

Экспериментальные методы исследования плазмы, ч. 1

Электронный лекционный курс*
Судников А. В.

Лекция 13 Обработка и интерпретация экспериментальных данных

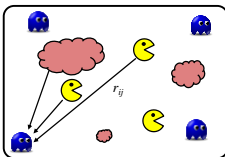
© Новосибирский государственный университет 2013 г. Редакция 2017 г.




* Курс подготовлен в рамках реализации Программы развития НИУ НГУ на 2009–2018 годы

Обработка и интерпретация данных

- Фурье-анализ
- Вейвлет-анализ
- Корреляции
- Сингулярное разложение
- Восстановление пространственных распределений

Из чего складывается экспериментальный сигнал



-  Источник сигнала
-  Источник шума
-  Приёмник

Каждый источник создаёт свой сигнал, произвольным образом зависящий от времени:

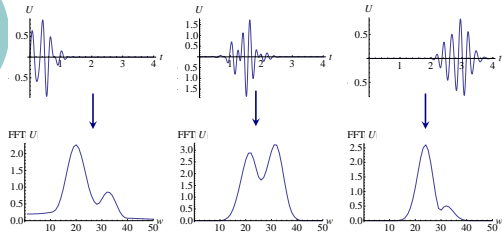
$$F_i(t)$$

Каждый из приёмников принимает все источники. Детектируемая амплитуда зависит от расстояния, характеристик источника и приёмника и т.д. Кроме того, приёмники принимают шумы, которые могут быть не скоррелированы между собой

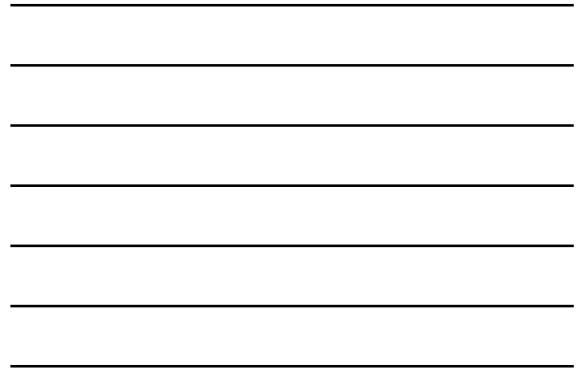
$$U_j(t) = \sum_k F_k(t) + R_j(t)$$

Задача — определить сигнал, создаваемый i -м источником.

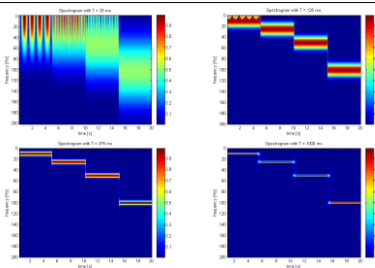
Оконное преобразование Фурье



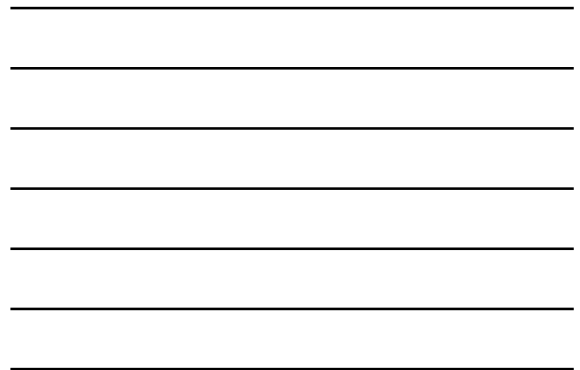
Выполняется преобразование Фурье сигнала, свёрнутого с некоторой оконной функцией, отличной от нуля в конечном интервале времени. Ответ содержит только частоты, существовавшие в данном интервале.



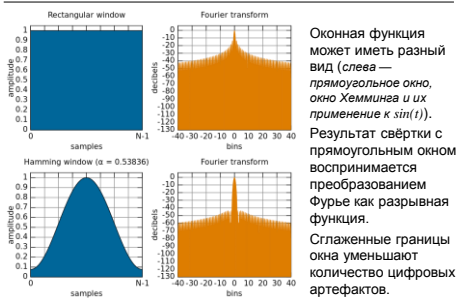
Оконное преобразование Фурье. Ширина окна



Разрешение по времени и частоте ограничено соотношением неопределённостей: $\delta f \delta t > 1/2$. Подбор длины окна определяется свойствами сигнала.



