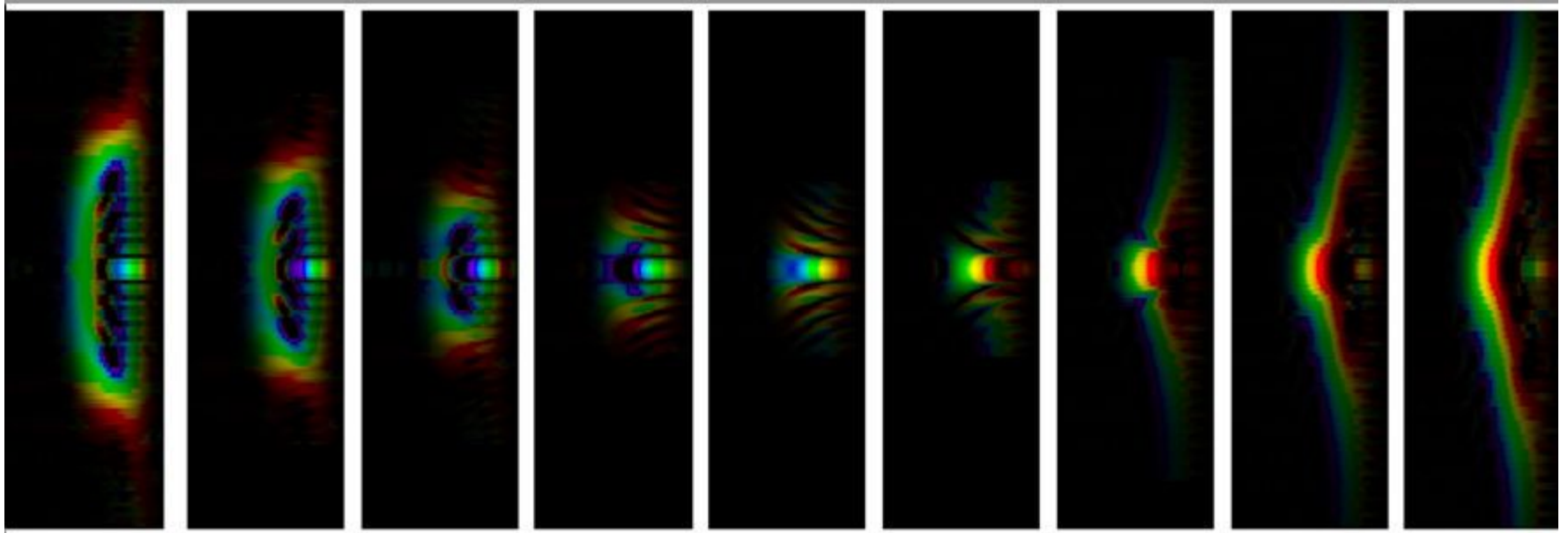


Нелинейно-оптические методы измерений в фемтосекундной оптике

О важности измерения временного профиля оптических импульсов



развертка фокусировки импульса

О важности измерения временного профиля оптических импульсов

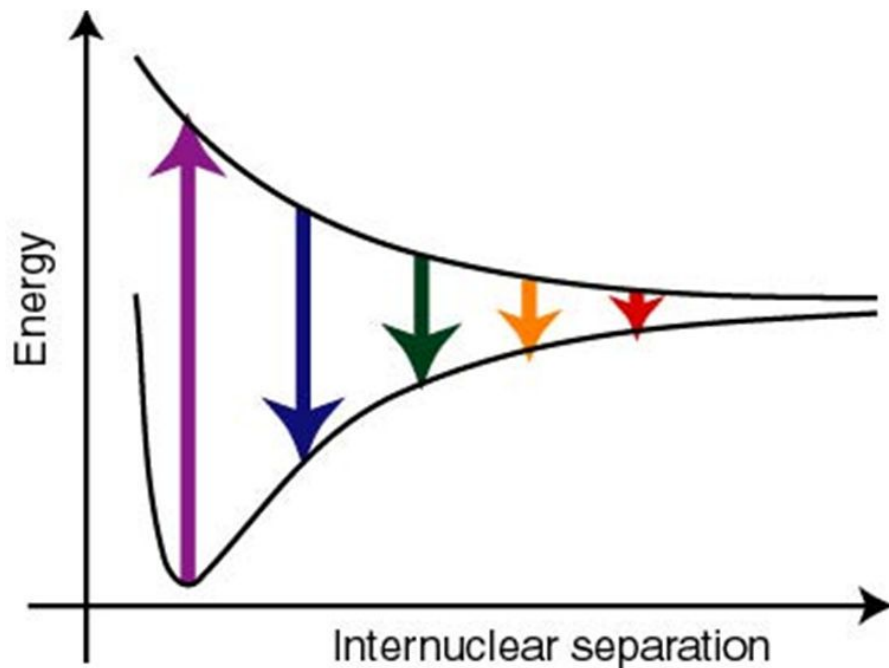


схема изменения свечения
(люминесценции) молекулы
при ее фотодиссоциации
□ временная развертка дает
информацию о
молекулярной динамике

