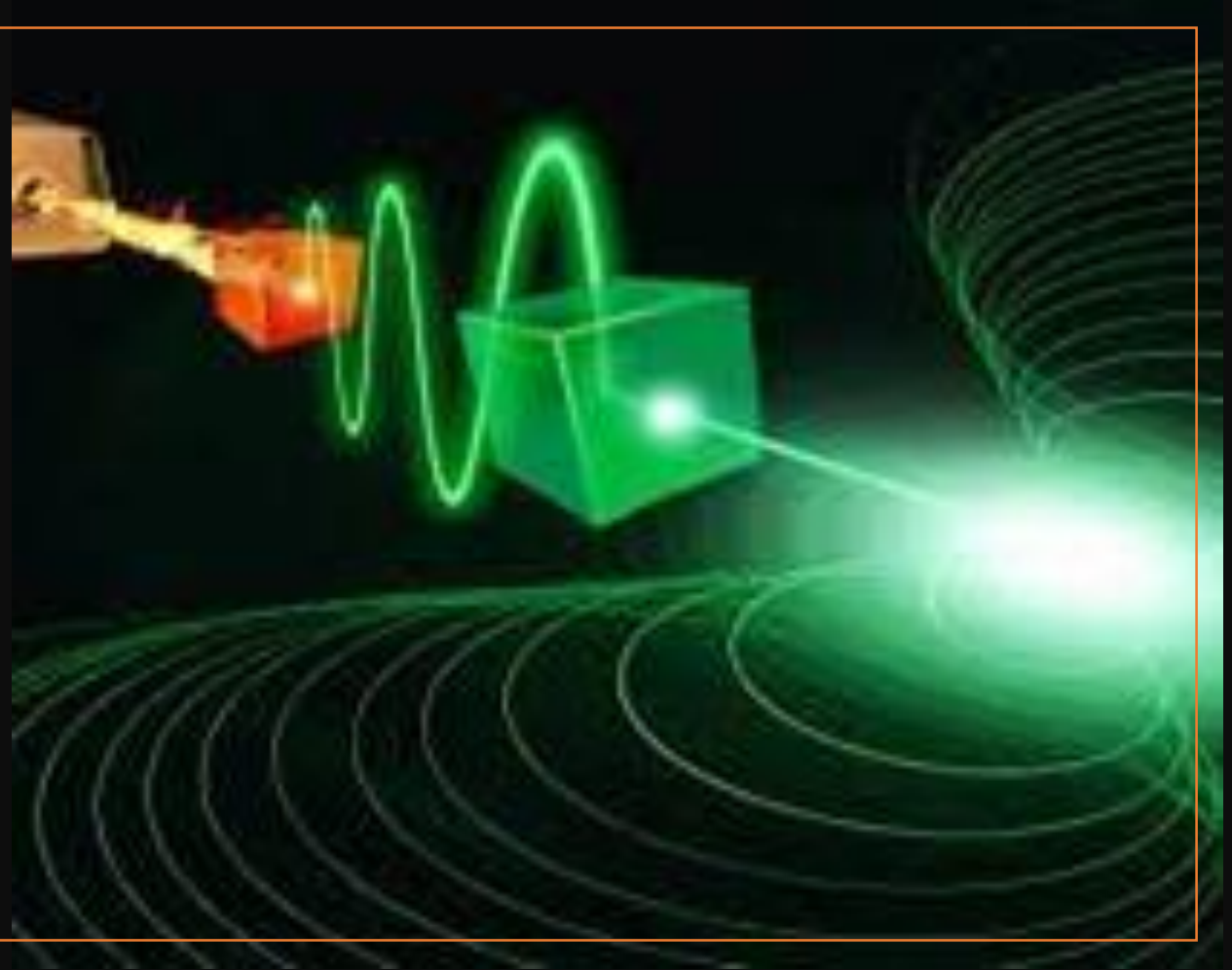


Laser de Pulsos Ultracortos (Attosegundos)

Adalid Ibarra Garrido



Orden de la Presentación

- Introducción
- Pulsos Ultracortos
- ¿Qué tan corto es un attosegundo?
- ¿Como generar pulsos tan cortos?
- Métodos para generar pulsos de attosegundos
- Dispersión de Raman
- Generación de armónicos de alto orden (HHG)
- ¿Porqué se le llama emisión laser?
- Aplicaciones
- Conclusiones

Introducción

- Los pulsos de attosegundos se demostraron por primera vez en 2001. Desde entonces, investigadores de todo el mundo han intentado hacer que la duración de los pulsos sea cada vez más corta debido a la puerta que podrían abrir para comprender el mundo subatómico.
- De la misma manera que las cámaras de alta velocidad pueden grabar videos en cámara lenta de una bala en movimiento, los pulsos de luz de attosegundos nos permiten capturar imágenes de electrones que se mueven rápidamente en átomos y moléculas con una nitidez sin precedentes.

