

**Тема лекции:  
Программы электродинамического  
моделирования**

# План лекции

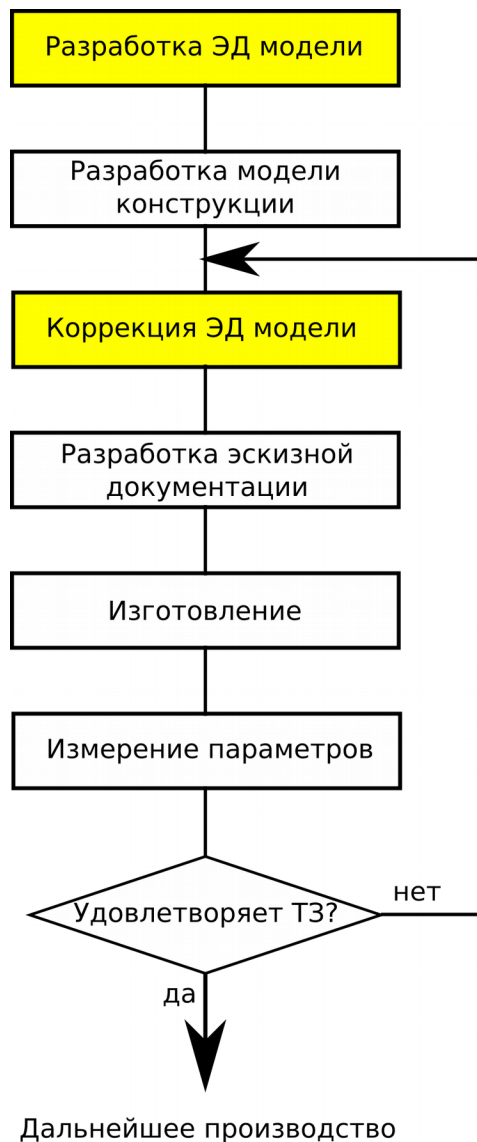
- **Задачи, решаемые с помощью программ электродинамического моделирования**
- **Методы моделирования (алгоритмы)**
- **Метод FDTD**
- **Сложности моделирования**
- **Суперкомпьютеры и параллельные вычисления**
- **Примеры моделирования**

## Моделирование

**Модель объекта** - это другой объект (материальный или информационный), такой, что при независимом применении одних и тех же воздействий на оригинальный объект и модель между ними сохраняется соответствие по некоторым важным характеристикам, что называется адекватностью модели.

*А. С. Потапов "Искусственный интеллект и универсальное мышление"*

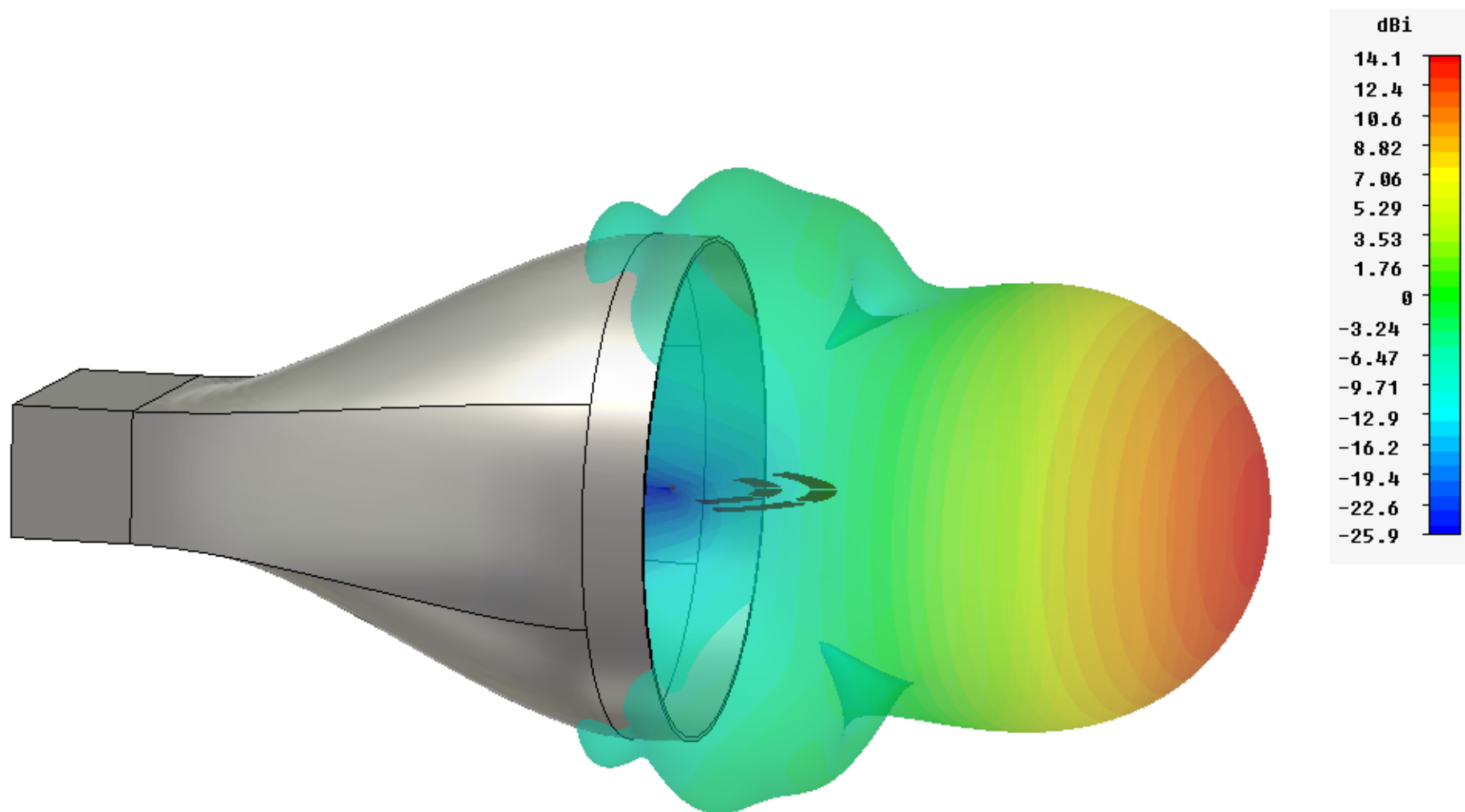
# Схема процесса разработки СВЧ устройств



