Caracterización de Pulsos Ultracortos

Física de Láseres

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.

Zárate Gálvez Saraí, Zárate Villegas David

Contenido

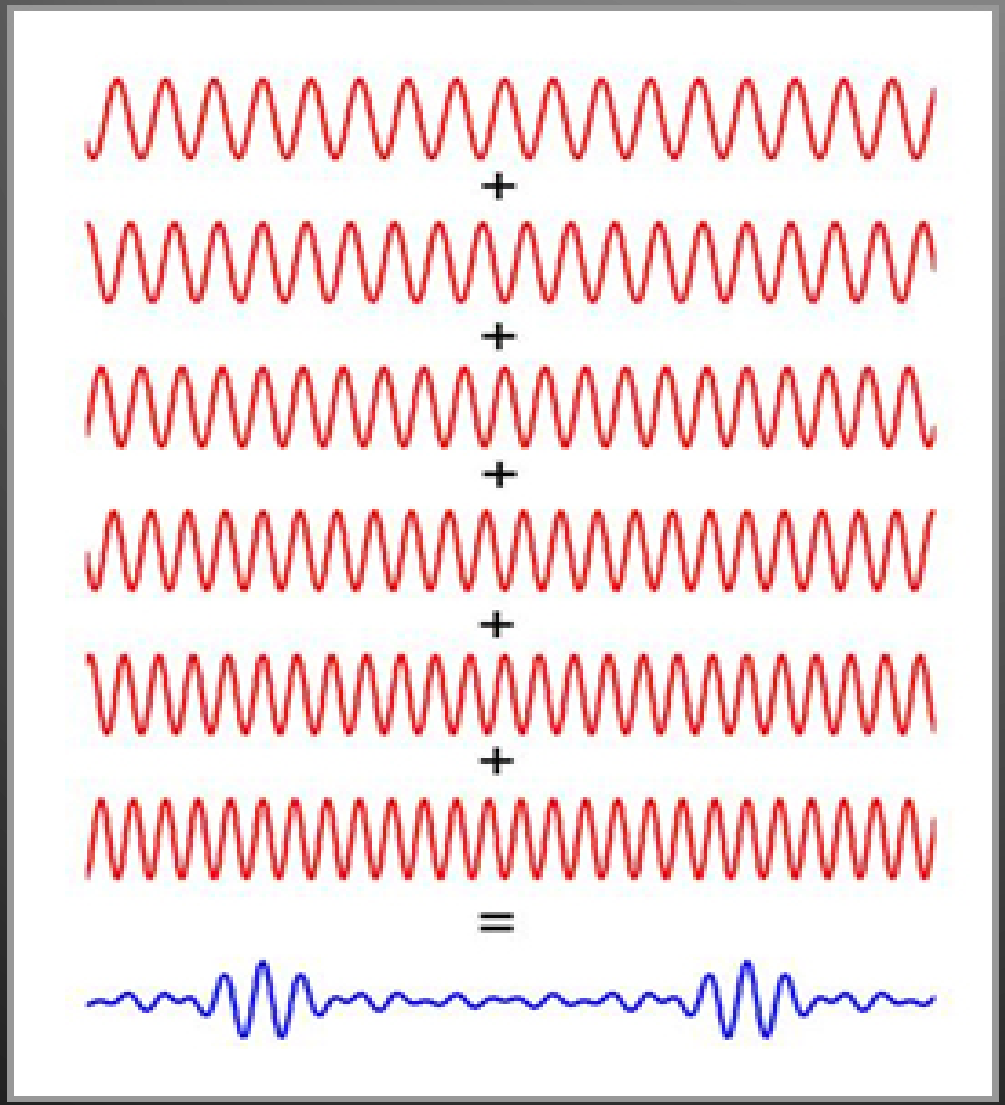
- **¿Qué es un pulso ultracorto?**
- **La problemática de la detección de los pulsos ultracortos**
- **Detectores de pulsos ultracortos:**
- **FROG** (Frequency-resolved optical gating)
- **SPIDER** (Spectral phase interferometry for direct electric-field reconstruction*)*

¿Qué es un pulso ultracorto?