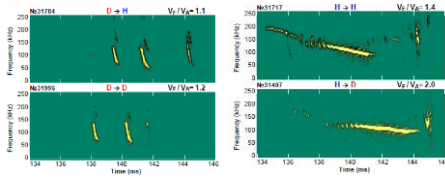
Оконное преобразование Фурье. Форма окна



Оконная функция может иметь разный вид (слева — прямоугольное окно, окно Хемминга и их применение к $\sin(t)$). Результат свёртки с прямоугольным окном воспринимается преобразованием Фурье как разрывная функция. Сглаженные границы окна уменьшают количество цифровых артефактов.



Оконное преобразование Фурье в эксперименте (Глобус-М)

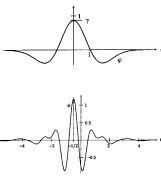


Пример использования метода для обработки сигналов магнитных зондов на токамаке Глобус-М. Показана эволюция частот неустойчивости в разрядах с различными изотопами мишенной плазмы и пучков.

Бахарев Н. Н. Поведение быстрых частиц в сферическом токамаке Глобус-М // По материалам диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук



Вейвлет-анализ



Фурье-преобразование в окне даёт одинаковое абсолютное разрешение по частоте во всём частотном диапазоне.

На высоких частотах $\delta f/f \sim 2/N$, на низких частотах $\delta f/f \sim 1$. (N — число точек окна).

Логичным будет использовать разные окна для разных частотных диапазонов.

Постоянное $\delta f/f$ получается при равном числе периодов в окне $fT = const$.

Разложение производится по подобным функциям, масштабируемым по времени. Функции (вейвлеты) схожи с одним периодом колебаний.

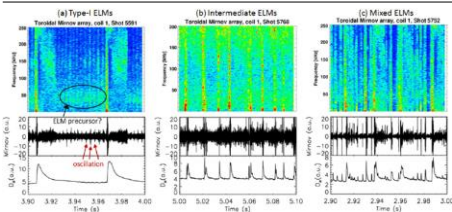
Подход хорошо работает с короткими быстро затухающими сигналами.

Вейвлеты «мексиканская шляпа» и Мейера.

К. Блаттер, Вейвлет-анализ



Вейвлет-анализ в эксперименте (KStar)

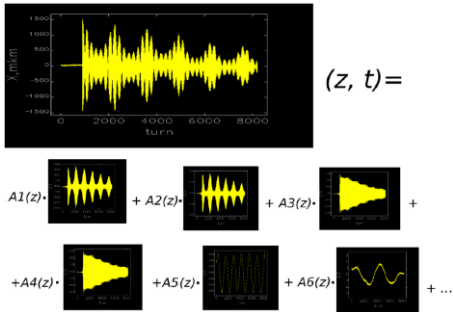


Определение частот ELMов на токамаке Kstar методом вейвлет-анализа сигналов магнитных диагностик.

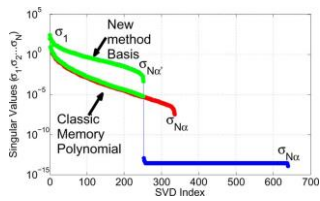
J.W. Ahn et al. Confinement and ELM characteristics of H-mode plasmas in KSTAR // Nuclear Fusion, 2012



Сингулярное разложение. Пример с ускорителя Tevatron

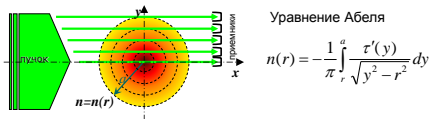


Сингулярное разложение. Отделение шумов



Сингулярные значения для шумов из-за их некоррелированности на несколько порядков ниже, чем сингулярные значения для компонент полезного сигнала.

Восстановление пространственных распределений



Математически некорректно поставленная задача. Единственность и устойчивость решения **не гарантируется**. Необходимо использовать те или иные **методы регуляризации**

1. Использование априорной информации. Функциональная зависимость $n(r)$ предполагается известной из физических соображений, неизвестными остаются 1–2 параметра. Распределение $I(y)$ рассчитывается аналитически, подбираются параметры, при которых оно максимально совпадает с измеренным.