# Задачи, решаемые с помощью программ электродинамического моделирования

- **Расчет параметров антенн и устройств СВЧ**
- **Моделирования распространения радиоволн**
- **Моделирование отражения от объектов**
- **Расчет эффективной поверхности рассеяния**
- **Электромагнитная совместимость**
- **Расчет нагрева устройств СВЧ**

# Диаграмма направленности рупорной антенны



# Задачи, решаемые с помощью программ электродинамического моделирования

- Расчет параметров антенн и устройств СВЧ
- Моделирования распространения радиоволн
- Моделирование отражения от объектов
- Расчет эффективной поверхности рассеяния
- Электромагнитная совместимость
- Расчет нагрева устройств СВЧ

# Методы электродинамического моделирования

- **Метод конечных разностей во временной области (FDTD - Finite Difference Time Domain)**
- **Метод конечных элементов (FEM - Finite Element Method)**
- **Метод моментов (MoM - Method of Moments)**



# Основные этапы моделирования

- 1. Задание геометрии задачи**
2. Задание источников
3. Задание параметров моделирования (в том числе граничных условий)
4. Создание сетки
5. Процесс моделирования
6. Анализ результатов

# Интерфейс программы CST Microwave Studio

The screenshot displays the CST Microwave Studio interface for a project named "yagiantenna". The main window shows a 3D perspective view of a Yagi-Uda antenna with five directors and a driven element. A red circle with the number "1" highlights the driven element. The interface includes a top menu bar (File, Home, Modeling, Simulation, Post Processing, View), a ribbon toolbar with various tools like View Options, Export Image, Hide/Show, Wire Frame, Working Plane, Dimension, Rectangle Selection, Zoom, Pan, Rotate, Dynamic Zoom, Rotate in Plane, Reset View, Select View, Orthographic View, Axes Scaling, Cutting Plane, and Sectional View. On the left is a Navigation Tree with categories like Components, Groups, Materials, Faces, Curves, WCS, Anchor Points, Wires, Voxel Data, Dimensions, Lumped Elements, Plane Wave, Farfield Source, Field Sources, Ports, Excitation Signals, Field Monitors, Voltage and Current Monitors, Probes, Mesh Control, 1D/2D/3D Results, TLM Results, Farfields, Tables, and Readme. Below the 3D view is a Parameter List table and a Progress window.

Name	Expression	Value	Description	Type
s5	= 0.10	0.1	Space between 3r...	Length
s4	= 0.10	0.1	Space between 2n...	Length
s3	= 0.10	0.1	Space between 1s...	Length
s2	= 0.11	0.11	Space between dr...	Length
s1	= 0.16	0.16	Space between re...	Length
r	= 0.003369	0.003369	Wire Radius, in w...	Length
lambda	= 10	10	Wave length	Length
l6	= 0.4	0.4	Length of 4th dire...	Length
l5	= 0.4	0.4	Length of 3rd dire...	Length