Pulsos Ultracortos

- En óptica, un pulso ultracorto de luz es un pulso electromagnético cuya duración es del orden de un picosegundo (10^{-12} segundos) o menos.
- El método más común de generación de pulsos ultracortos es el de amarre de modos.
- La amplificación de pulsos ultracortos casi siempre requiere la técnica de amplificación de pulsos chirp (CPA), para evitar dañar el medio de ganancia del amplificador.

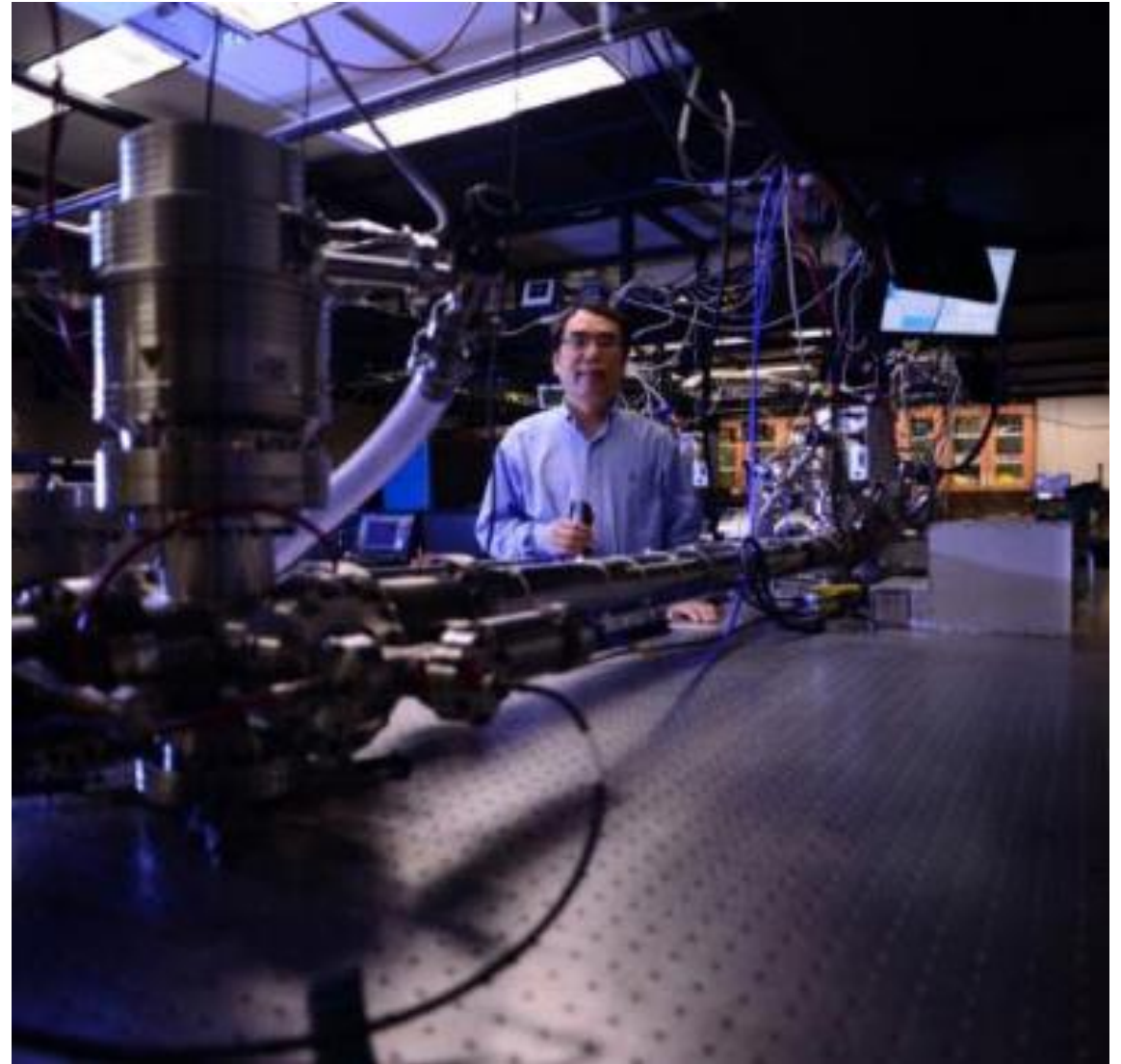
Pulsos Ultracortos

- El Premio Nobel de Química de 1999 fue otorgado a Ahmed H. Zewail, por el uso de pulsos ultracortos para observar reacciones químicas en las escalas de tiempo en las que ocurren, abriendo el campo de la femtoquímica.



