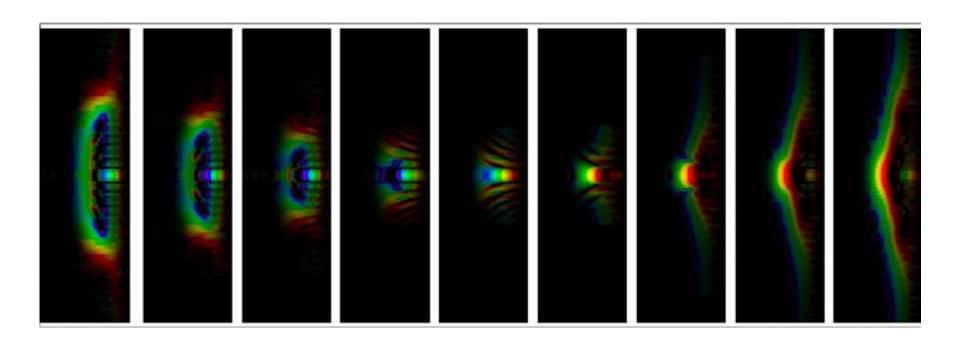
Нелинейно-оптические методы измерений в фемтосекундной оптике

О важности измерения временного профиля оптических импульсов



развертка фокусировки импульса

О важности измерения временного профиля

оптических импульсов

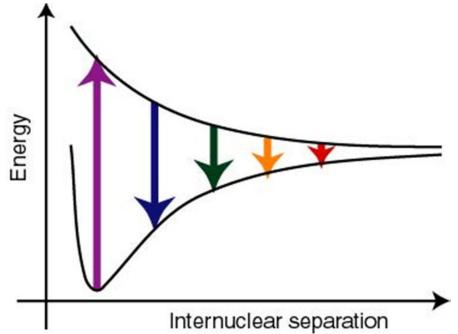


схема изменения свечения (люминесценции) молекулы при ее фотодиссоциации

временная развертка дает информацию о молекулярной динамике

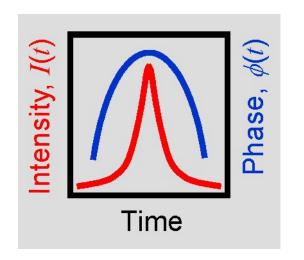
Приложения:

- сверхбыстрая спектроскопия
- лазерноиндуцированная химия
- лазерная метрология
- сверхбыстрое электрооптическое тестирование микросхем
- лазерноиндуцированная плазма
- генерация высших гармоник
- аттосекундная оптика
- оптические коммуникации
- биомедицинские приложения

Об интенсивности и фазе в импульсе

временное представление импульса

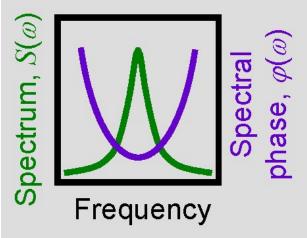
$$E(t) = \text{Re}\left[\sqrt{I(t)}\exp(i\omega_0 t - i\phi(t))\right]$$



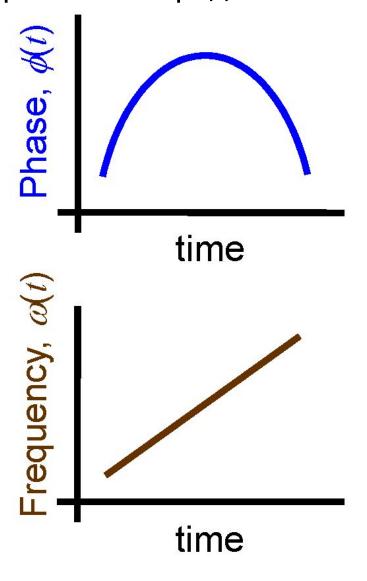
спектральное представление импульса

$$E(\omega) = \sqrt{S(\omega)} \exp(i\varphi(\omega)t)$$

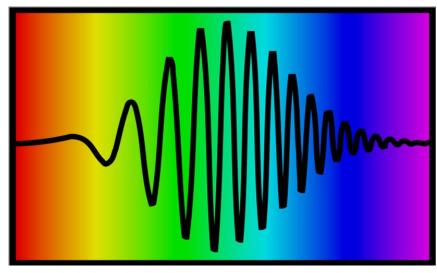
$$\varphi(\omega) = \varphi_0 + \frac{d\varphi}{d\omega}\bigg|_{\omega = \omega_0} (\omega - \omega_0) + \frac{1}{2} \frac{d^2 \varphi}{d\omega^2}\bigg|_{\omega = \omega} (\omega - \omega_0)^2 + \dots$$