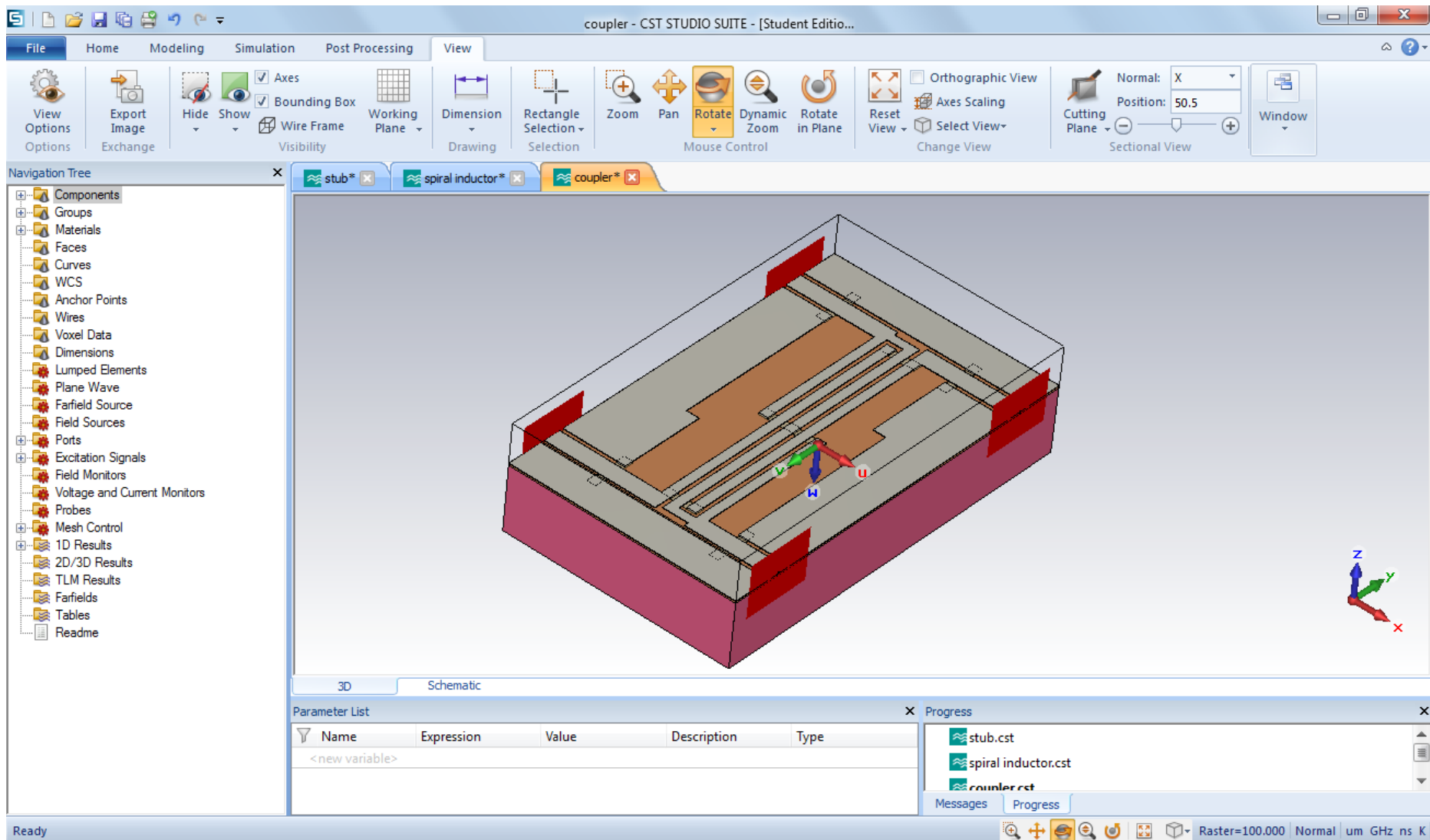
Progress window: yagiantenna.cst

Bottom status bar: Raster=1.000 | Normal | Meshcells=26,180 | mm GHz ns K

# Основные этапы моделирования

1. Задание геометрии задачи
- 2. Задание источников**
3. Задание параметров моделирования (в том числе граничных условий)
4. Создание сетки
5. Процесс моделирования
6. Анализ результатов