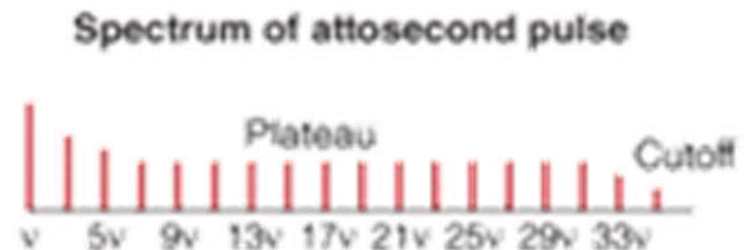
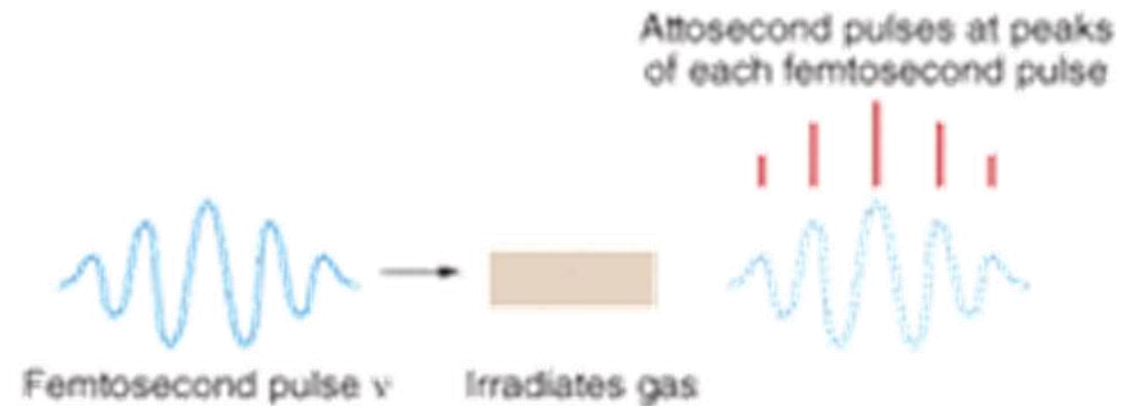
¿Que tan corto es un attosegundo?

- El record del pulso laser mas corto es de 53 attosegundos, logrado por un equipo de investigadores de la Universidad de Florida Central, dirigidos por el profesor Zenghu Chang.
- Atto es un prefijo del Sistema Internacional de Unidades que indica un factor de 10^{-18} , o lo que es lo mismo, un attosegundo es la quintillónesima parte de un segundo.
- En otras palabras, se tardarían 19 trillones de impulsos del tamaño de los obtenidos por el equipo del profesor Chang para igualar un segundo.



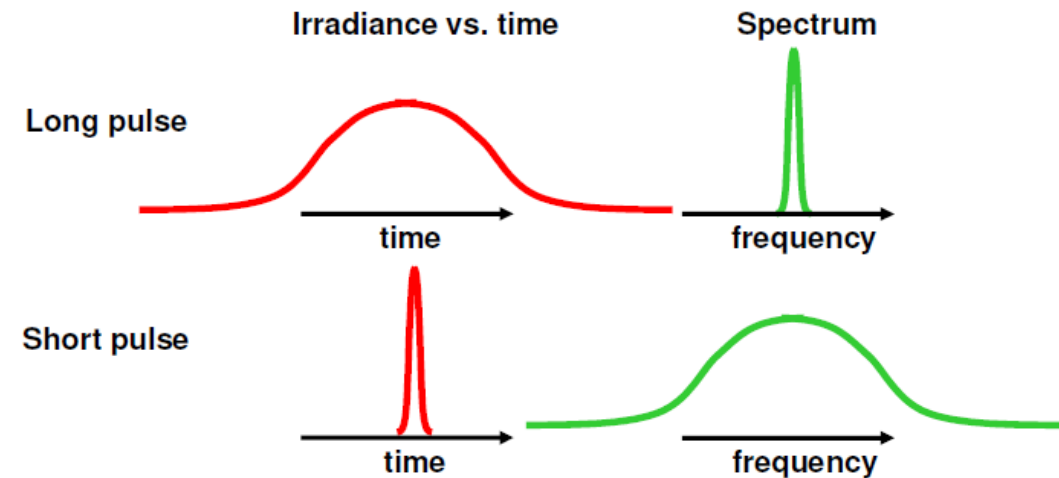
¿Como generar pulsos tan cortos?