- Sumando muchas ondas con frecuencias ligeramente distintas se obtiene una onda pulsada.
- Cuantas más frecuencias distintas añadamos, más cortos serán los pulsos.
- Condiciones para la generación:

1. Un medio activo que emita luz láser en un rango amplio de frecuencias.
2. La fase relativa entre las ondas debe ser fija (operación mode-locking).

¿Qué es un pulso ultracorto?



¿Qué es un pulso ultracorto?

- Se etiqueta "ultracorto“ a pulsos con duración de unos 10 ps (10^{-12} s) - 1 fs (10^{-15} s).
- Permiten investigar procesos ultrarrápidos.
- Su propagación en medios da lugar a fenómenos no lineales como:

1. Dispersión cromática.
2. Efecto Kerr.
3. Dispersión Raman.
4. Saturación de ganancia.

La problemática de la detección de los pulsos ultracortos

- Son demasiado rápidos para ser monitoreados con electrónica, requiriéndose técnicas ópticas, como la Autocorrelación.
- ¿Por qué nos interesan? Existen fenómenos ocurriendo a ésta escala de tiempo:

1. Dinámica de electrones en sólidos y semiconductores.
2. Fusión o vaporización de metales.
3. Reacciones químicas y procesos en plasmas.

- La óptica ultrarrápida se está extendiendo a la región atosegundos.