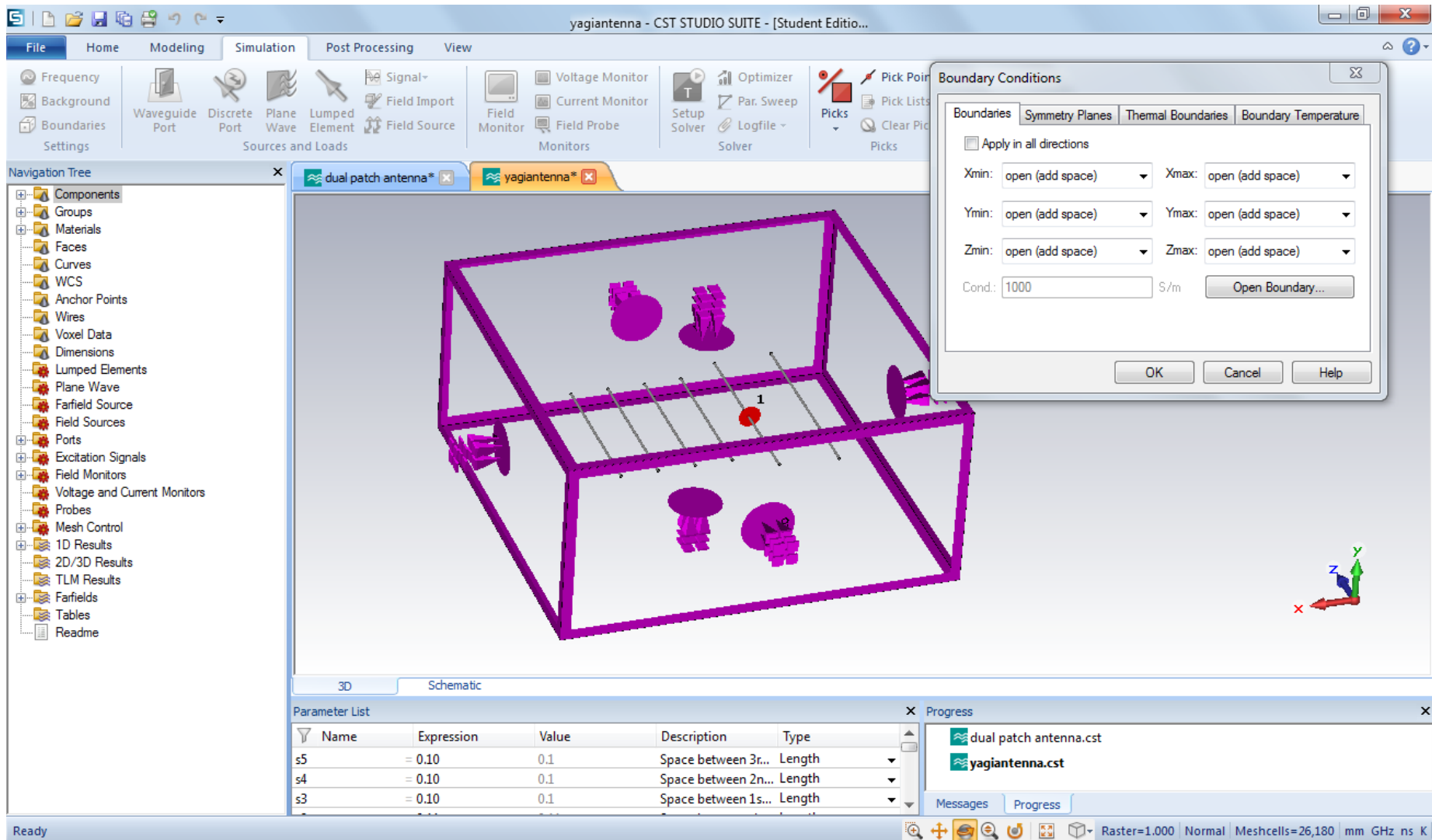
# Интерфейс программы CST Microwave Studio



# Основные этапы моделирования

1. Задание геометрии задачи
2. Задание источников
- 3. Задание параметров моделирования (в том числе граничных условий)**
4. Создание сетки
5. Процесс моделирования
6. Анализ результатов

# Интерфейс программы CST Microwave Studio



# Интерфейс программы CST Microwave Studio

The screenshot displays the CST Microwave Studio interface. The main window shows a 3D model of a dual patch antenna. Two dialog boxes are open: 'Time Domain Solver Parameters' and 'Special Time Domain Solver Parameters'.

**Time Domain Solver Parameters:**

- Solver settings:** Mesh type: Hexahedral, Accuracy: -30 dB, Store result data in cache:
- Stimulation settings:** Source type: All Ports, Mode: All, Inhomogeneous port accuracy enhancement: , Calculate port modes only: , Superimpose plane wave excitation:
- S-parameter settings:** Normalize to fixed impedance: , S-parameter symmetries: , 50 Ohms, S-Parameter List...
- Adaptive mesh refinement:** Adaptive mesh refinement: , Adaptive Properties...
- Sensitivity analysis:** Use sensitivity analysis: , Properties...

**Special Time Domain Solver Parameters:**

- General settings:** Stability factor for timestep: 1.0, Restart solver after instability abort: , Consider 2-port reciprocity with energy balance limit of: 0.03, Automatic time signal sampling: , Consider excitation frequency for field sampling rate: , TDR analysis: , 50% time shift: , Use broadband phase shift with lower bound factor of: 0.1, Ensure shielding for all ports: Electric
- Frequency settings:** Fmin: 27.5, Fmax: 32.5, Samples: 1001

**Parameter List:**

Name	Expression	Value	Description	Type
s5	= 0.10	0.1	Space between 3r...	Length
s4	= 0.10	0.1	Space between 2n...	Length
s3	= 0.10	0.1	Space between 1s...	Length