- Estrictamente hablando, los pulsos puramente ópticos no se pueden reducir a menos de un femtosegundo de longitud. El límite de transformación requiere un ancho de banda espectral más amplio que el del espectro visible para producir pulsos de subfemtosegundos.
- Sin embargo, los pulsos ópticos de femtosegundos pueden usarse para generar pulsos de alto armónico que duran attosegundos y abarcan un rango de frecuencias mucho mayor en las regiones de rayos X suaves (<.2nm) y ultravioleta extremo (10 nm-124 nm).



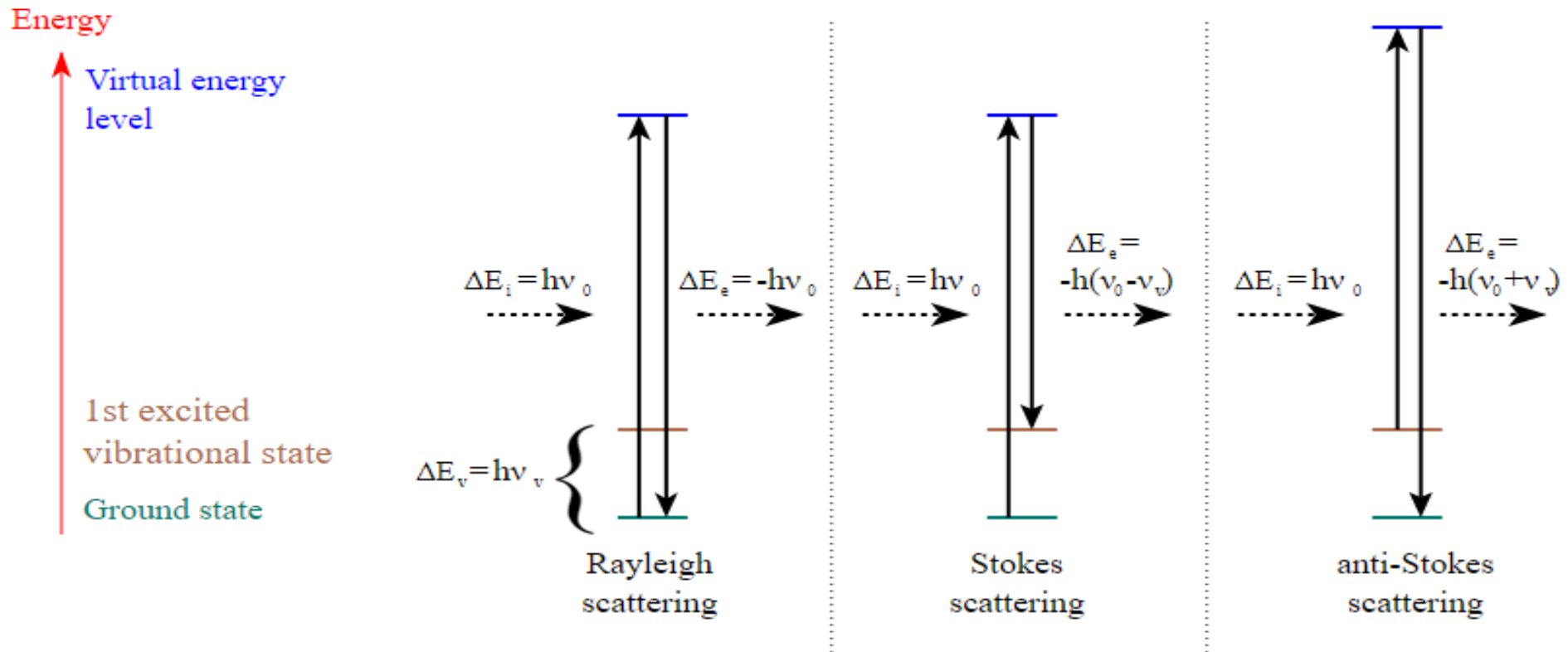
Ancho de Banda

- El principio de incertidumbre requiere que: $\Delta\tau\Delta\nu > 1$
- Es decir que para un pulso con un periodo menor a femtosegundos necesitamos: $\Delta\nu > 10^{15} \text{ Hz}$



Métodos para generar modos con 10^{15} Hz de ancho de banda

- Principalmente se usan dos métodos para generar modos igualmente espaciados con este ancho de banda.
 1. Dispersión de Raman en cascada.
 2. Generación de armónicos de alto orden (HHG)