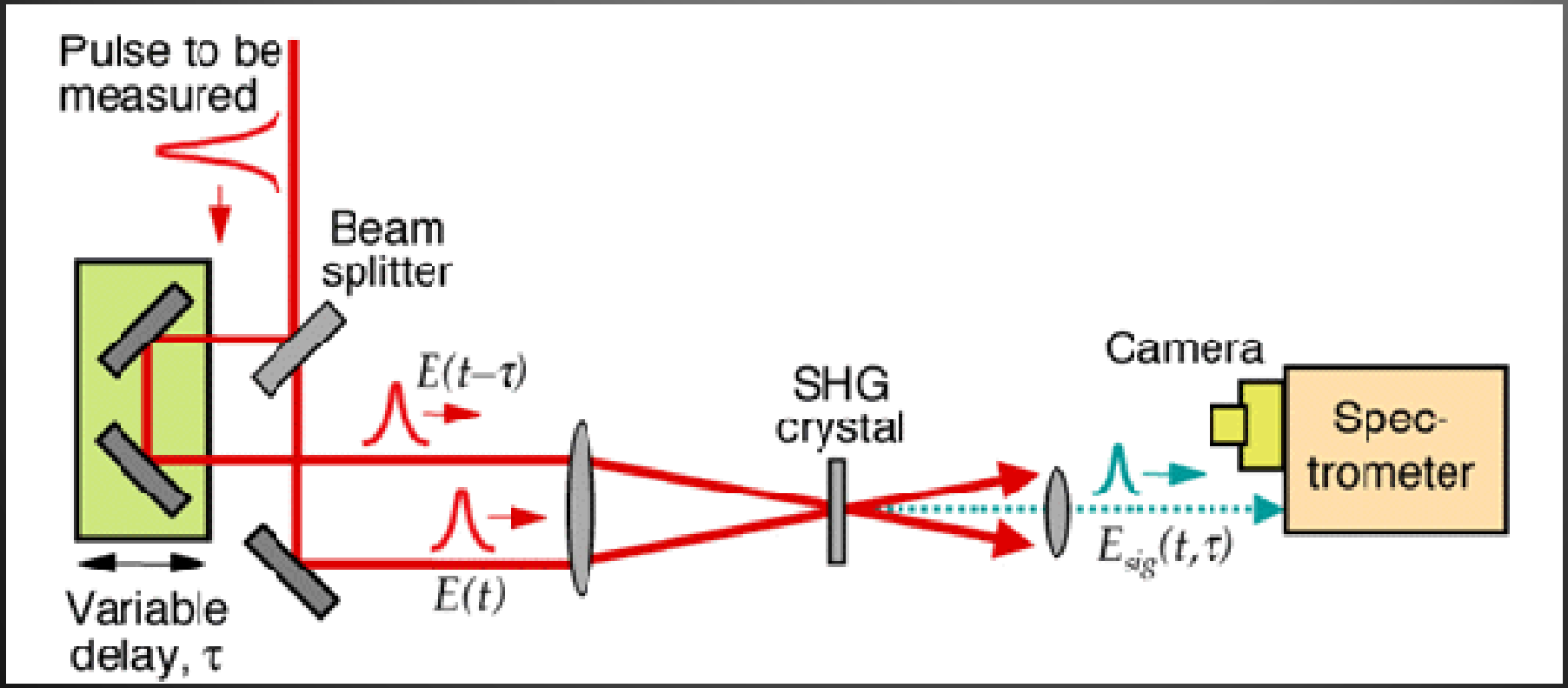
Detectores de pulsos ultracortos

FROG (Frequency-Resolved Optical Gating)

FROG (Frequency-Resolved Optical Gating)

- Fue creada por Rick Trebino y su grupo de investigación en el Georgia Institute of Technology.
- Es una técnica que mide por “completo” el pulso. Mide la energía del pulso o duración y el campo eléctrico con su fase espectral.
- La idea del FROG es que un pulso de entrada corta puede ser usado para medir un pulso más largo mediante la mezcla no-lineal de los dos haces en un cristal no-lineal.
- La configuración para medir FROG es similar a la de autocorrelación excepto que en lugar de poner un fotodetector es puesto un espectrómetro.