Об интенсивности и фазе в импульсе: линейный чирп (временное представление)



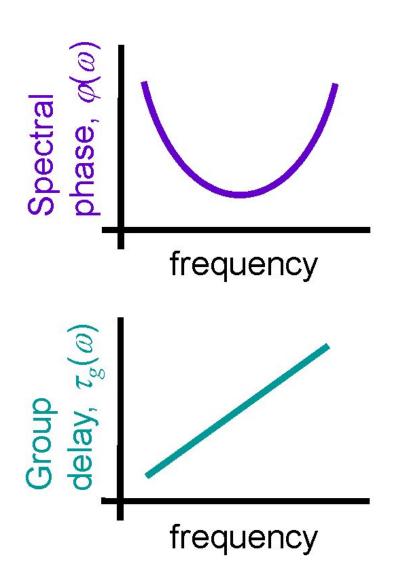
Фаза импульса определяет мгновенную частоту (цвет) импульса



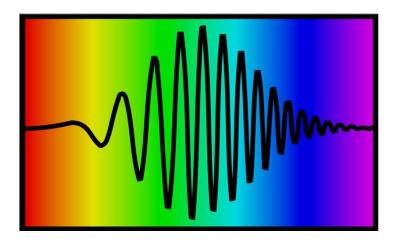
$$E(t)=\mathrm{Re}\Big[\sqrt{I(t)}\mathrm{exp}\big(i\omega_0t-i\phi(t)\big)\Big]$$
 если $\phi(t)=-\alpha t^2$, то

$$\omega(t) = \omega_0 - \frac{d\phi}{dt} = \omega_0 + 2\alpha t$$

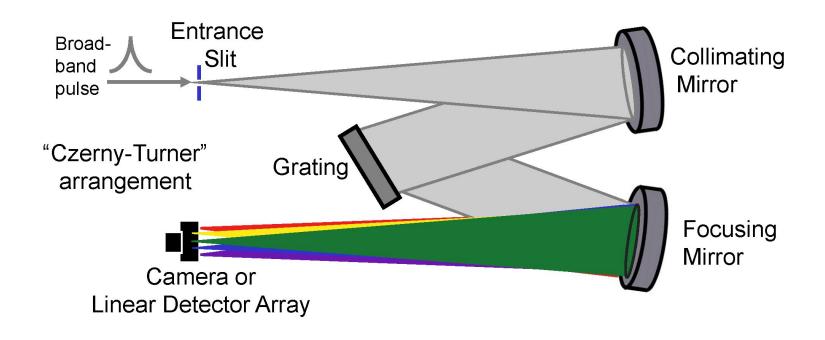
Об интенсивности и фазе в импульсе: линейный чирп (спектральное представление)



Фаза импульса определяет мгновенную частоту (цвет) импульса

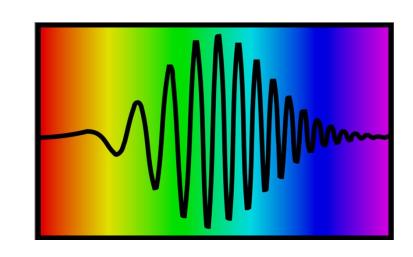


Потеря информации о фазе в спектральных измерениях



$$E(\omega) = \sqrt{S(\omega)} \exp(i\varphi(\omega)t)$$

Измеряется $S(\omega)$, а не $\varphi(\omega)$



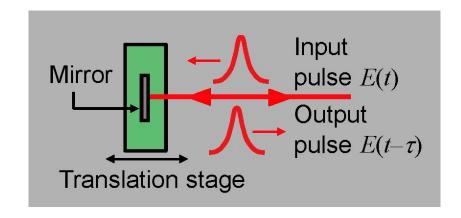
Временные измерения: как достигнуть фемтосекундного разрешения?

Все детекторы медленные (не быстрее 1 нс) (самые быстрые - стрик-камеры)