Dispersión de Raman

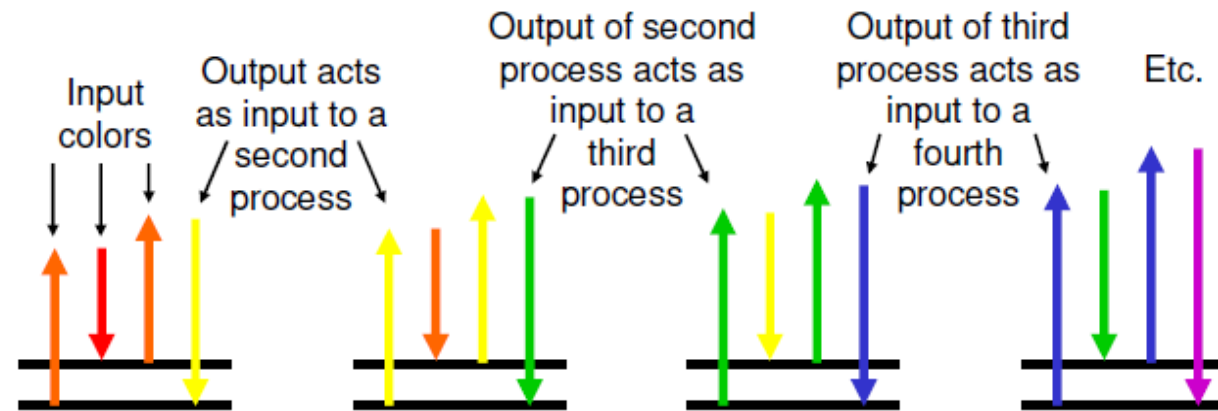
- La dispersión Raman es una dispersión inelástica, lo que significa que la energía cinética de un fotón incidente aumenta (dispersión Stokes Raman) o se reduce (dispersión anti-Stokes Raman) durante la interacción.

Raman scattering: broadband output

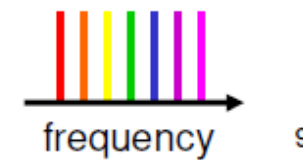
Input two frequencies nearly resonant with a Raman resonance.



At high intensity, the process cascades many times.



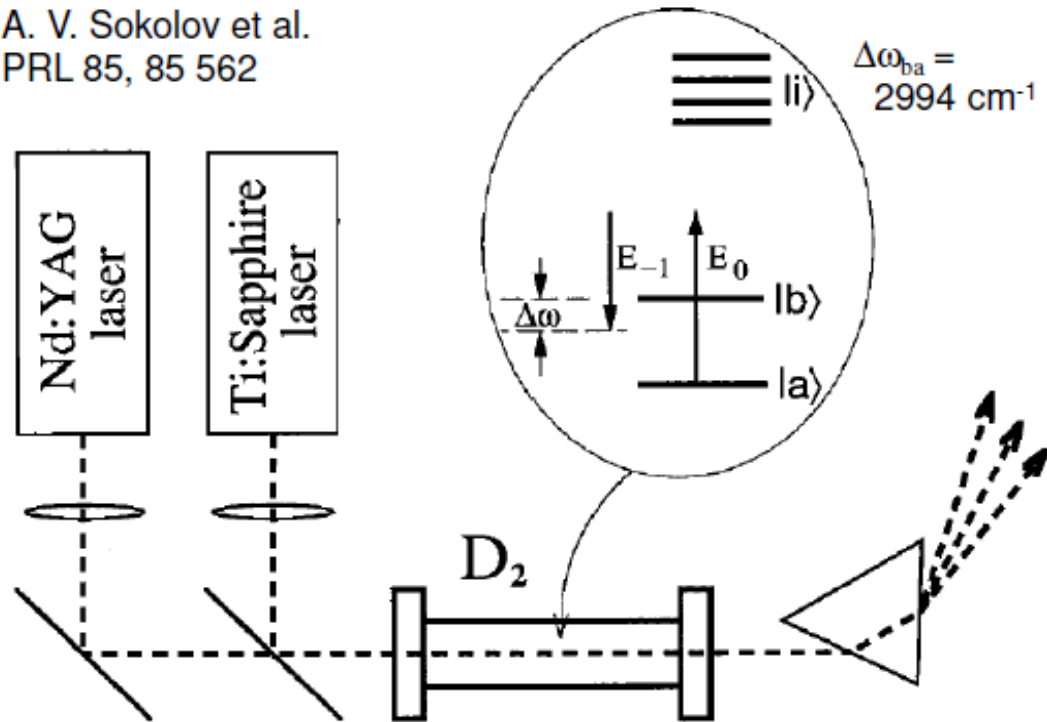
Raman processes can cascade many times, yielding a series of equally spaced modes!