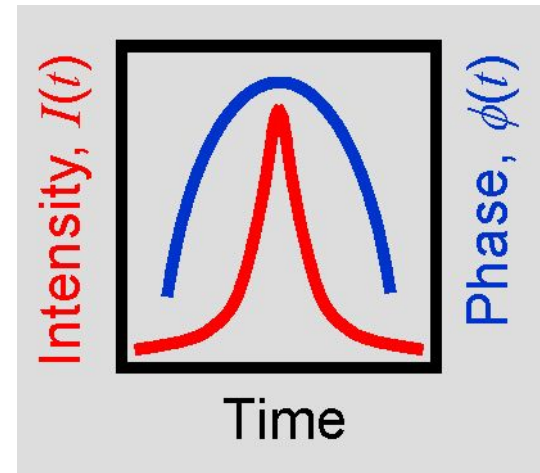
Приложения:

- 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

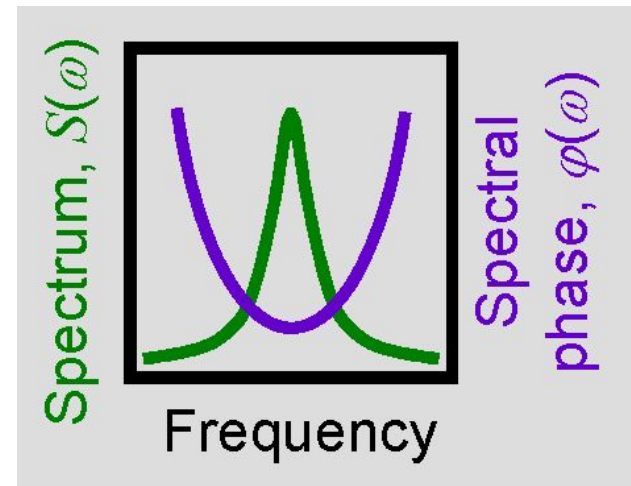
временное представление импульса

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



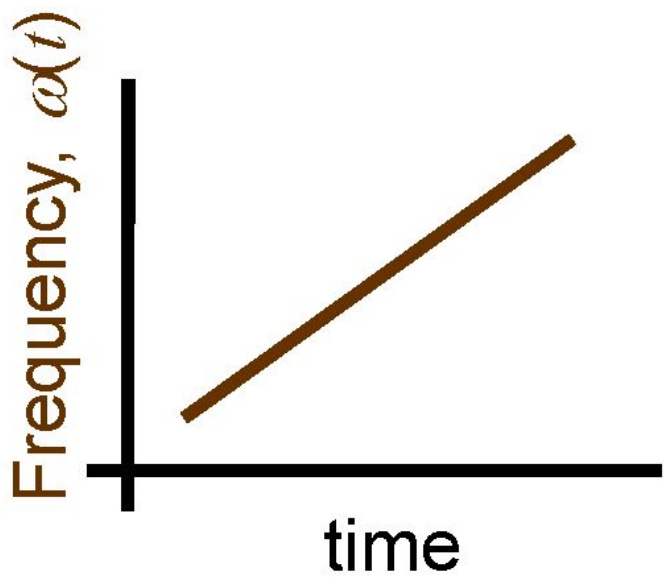
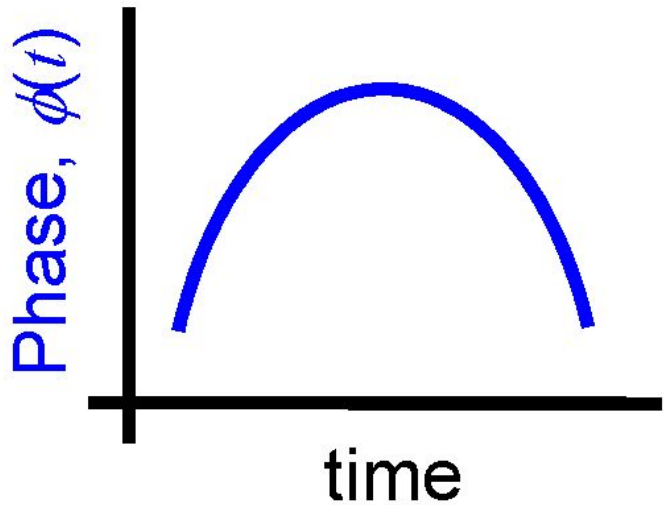
спектральное представление импульса

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

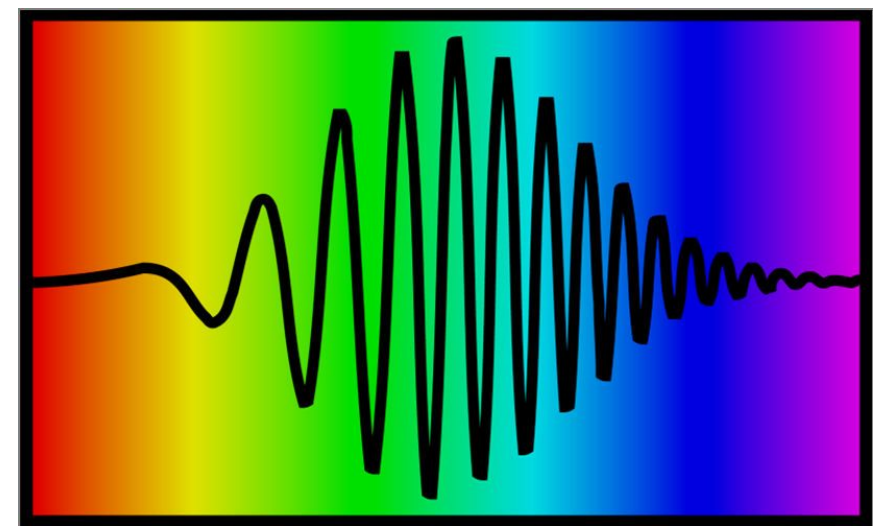


$$\phi(\omega) = \phi_0 + \left. \frac{d\phi}{d\omega} \right|_{\omega=\omega_0} (\omega - \omega_0) + \frac{1}{2} \left. \frac{d^2\phi}{d\omega^2} \right|_{\omega=\omega_0} (\omega - \omega_0)^2 + \dots$$

