provém ao mesmo tempo uma fonte absolutamente síncrona de excitação ótica. Portanto, o conceito experimental para experimentos com escala de tempo ultrarrápida – o tão conhecido *pump and probe* – que é muito bem estabelecido no domínio da ótica, pode ser diretamente estendido ao regime dos raios-X: um pulso ótico é usado como *pump* para excitar uma amostra, enquanto o raio-X ultracurto serve como *probe* para monitorar a dinâmica transiente induzida pelo *pump*.



(a) esquema experimental para experimentos *pump and probe* (b) Vista esquemática da fonte (c) Montagem preliminar com o espelho focalizador

## Focalização do Laser

Um dos pontos mais importantes para a produção de raios-X é a obtenção de energia suficientemente alta para arrancar elétrons do alvo metálico.

As relações entre os parâmetros do laser e a densidade energética no ponto focal são dadas abaixo, são elas que pautam a parte óptica do sistema – elas justificam o 'telescópio' e ajudam a prever quanta potência temos no foco.

$$I = \frac{E}{\pi \omega_0^2 \tau} \quad \omega_0 = \frac{\lambda f}{\pi W}$$

Onde: energia ( $E$ ), duração do pulso ( $\tau$ ), tamanho focal ( $\omega_0$ ), tamanho do feixe incidente ( $W$ ), frequência ( $f$ ) e comprimento de onda ( $\lambda$ ).

- QED-IFGW: 1kHz, 1mJ, 100fs
- GeoSciences: 10Hz, 20mJ, 150fs

Considerando um ponto focal perfeito ( $w_0 = 1,36 \mu\text{m}$ ):

$$I = 1.7 \times 10^{17} \text{ W/cm}^2$$

$$I = 22.9 \times 10^{17} \text{ W/cm}^2$$

Considerando um ponto focal de  $10 \mu\text{m}$

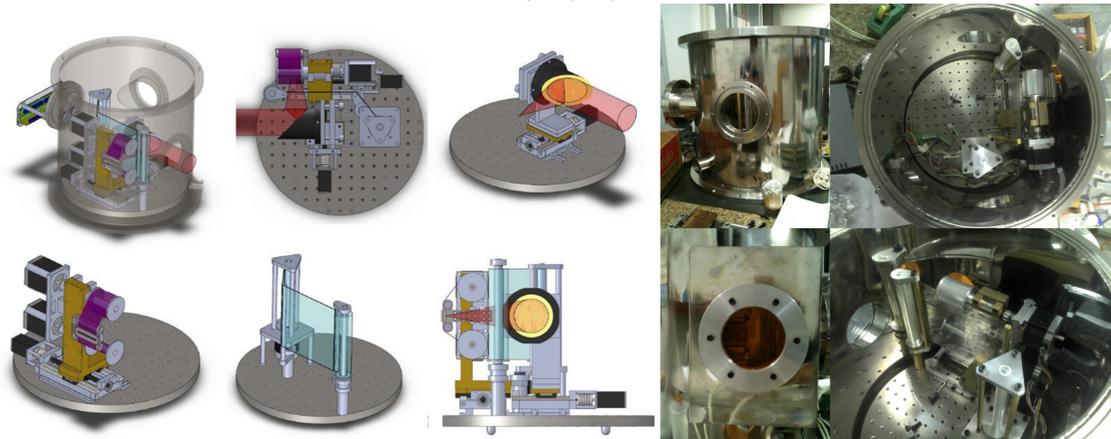
$$I = 3.18 \times 10^{15} \text{ W/cm}^2$$

$$I = 42.4 \times 10^{15} \text{ W/cm}^2$$

## Implementação

A fonte é composta de três grandes subsistemas:

- *Sistema de focalização*, com um espelho parabólico *off axis* de ouro (refletividade 100% para 800nm e distância focal de 150mm) e um motor de passo com resolução de 0.2  $\mu\text{m}$ . O posicionamento é unidirecional, sua principal função é garantir que o ponto focal coincida com o alvo metálico.
- *Alvo*, um sistema de fita com 90m de polipropileno com uma camada de 500nm de titânio depositado por sputtering. A fita possui duas orientações de giro (ida e volta). O sistema é posicionado por dois motores de passo com resolução de 0.2 $\mu\text{m}$ .
- *Protetor de debris*, um sistema de fita de polipropileno.



(a) vista da câmara em funcionamento com todos os elementos inseridos nela. (b) sistema focalizador. (c) vista superior da câmara em funcionamento. (d) sistema de posicionamento do alvo metálico (em rosa). (e) protetor de debris (f) vista lateral da câmara (g) imagens do atual estado de desenvolvimento da câmara de vácuo no LCARX

## Especificações

Usando um laser com as seguintes especificações: 50fs, 5mJ por pulso, 800nm de comprimento de onda, esperamos alcançar as seguintes especificações:

- Frequência: do laser usado
- Duração do pulso: algumas de centenas de femtosegundos
- Focal spot: ~8 $\mu\text{m}$
- Intensidade no alvo metálico:  $5 \times 10^{16} \text{W/cm}^2$
- Energia dos raios-X: 4.509KeV ( $K\alpha\text{Ti}$ ) + Bremsstrahlung
- Autonomia: 330h

## Perspectivas

A fase de testes de focalização do laser está em andamento. Em breve utilizaremos este arranjo para os primeiros testes de produção de pulsos de raios-X com larguras de algumas centenas de femtosegundos.

Após um estudo da viabilidade da produção de radiação característica de elementos como Cu e Mo, será necessário o uso de um laser com maior potência.

## Referências

- Efficient  $K\alpha$  source from femtosecond laser-produced plasmas, A. Rousse et al, Phys. Rev. E 50, 2200, (1994);  
Ultrafast time-resolved X-ray diffraction - K. Sokolowski-Tinten et al;  
Fenômenos Ultrarrápidos: Geração de Pulsos Lasers Ultracurtos e suas Aplicações, C Cruz e H Fragnito (2000);