S. E. Harris and A. V. Sokolov PRL 81, 2894

Cascaded Raman generation

A. V. Sokolov et al.
PRL 85, 85 562

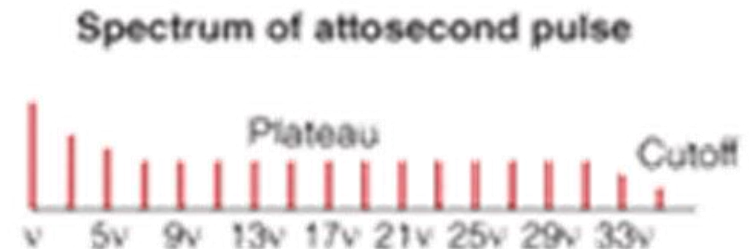
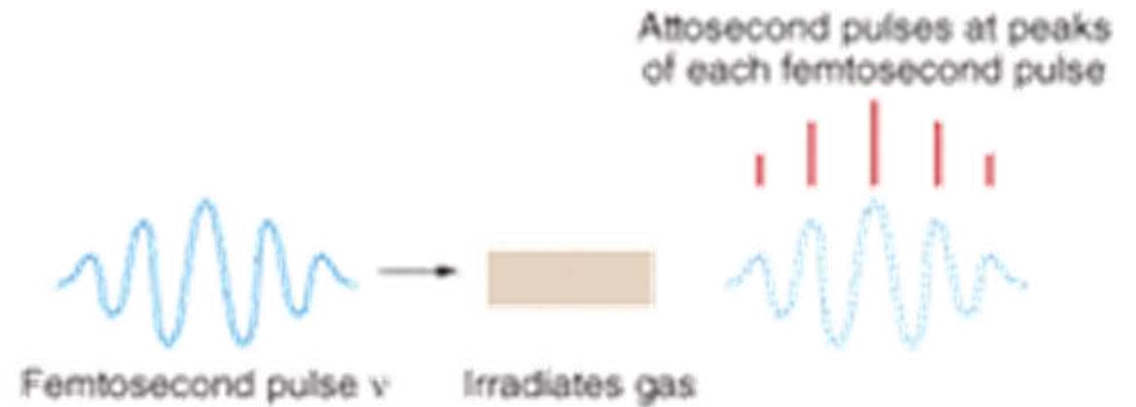


Steve Harris,
Stanford Univ.

This can be done with high-power **nanosecond** laser pulses!

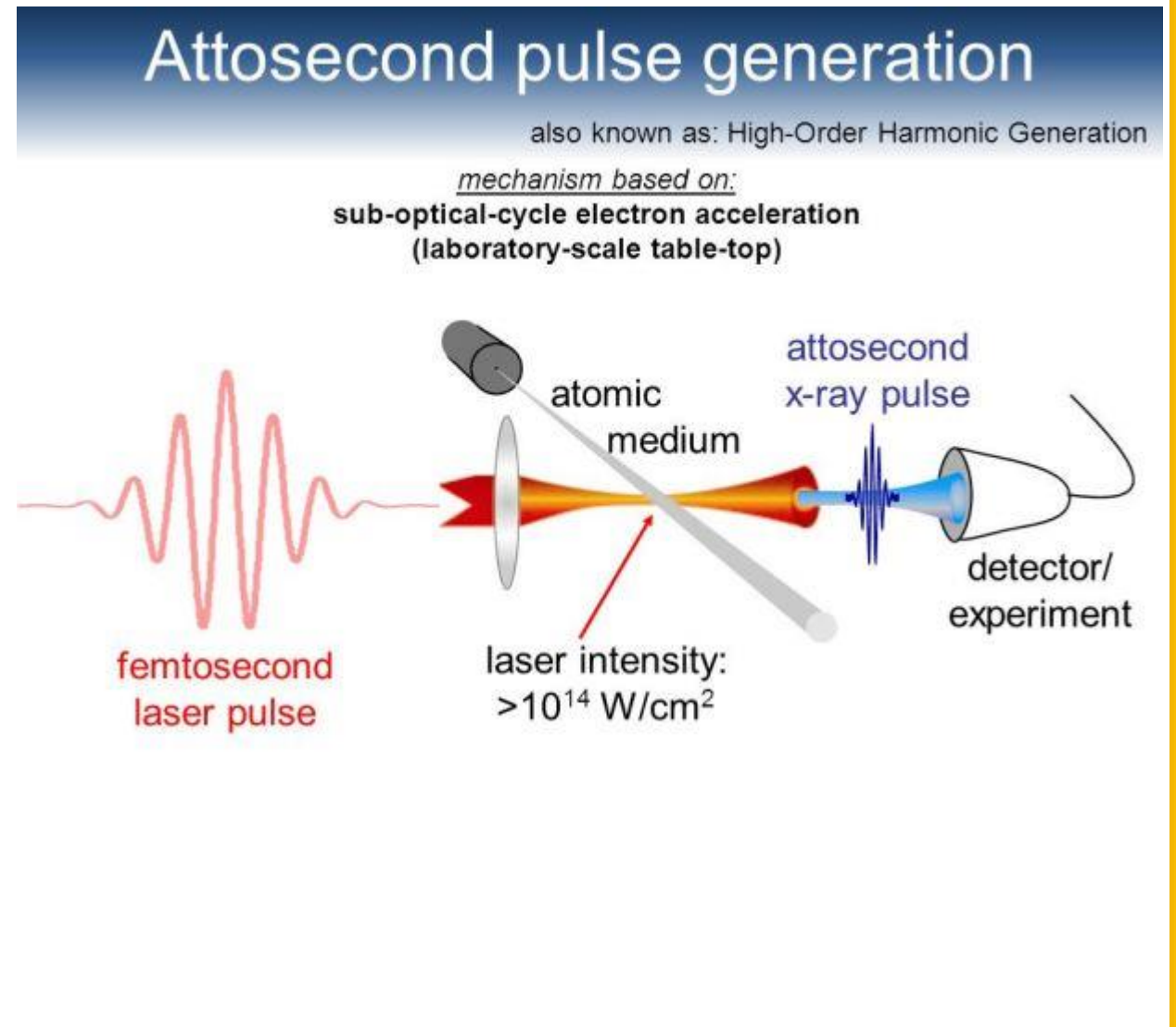
Generación de armónicos de alto orden (HHG)