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



Фаза импульса определяет
мгновенную частоту (цвет)
импульса

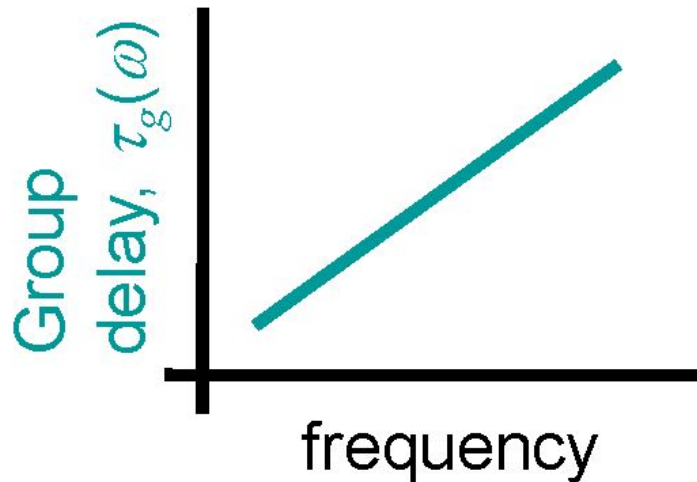
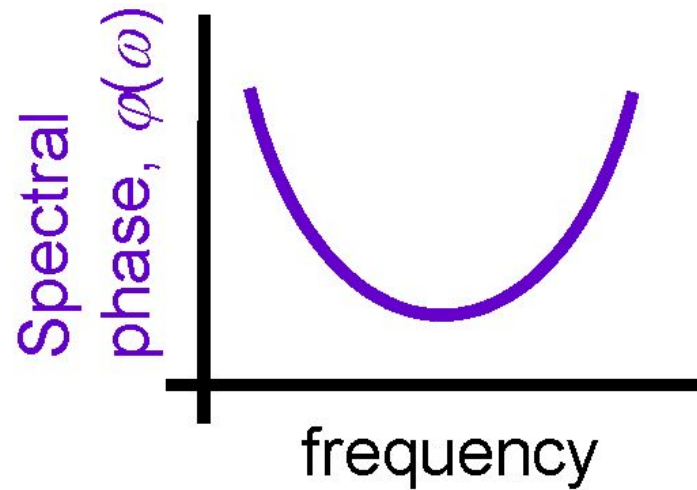


$$E(t) = \text{Re} \left[\sqrt{I(t)} \exp(i\omega_0 t - i\phi(t)) \right]$$

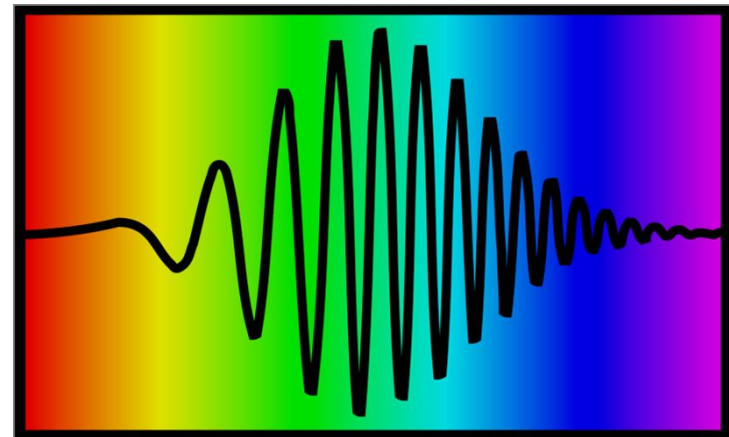
если $\phi(t) = -\alpha t^2$, то

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

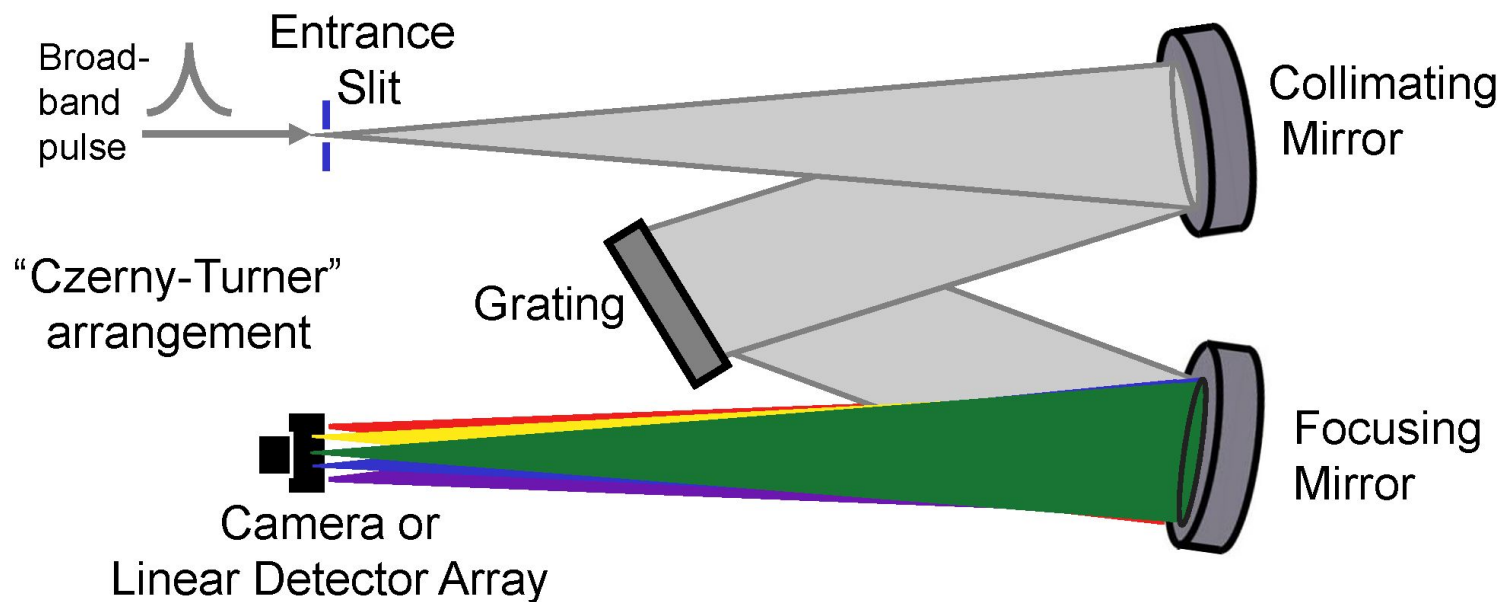
Об интенсивности и фазе в импульсе: линейный чирп (спектральное представление)