FROG (Frequency-Resolved Optical Gating)



Configuración para medir FROG. El espectro de la mezcla no-lineal de dos haces es medido como una función del retraso relativo de tiempo entre haces.

FROG (Frequency-Resolved Optical Gating)

- La intesidad se mide con el proceso no lineal SHG (optical gating).
- Se resuelve la frecuencia con el espectrograma (frecuency-resolved)

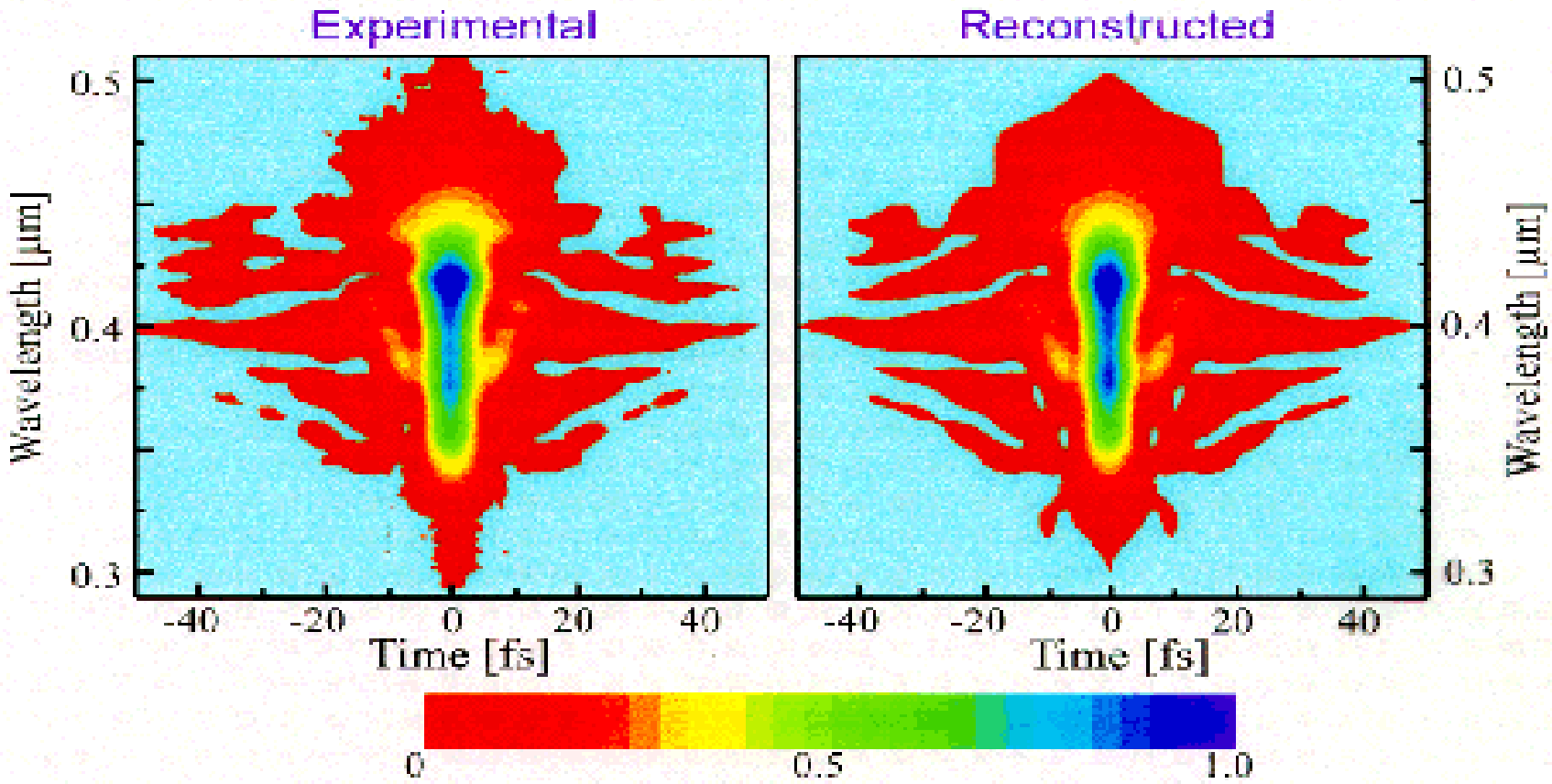
$$I_{\mathrm{FROG}}(\omega,\tau) = |E_{\mathrm{sig}}(\omega,\tau)|^2 = |FT[E_{\mathrm{sig}}(t,\tau)]|^2 = \left|\int_{-\infty}^{\infty} E_{sig}(t,\tau)e^{-i\omega t}\,dt\right|^2.$$