- Consiste en enfocar un pulso de un láser intenso en un chorro de gases, esto genera armónicos de alto orden en múltiplos impares de la frecuencia del pulso de láser inicial.
- Al filtrar los armónicos más bajos, se crea un peine de frecuencia amplio similar a los modos espectrales de un láser con amarre de modos, pero llegando al ultravioleta extremo.
- La superposición coherente de estas frecuencias en un rango suficientemente amplio puede producir pulsos extremadamente cortos.



Generación de armónicos de alto orden (HHG)

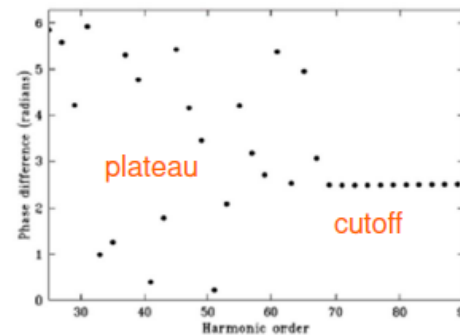
- El proceso puede ser descrito por un modelo de tres pasos
 1. Ionización: El laser de femtosegundos ioniza un electrón de un átomo (comúnmente de un gas noble) y lo acelera hacia el espacio libre.
 2. Aceleración: Cuando el campo eléctrico cambia dirección, el electrón se voltea hacia el otro lado y acelera de regreso hacia el ion padre, ganando una cantidad sustancial de energía cinética.
 3. Recombinación: Si el electrón se recombina con el ion padre, el exceso de energía cinética se libera como un solo fotón de alta energía.



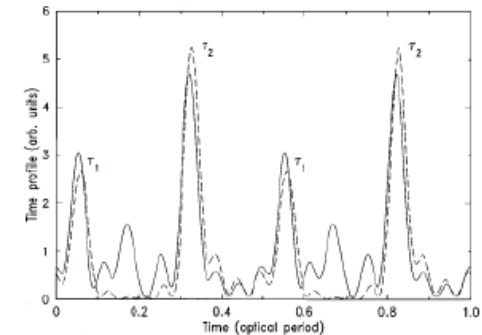
Fase de los armónicos de alto orden generados