**Progress:** dual patch antenna.cst, yagiantenna.cst

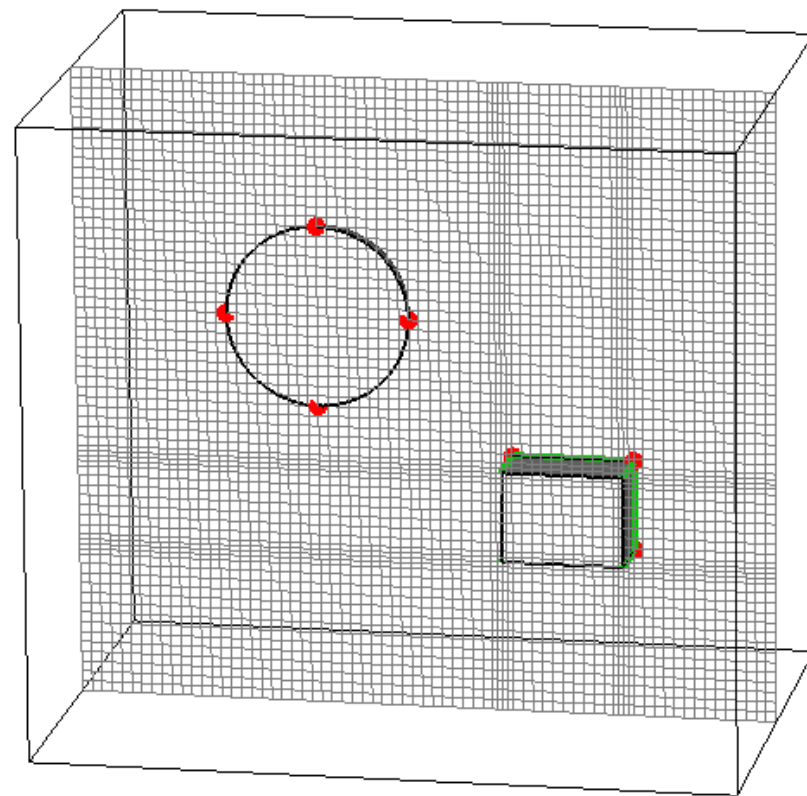
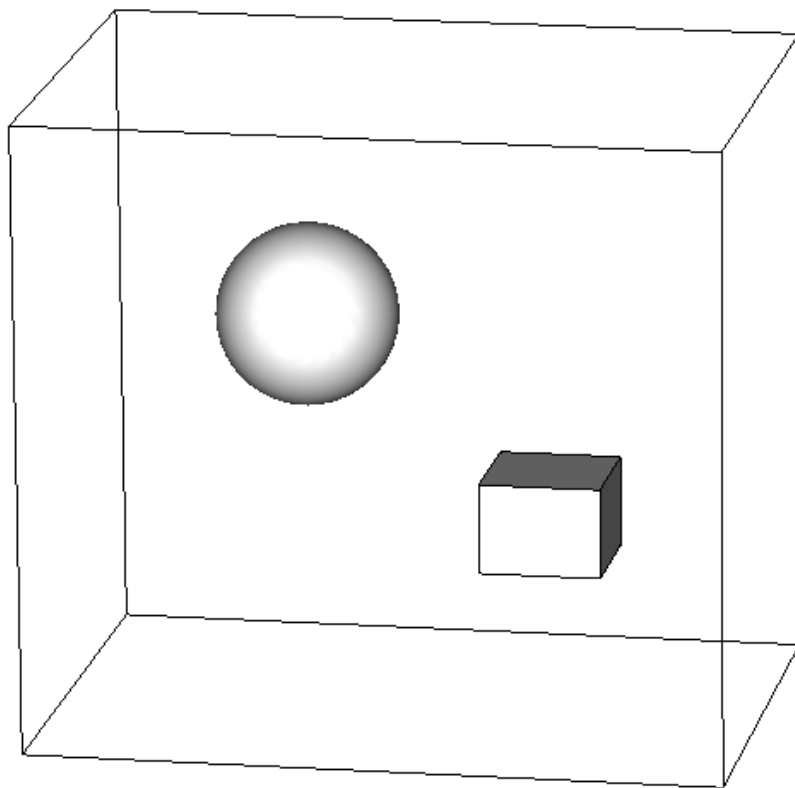
**Status Bar:** Ready, Raster=1.000 | Normal | Meshcells=26,180 | mm GHz ns K

# Основные этапы моделирования

1. Задание геометрии задачи
2. Задание источников
3. Задание параметров моделирования (в том числе граничных условий)
- 4. Создание сетки**
5. Процесс моделирования
6. Анализ результатов



# Метод FDTD. Пример сетки



Размер ячейки:  $\lambda / 30$

# Основные этапы моделирования

1. Задание геометрии задачи
2. Задание источников
3. Задание параметров моделирования (в том числе граничных условий)
4. Создание сетки
- 5. Процесс моделирования**
6. Анализ результатов