$$I_{\mathrm{SHG\,FROG}}(\omega,\tau) = \left|\int_{-\infty}^{\infty} E(t)E(t-\tau)e^{-i\omega t}\,dt\right|^2.$$

FROG (Frequency-Resolved Optical Gating)

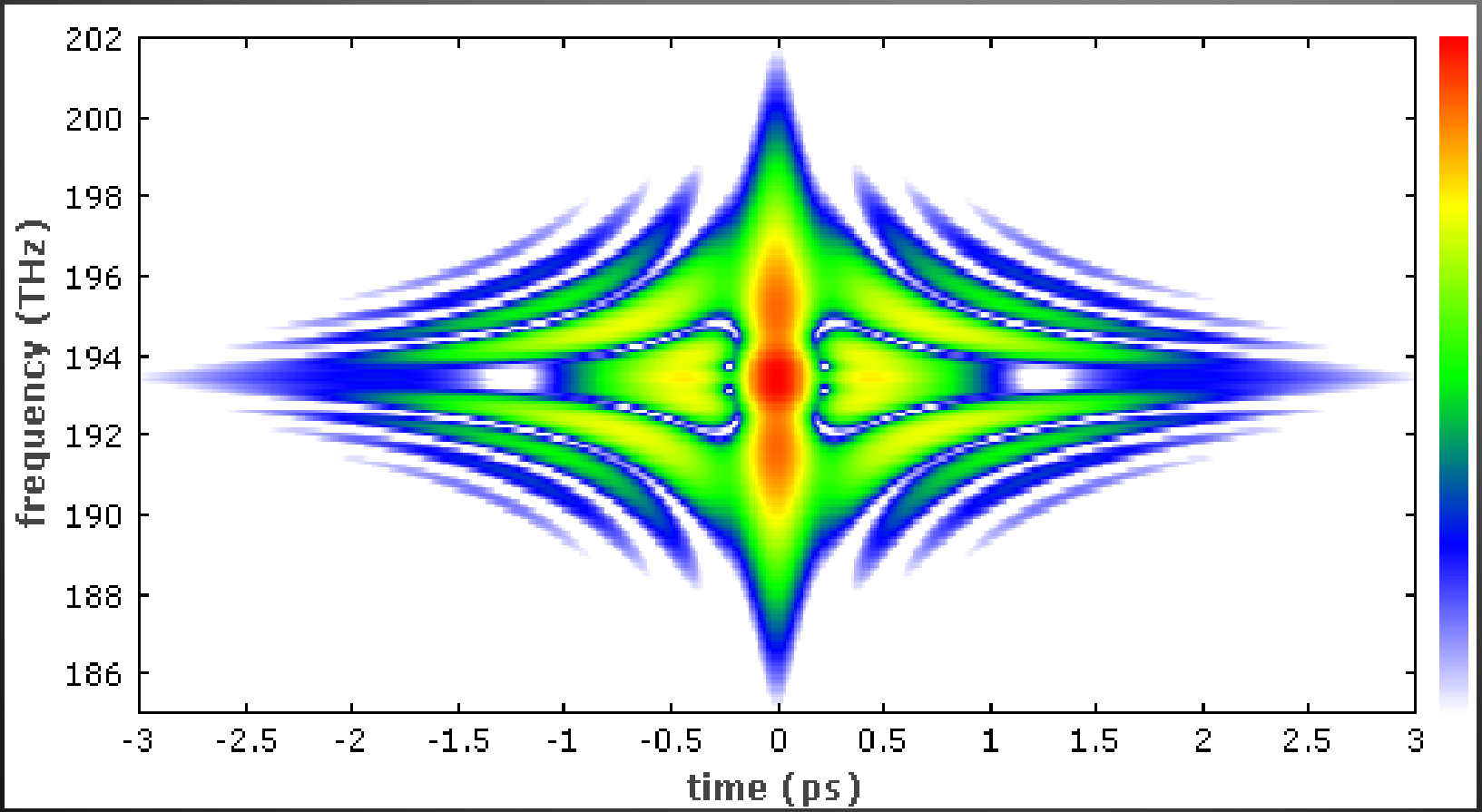
- Una medición FROG implica la grabación de muchos espectros para diferentes diferencias de tiempo de llegada de los dos pulsos.
- Los datos se ilustran en un “registro FROG”, un espectrograma que muestra con una escala de color la intensidad como una función del tiempo de retraso y la frecuencia optica (o longitud de onda).
- Con un algoritmo matemático y el registro FROG es reconstruida la forma del pulso de entrada y medida la coherencia.

FROG (Frequency-Resolved Optical Gating)



Registro FROG de SHG para un pulso 4.5 fs

FROG (Frequency-Resolved Optical Gating)



Registro FROG de SHG para un pulso solitónico de alto orden después de propagarse una cierta distancia a través de una fibra óptica.

Detectores de pulsos ultracortos

SPIDER (Spectral phase interferometry for direct electric-field reconstruction)



De manera general:



- Es una técnica interferométrica de medición de pulsos ultra cortos basado en el dominio de la frecuencia, originalmente desarrollada por Chris Ianconis e Ian Walmsley.

  - Spectral Shearing Interferometry (SSI) es similar en concepto al Lateral Shearing Interferometry (LSI) con la excepción de que es desarrollada en el dominio de frecuencias.

  El Spectral Shear es típicamente generado por la de suma de frecuencias mezclando el pulso de prueba con dos diferentes frecuencias cuasi-monocromáticas.

  La interferencia entre los dos pulsos con aumento de frecuencia permite a la fase espectral a una frecuencia hacer referencia a la fase espectral a una frecuencia diferente, separadas por el spectral shear (diferencia en la frecuencia de los dos haces).

Spectral Interferometry

- El principio basico de la interferometria espectral es dos ondas son combinadas y asi el espectro optico de la combinacion es observada.
- Se introduce un retraso de tiempo T en alguno de los pulsos, el cual puede ser introducido mediante una exponencial:

$$E(w)=E_1(w)+E_2(w)exp(-iwT)$$

Asi el espectro optico es modulado;el termino oscilante tiene una fase de la siguiente manera:

$$\Phi(w)=wT+\Phi_1(w)-\Phi_2(w)$$

La cual muestra que hau una oscilacion determinada por el retraso en el tiempo, y tambien es influenciada por la diferencia de pulsos espectrales.