Фаза импульса определяет мгновенную частоту (цвет) импульса

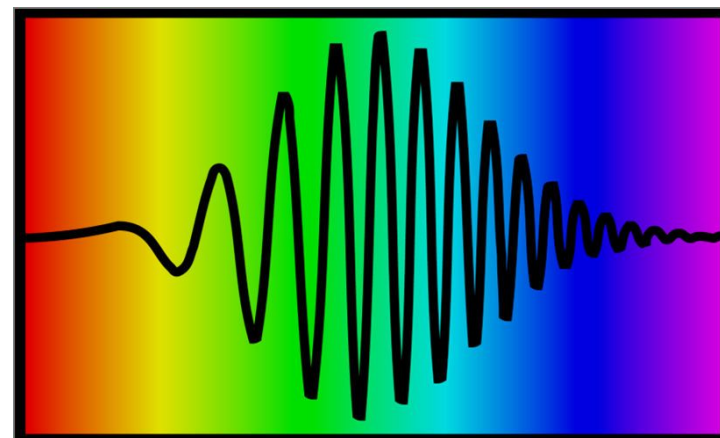


Потеря информации о фазе в спектральных измерениях



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

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



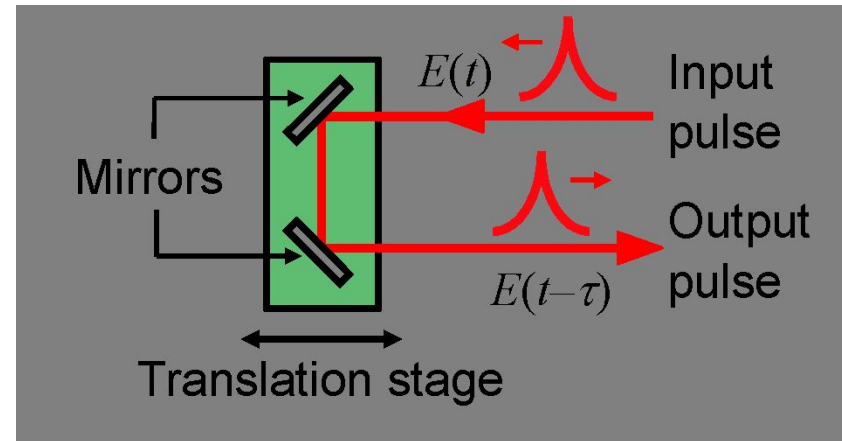
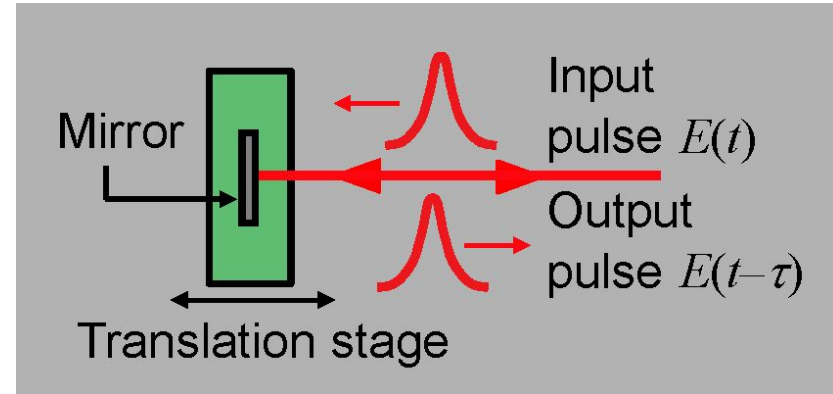
Временные измерения: как достигнуть фемтосекундного разрешения?