# Процесс моделирования



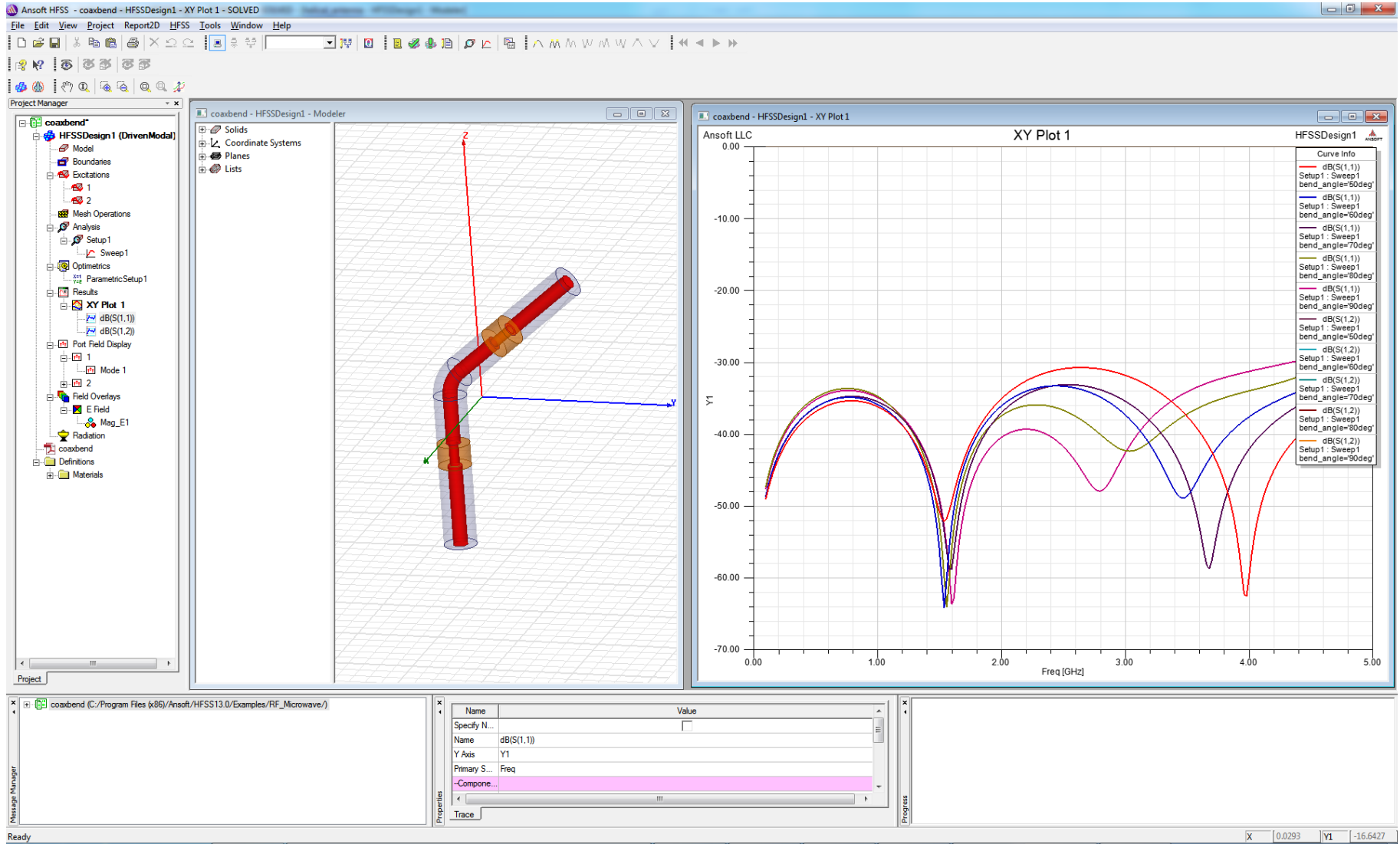
Please wait



# Основные этапы моделирования

1. Задание геометрии задачи
2. Задание источников
3. Задание параметров моделирования (в том числе граничных условий)
4. Создание сетки
5. Процесс моделирования
- 6. Анализ результатов**