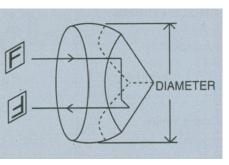
но можно создать оптическую задержку

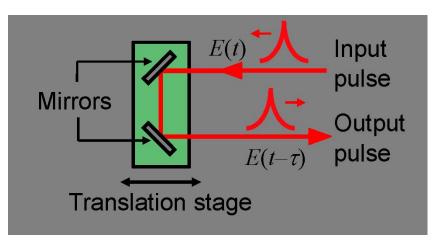
$$\tau = 2L/c$$

300 мкм □ 2 пс

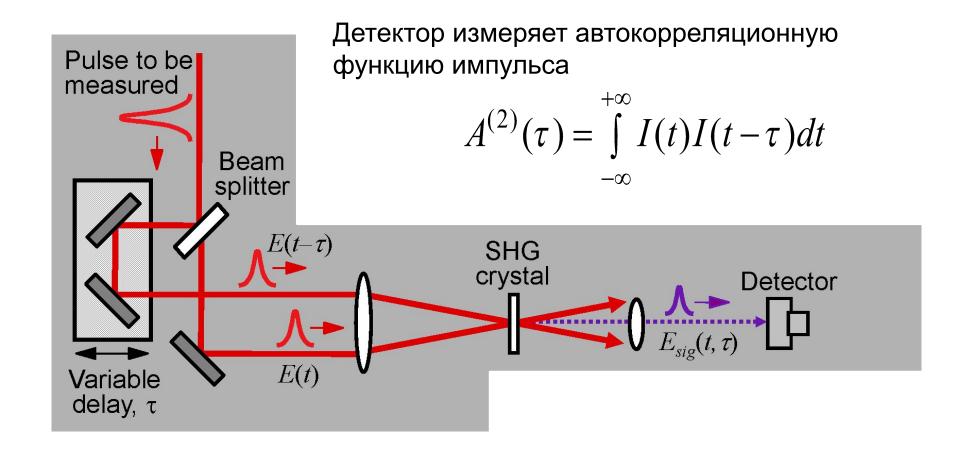


тройное отражение сохраняет параллельность входного и выходного импульсов





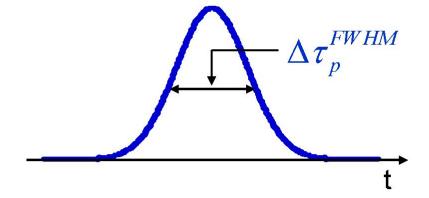
Автокорреляционные измерения

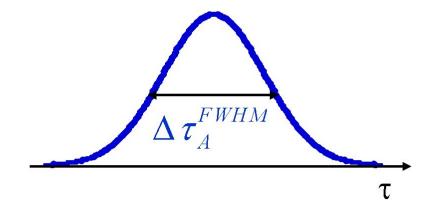


Автокорреляционные измерения гауссовых импульсов

$$I(t) = \exp \left[-\left(\frac{2\sqrt{\ln 2}t}{\Delta \tau_p^{FWHM}}\right)^2 \right]$$

$$A^{(2)}(\tau) = \exp \left[-\left(\frac{2\sqrt{\ln 2}\tau}{\Delta \tau_A^{FWHM}}\right)^2 \right]$$





$$1.41 \Delta au_p^{FWHM}$$

$$\Delta au_{A}^{FWHM}$$

Автокорреляционные измерения sech-импульсов

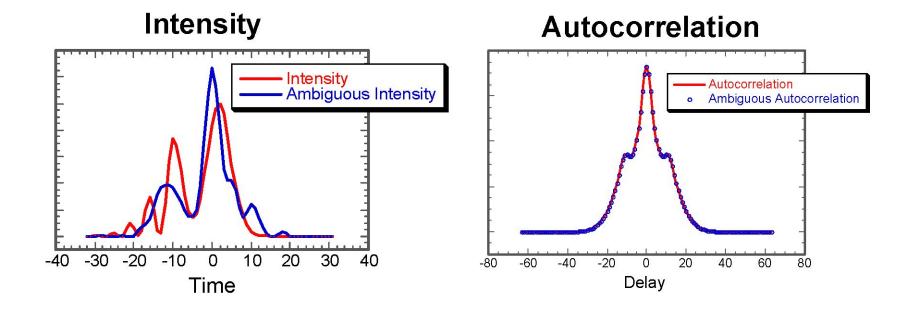
$$I(t) = \operatorname{sech}^{2} \left[\frac{1.7627t}{\Delta t_{p}^{FWHM}} \right] \frac{3}{\sinh^{2} \left(\frac{2.7196\tau}{\Delta \tau_{A}^{FWHM}} \operatorname{coth} \left(\frac{2.7196\tau}{\Delta \tau_{A}^{FWHM}} \right) - 1 \right]} \Delta \tau_{p}^{FWHM}$$