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

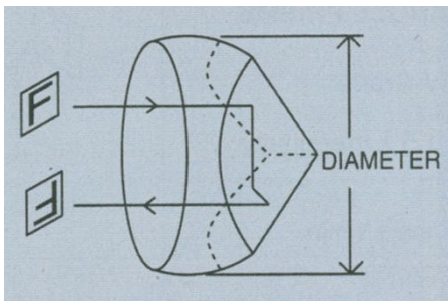
но можно создать оптическую задержку

$$\tau = 2L/c$$

300 мкм \square 2 пс



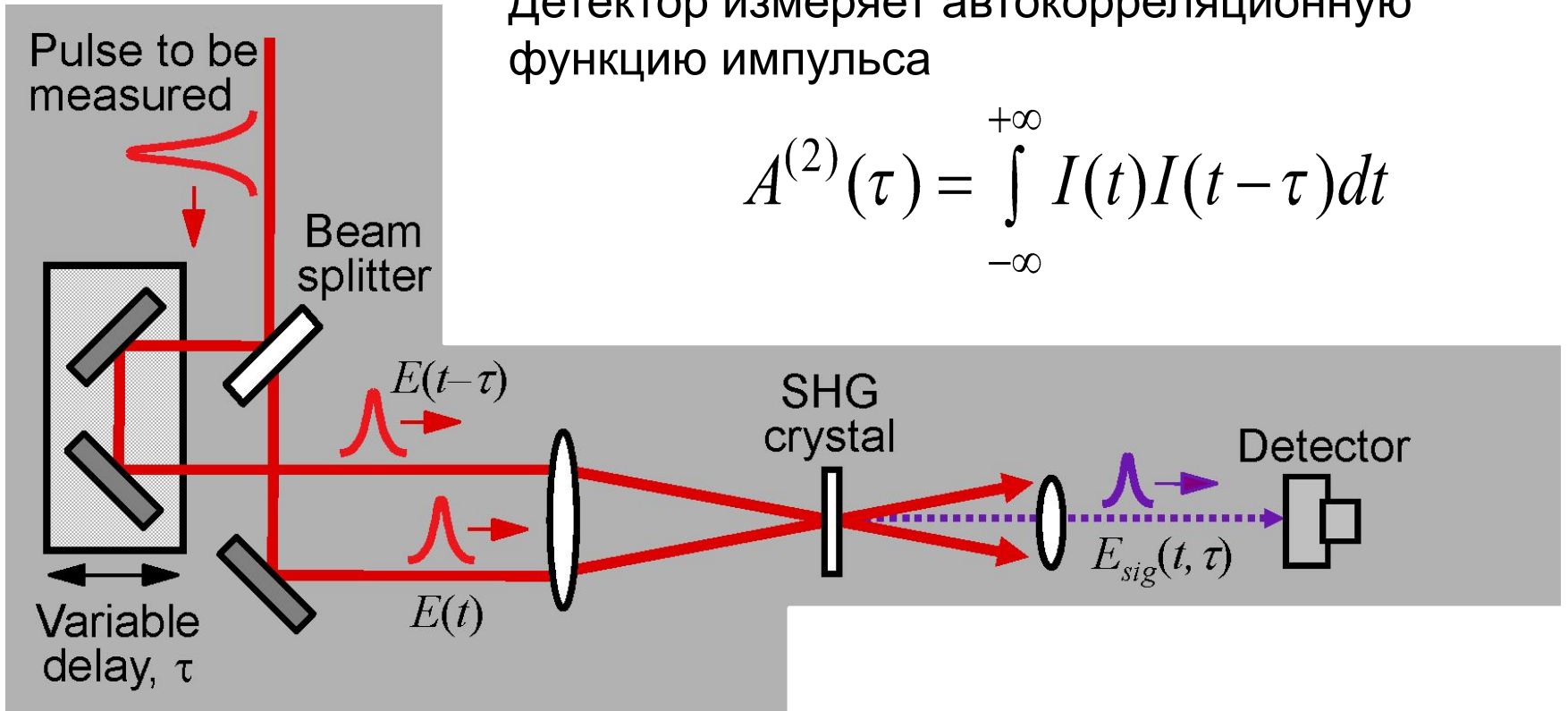
тройное отражение
сохраняет параллельность
входного и выходного
импульсов



Автокорреляционные измерения

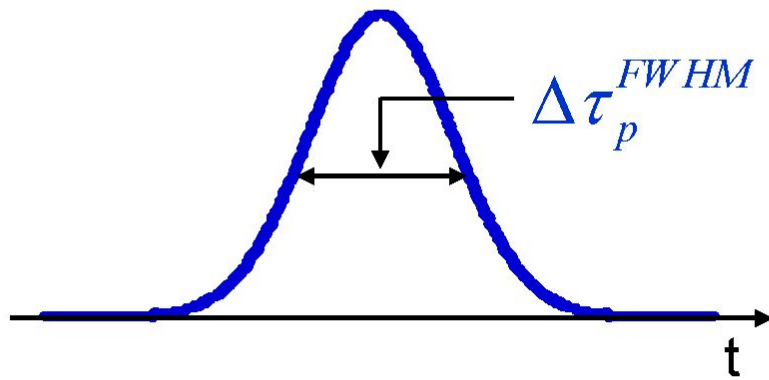
Детектор измеряет автокорреляционную функцию импульса