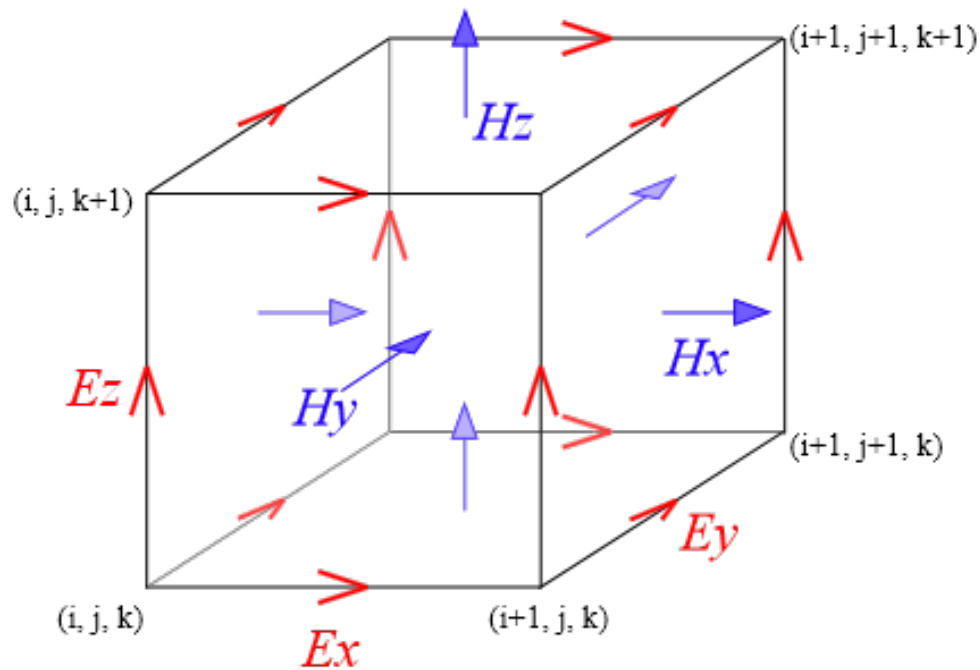
# Интерфейс программы HFSS



# Проблемы моделирования

- **Достоверность моделирования**
- **Время расчета**
- **Требования к оперативной памяти**

# Ячейка для метода FDTD



Для работы алгоритма требуется хранить следующие величины:

- Компоненты поля:

$$E_x, E_y, E_z, H_x, H_y, H_z$$

- Поле в момент времени  $t - 1, t, t + 1$
- Параметры среды:  $\epsilon, \mu, \sigma$
- Размеры ячеек:  $S_x, S_y, S_z$

---

# Примеры программ электродинамического моделирования



# Программы на основе метода конечных разностей во временной области (FDTD)

- **Максвелл+**
- **CST Microwave Studio**
- **Remcom XFDTD**
- **CFDTD**
- **Zeland Software Fidelity**
- **SEMCAD**
- **Lumerical FDTD Solution**
- **GEMS**
- **Keysight EMPro**

**Meep (Free)**

---

# CST Studio Suite

<http://www.cst.com>

# **CST Studio Suite**

## **ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ**

- **Анализ СВЧ устройств**
- **Анализ низкочастотных структур**
- **Анализ печатных структур**
- **Расчет диаграммы направленности антенн**
- **Расчет тепловыделения**
- **Расчет во временной и частотной областях**

# Программы на основе других методов электродинамического моделирования

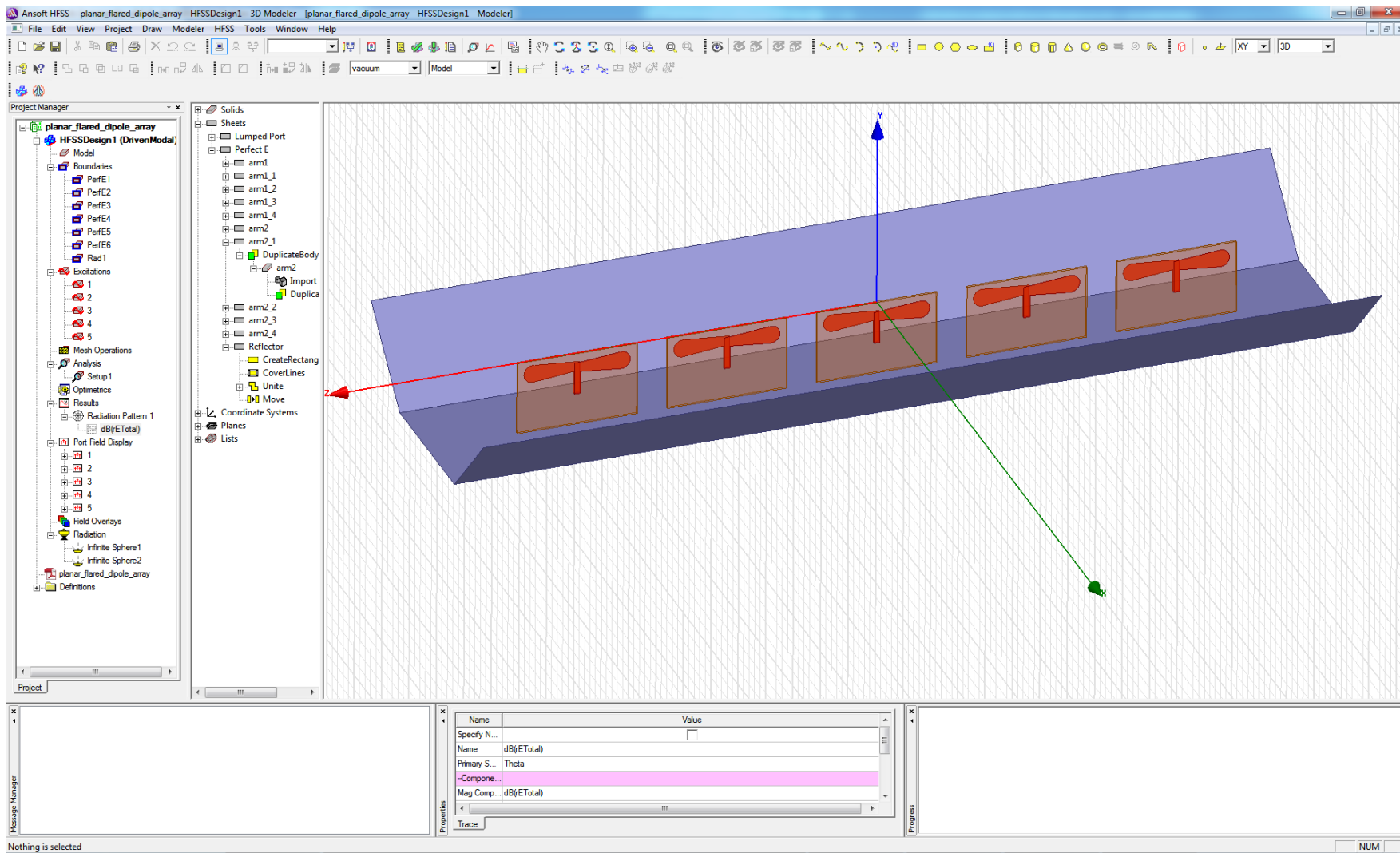
- **CST Microwave Studio**
- **Ansys HFSS**
- **FEKO**
- **AWR Microwave Office**
- **Keysight EMPro**