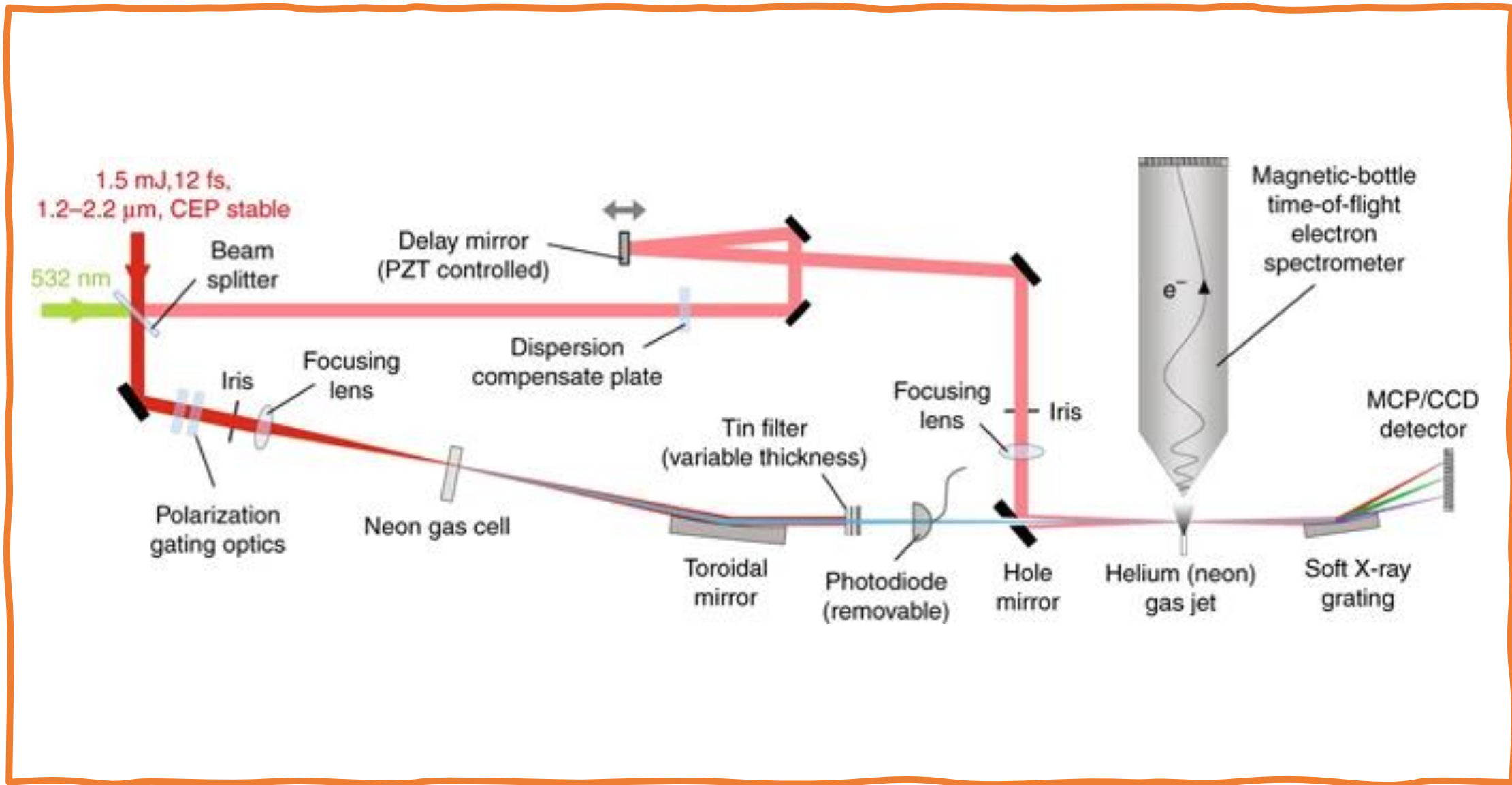
- Si todos los armónicos generados estuvieran en fase, este método podría utilizarse para generar los pulsos de luz mas cortos del mundo.
- ¡Sin embargo, de manera general no lo están!

Measuring the relative phases of adjacent harmonics:



The resulting intensity vs. time:





¿Por qué se le llama emisión laser?

- Tiene con los componentes principales de un laser
- Se genera luz por medio de un proceso parecido al de emisión estimulada
- La luz emitida es coherente



Aplicaciones

- La aplicación principal de los pulsos de attosegundos es observar y medir el movimiento de los electrones en procesos atómicos.
- Sin embargo, un gran número de aplicaciones han sido reportadas en los últimos 18 años, algunas de estas son:
 1. Medición del retraso en fotoemisión de un sólido
 2. Análisis del proceso de ionización túnel
 3. Investigación de procesos de migración de carga en aminoácidos
 4. Aplicaciones militares e industriales

Conclusiones

- Esto solo es el comienzo para la ciencia de attosegundos
- El descubrimiento de estos pulsos abrió nuevas fronteras hacia procesos físicos nunca antes observados. Por lo que la física de attosegundos sigue siendo un campo de investigación abierto con un gran potencial para la innovación y la ciencia de vanguardia.
- Los avances en la tecnología láser jugarán un papel crucial en el desarrollo de la ciencia de attosegundos en los próximos años.

Referencias

- <https://www.europhysicsnews.org/articles/e pn/pdf/2019/02/e pn2019502p11.pdf>
- <https://www.laserfocusworld.com/test-measurement/research/article/16556055/photonic-frontiers-attosecond-physics-attosecond-pulses-open-new-window-on-atomic-physics>
- <http://www.sci-news.com/physics/shortest-laser-pulse-05110.html>
- https://www.brown.edu/research/labs/mittleman/sites/brown.edu.research.labs.mittleman/files/uploads/lecture19_3.pdf
- https://en.wikipedia.org/wiki/Raman_scattering
- <https://www.nature.com/articles/s41467-017-00321-0>