$$A^{(2)}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(t)I(t-\tau)dt$$

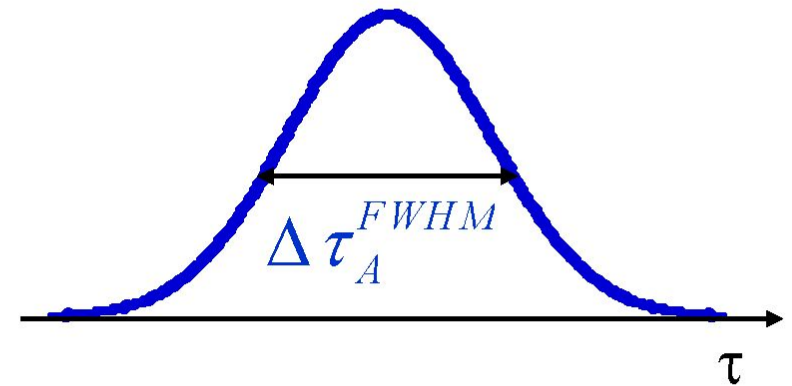


Автокорреляционные измерения гауссовых импульсов

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



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

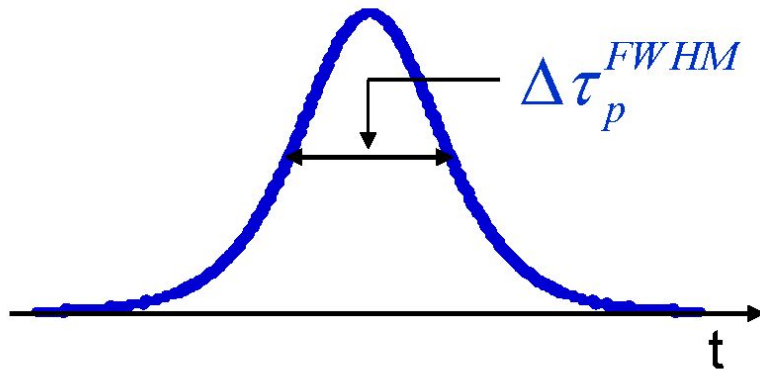


$$1.41 \Delta\tau_p^{FWHM} = \Delta\tau_A^{FWHM}$$

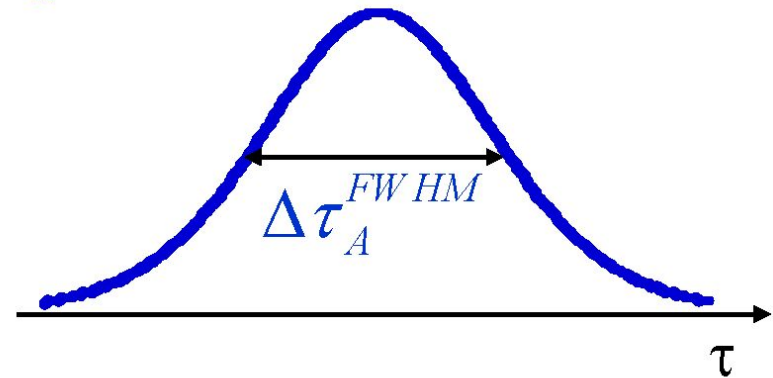
Автокорреляционные измерения sech-импульсов

$$I(t) = \operatorname{sech}^2 \left[\frac{1.7627t}{\Delta t_p^{FWHM}} \right]$$

$$A^{(2)}(\tau) = \frac{3}{\sinh^2 \left(\frac{2.7196\tau}{\Delta \tau_A^{FWHM}} \right)} \left[\frac{2.7196\tau}{\Delta \tau_A^{FWHM}} \coth \left(\frac{2.7196\tau}{\Delta \tau_A^{FWHM}} \right) - 1 \right]$$