Pulse Characterization Using a Reference Pulse

- Podemos caracterizar un pulso ultra corto, mediante un pulso de referencia bien caracterizado. El espectro del cual cubre el ranto total del espectro del pulso a ser caracterizado.
- La fase del espectro obtenido puede ser obtenido mediante los metodos usado en la transformada de Fouriera aplicadas a la curva espectral de intensidad.
- Con lo cual se puede puede alcanzar una alta sensibilidad en la medicion.
- Para esto se requiere una cristal no lineal, evitando asi los posibles efectos de limitación en el ancho de banda.

Pulse Characterization Using a Reference Pulse

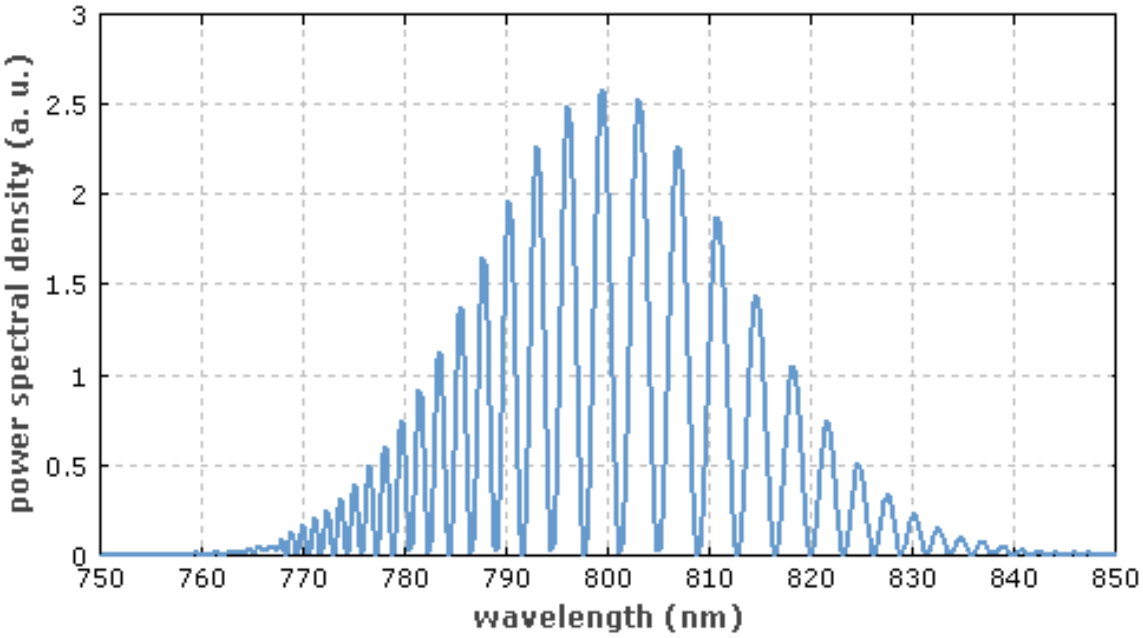


Figure 1: Spectrum of two femtosecond pulses, where one pulse is nonlinearly chirped and delayed by 600 fs. The spectral modulation can be used to reconstruct the spectral phase of the chirped pulse.



SPIDER (Spectral phase interferometry for direct electric-field reconstruction)

La intensidad del patrón de interferencia puede ser escrita como:

$$S_{SI}(w) = S_{ref}(w) + S_{unk}(w) + 2\sqrt{S_{ref}(w)}\sqrt{S_{unk}(w)}\cos\left[\varphi_{ref}(w) - \varphi_{unk}(w) + w\tau\right]$$

T es la separación de los pulsos en el tiempo
Sin embargo desarrollando SI y usando el pulso no nos da información útil, ya que la fase espectral se cancela.