$$1.54 \Delta \tau_{p}^{FWHM} = \Delta \tau_{A}^{FWHM}$$

Недостатки автокорреляционных измерений

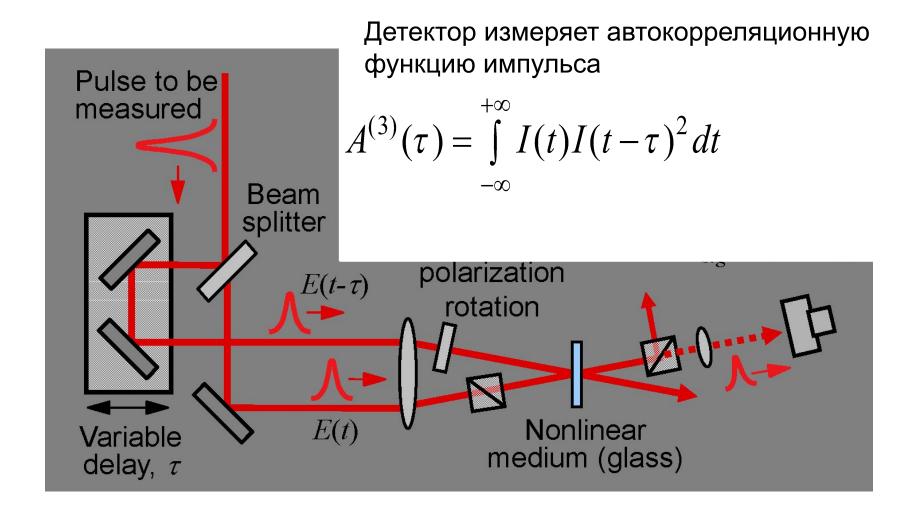
автокорреляционная функция симметрична

$$A^{(2)}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(t)I(t-\tau)dt = \left[t_1 = t - \tau\right] = \int_{-\infty}^{+\infty} I(t_1 + \tau)I(t_1)dt_1 = A^{(2)}(-\tau)$$



неоднозначность в восстановлении импульса

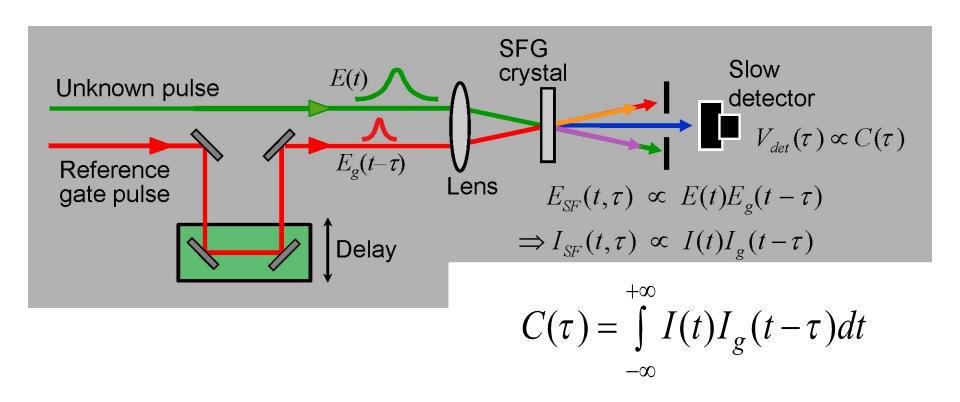
Вариант решения - кубичные автокорреляционные измерения



автокорреляционная функция несимметрична, но информация о фазе по-прежнему утеряна

Другой вариант – использование стробирование коротким импульсом

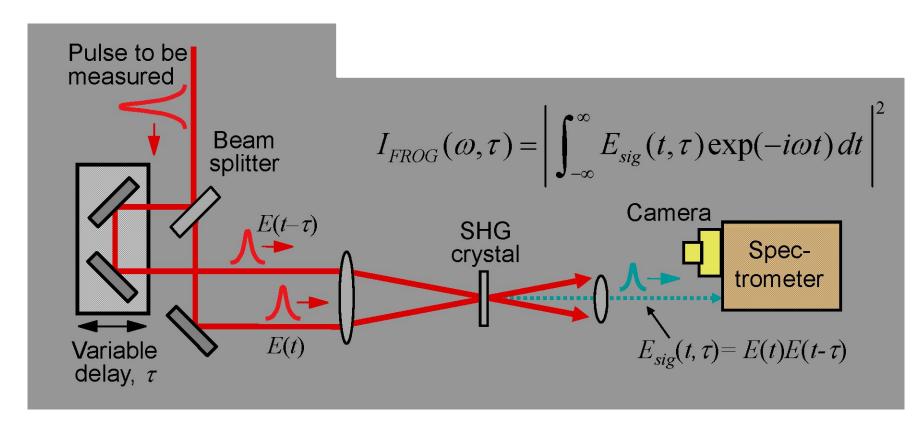
Детектор измеряет кросс-корреляционную функцию импульсов



требуется референсный импульс, короче измеряемого

Последний вариант – поставить спектрометр

Frequency-Resolved Optical Gating (FROG) детектор после спектрометра измеряет спектрограмму



проблема – решение обратной задачи восстановления импульса