$$1.54 \Delta \tau_p^{FWHM}$$



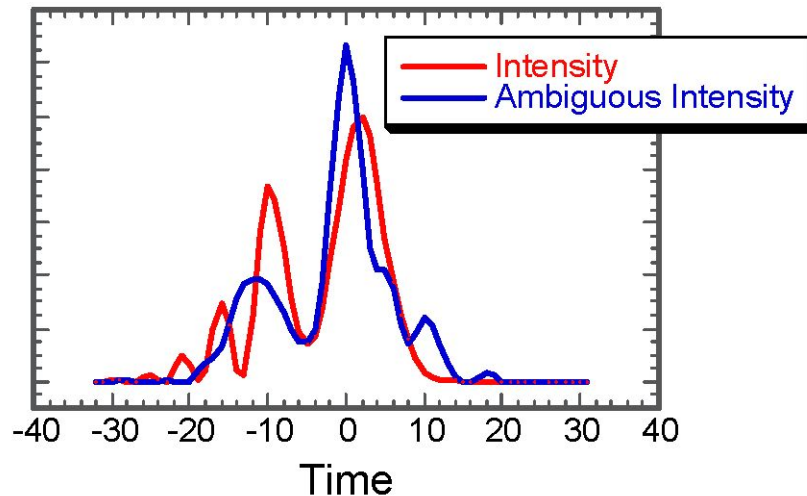
$$= \Delta \tau_A^{FWHM}$$

Недостатки автокорреляционных измерений

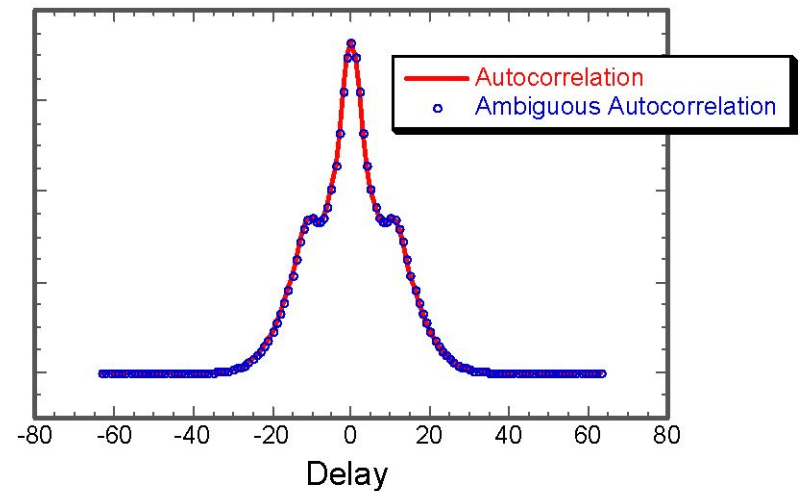
автокорреляционная функция симметрична

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

Intensity



Autocorrelation

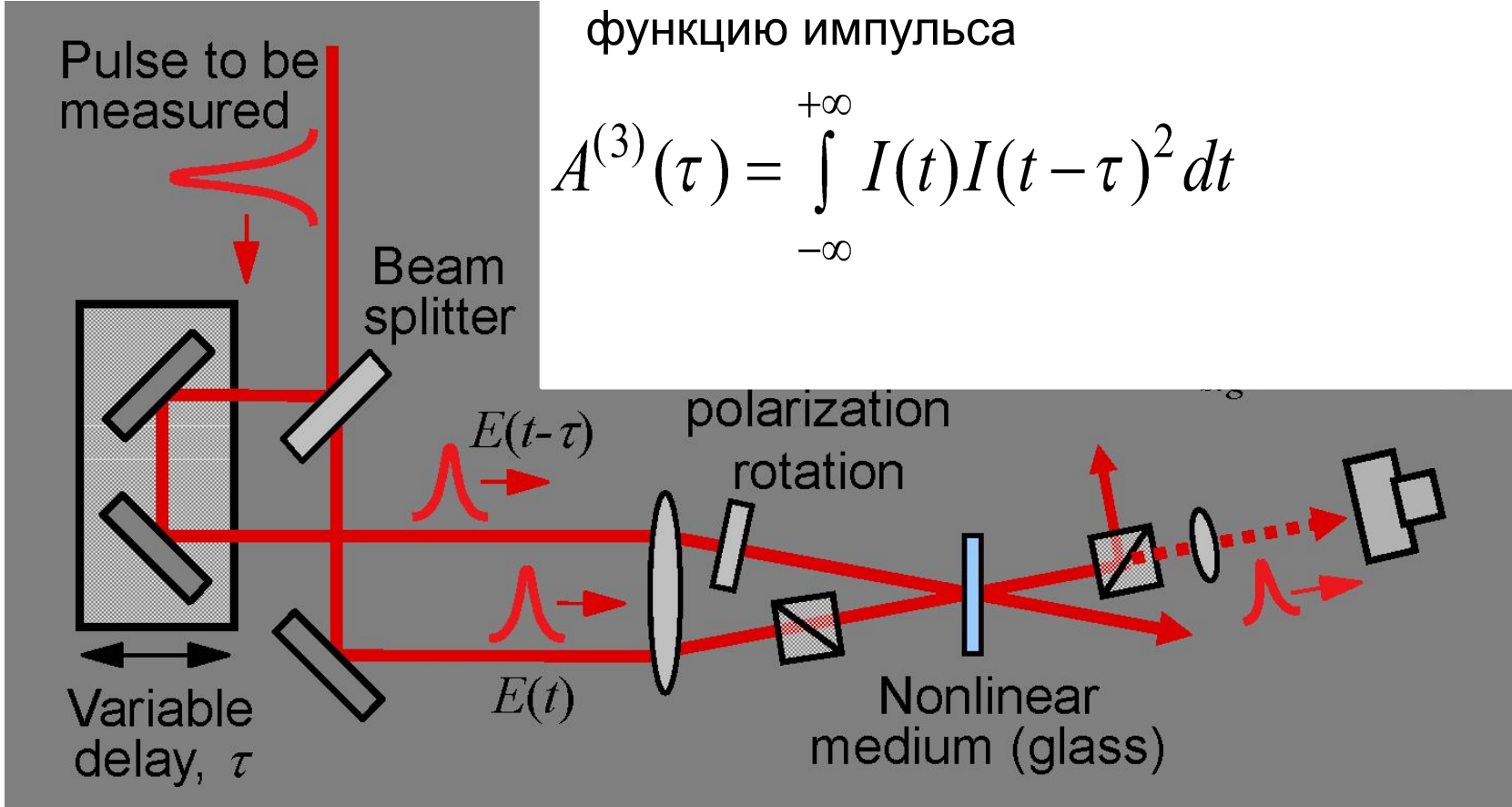


□ неоднозначность в восстановлении импульса

Вариант решения - кубичные автокорреляционные измерения

Детектор измеряет автокорреляционную функцию импульса