SI solo es útil si el haz ya ha sido caracterizado



SPIDER (Spectral phase interferometry for direct electric-field reconstruction)

SPIDER, involucra spectrally shifting una replica de un puslo por dw con respecto a otro. Así la fase del pulso de referencia es:

$$\phi_{SPIDER}(w) = \varphi(w+\delta w) - \varphi(w) - w\tau = \delta w \frac{d\varphi}{dw} - w\tau = \delta w \tau_{gr} - w\tau$$



SPIDER (Spectral phase interferometry for direct electric-field reconstruction)

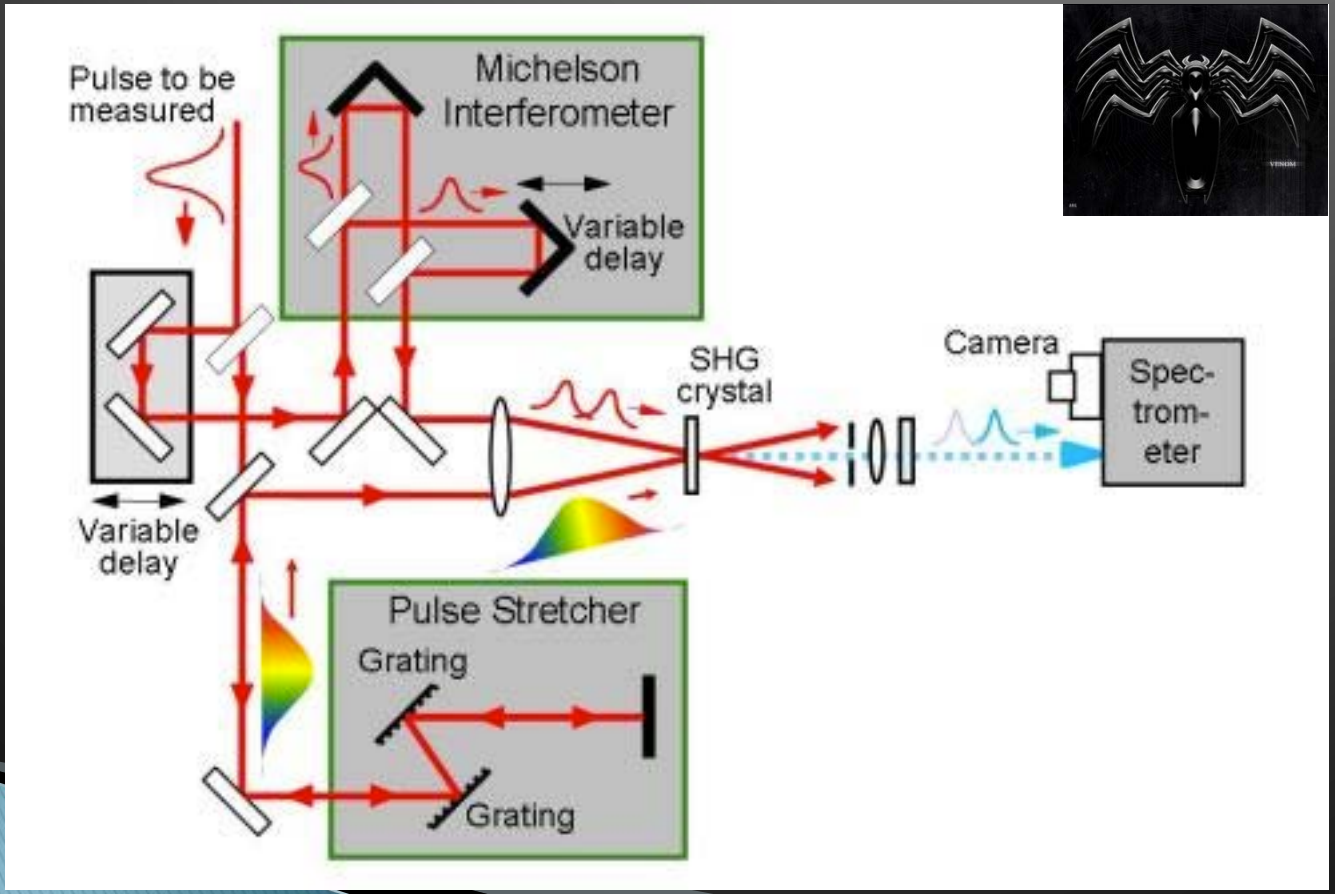
En los principios de la SSI, una directa inversión del algoritmo determinaba el puso desde las franjas espectrales.