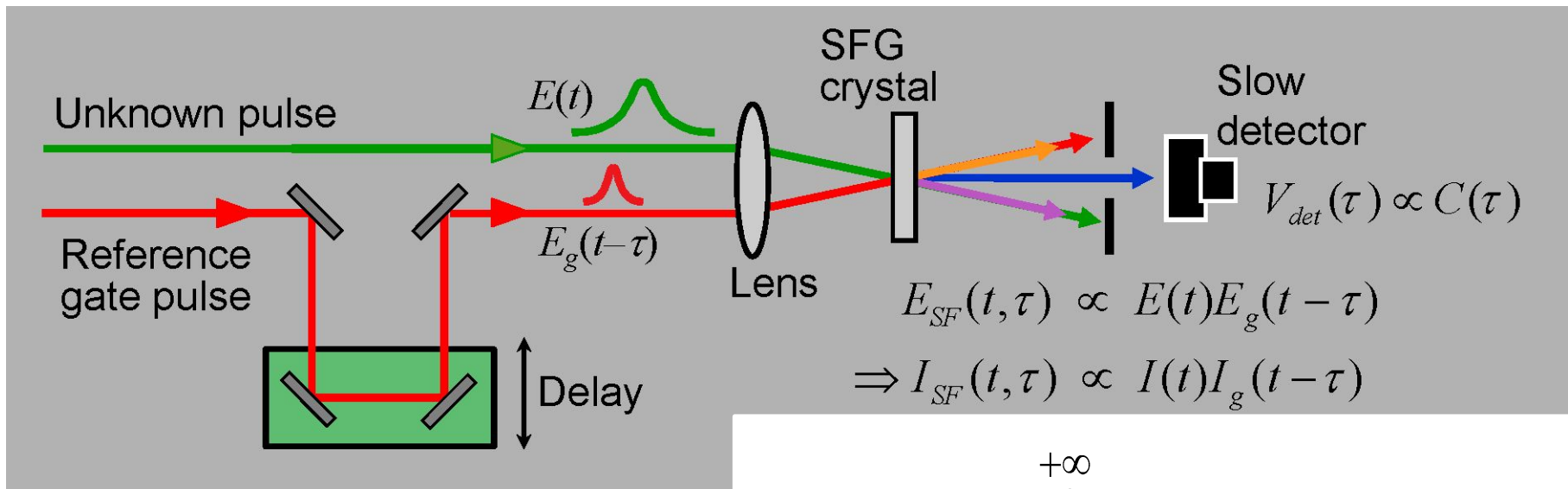
$$A^{(3)}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(t)I(t-\tau)^2 dt$$



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

Другой вариант – использование стробирования коротким импульсом

Детектор измеряет кросс-корреляционную функцию импульсов



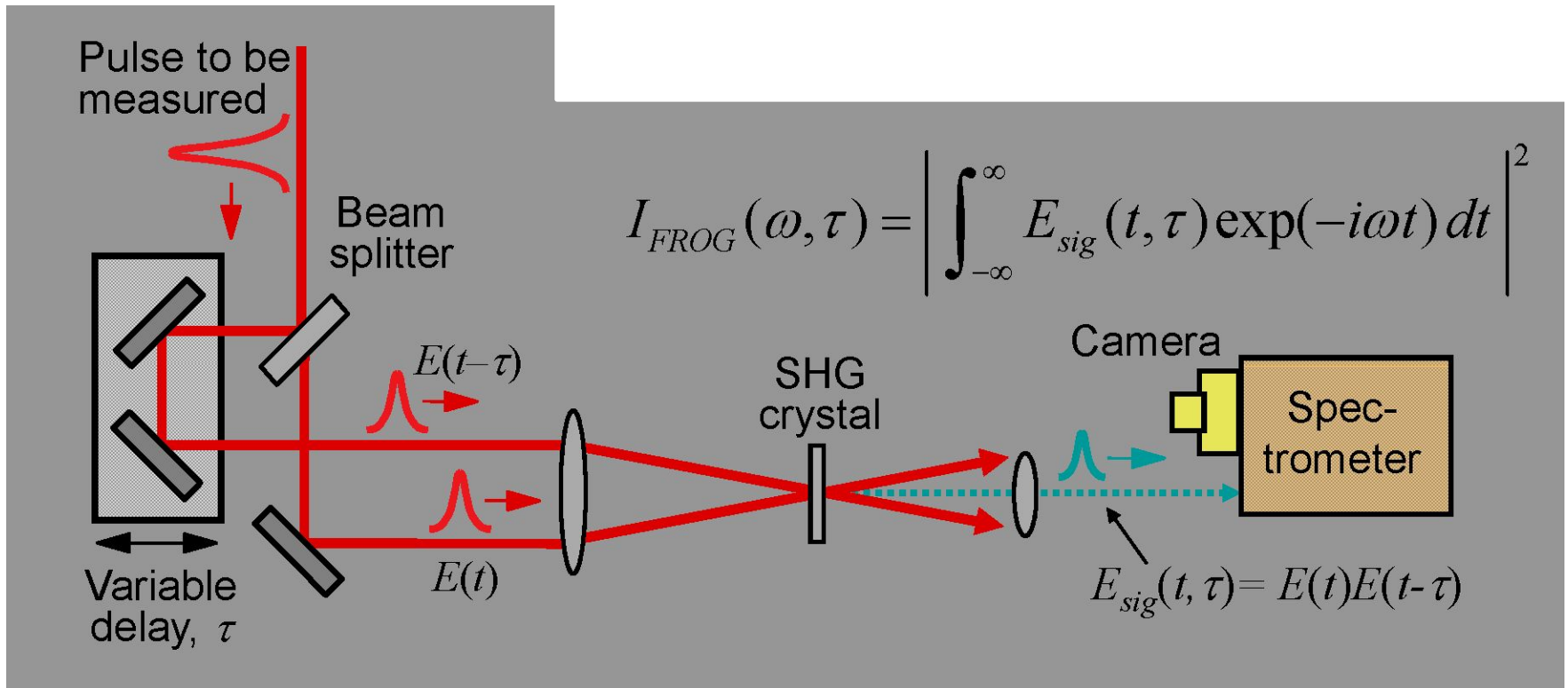
$$C(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(t)I_g(t-\tau)dt$$

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