SPIDER funciona si se conocen todos los parámetros en la medición

El pulso chirp podría ser obtenido directamente del spectralfinge del SPIDER



- Para el SPIDER, se necesita un aparato muy complejo que requiere una separación del puso, para ser medidas en dos replicas con una separación de tiempo bien definida. El aparato se coloca a continuación:



SPIDER (Spectral phase interferometry for direct electric-field reconstruction)

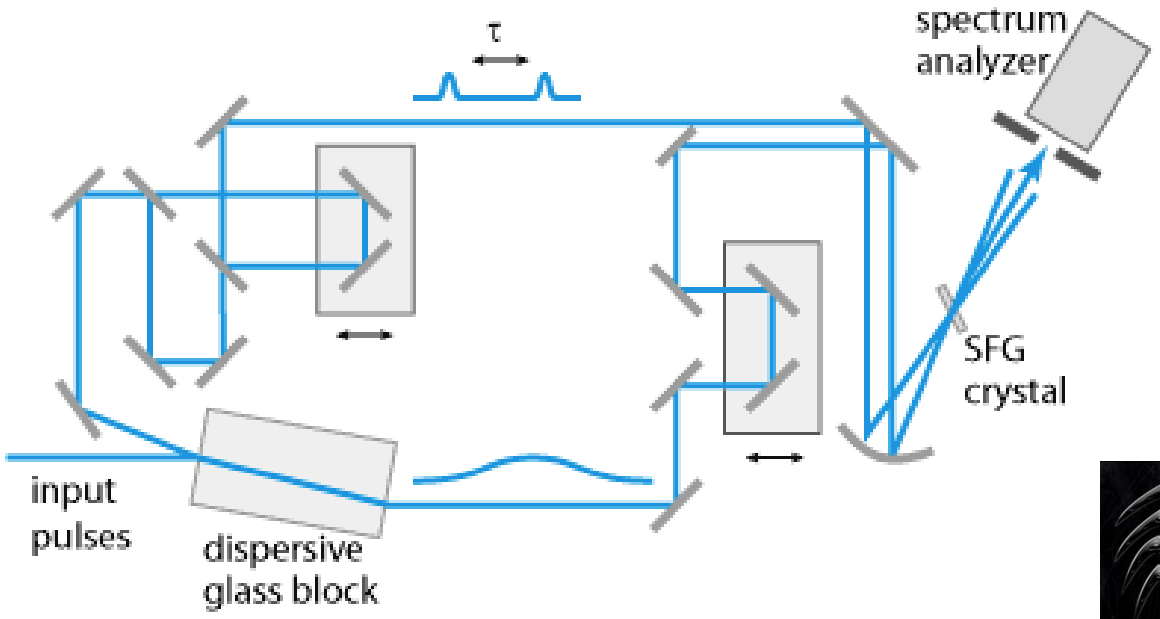


Figure 2: Setup for ultrashort pulse characterization with the SPIDER method.



SPIDER (Spectral phase interferometry for direct electric-field reconstruction)

- La principal ventaja de usar SPIDER es que nos lleva a la fase del haz desconocido usando un algoritmo directo y es bastante rapido.



Que tan adecuado es SPIDER

- Recientemente se ha mostrado que SPIDER tiene algunos problemas de calibración, debido a que este mide la derivada de la fase del pulso. La fase linear de SPIDER produce la fase espectral cuadrática del haz.
- Así que cualquier error en la generación del doble pulso nos lleva una enorme error en la medición del pulso.



Bibliografía

- [1].http://www.clpu.es/divulgacion/bits/como-se-generan-los-pulsos-ultracortos
- [2]. http://www.rp-photonics.com/ultrashort_pulses.html
- [3] http://www.rp-photonics.com/ultrafast_optics.html
- [4].http://www.swampoptics.com/tutorials_FROG.htm
- [5] http://www.rp-photonics.com/frequency_resolved_optical_gating.html
- [6].http://en.wikipedia.org/wiki/Frequency-resolved_optical_gating