---

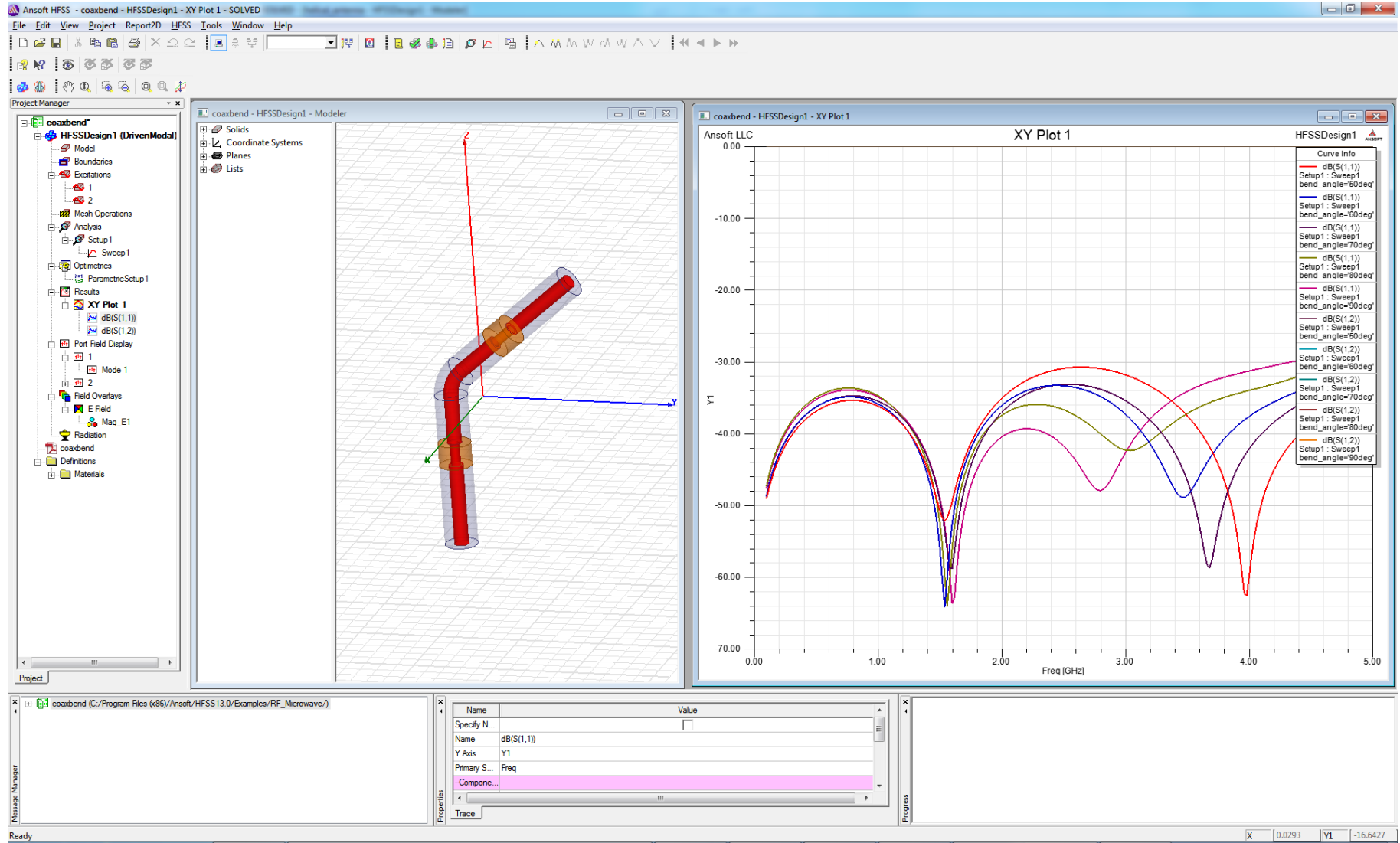
# Ansys HFSS

<http://www.ansys.com/>

# Интерфейс программы HFSS



# Интерфейс программы HFSS



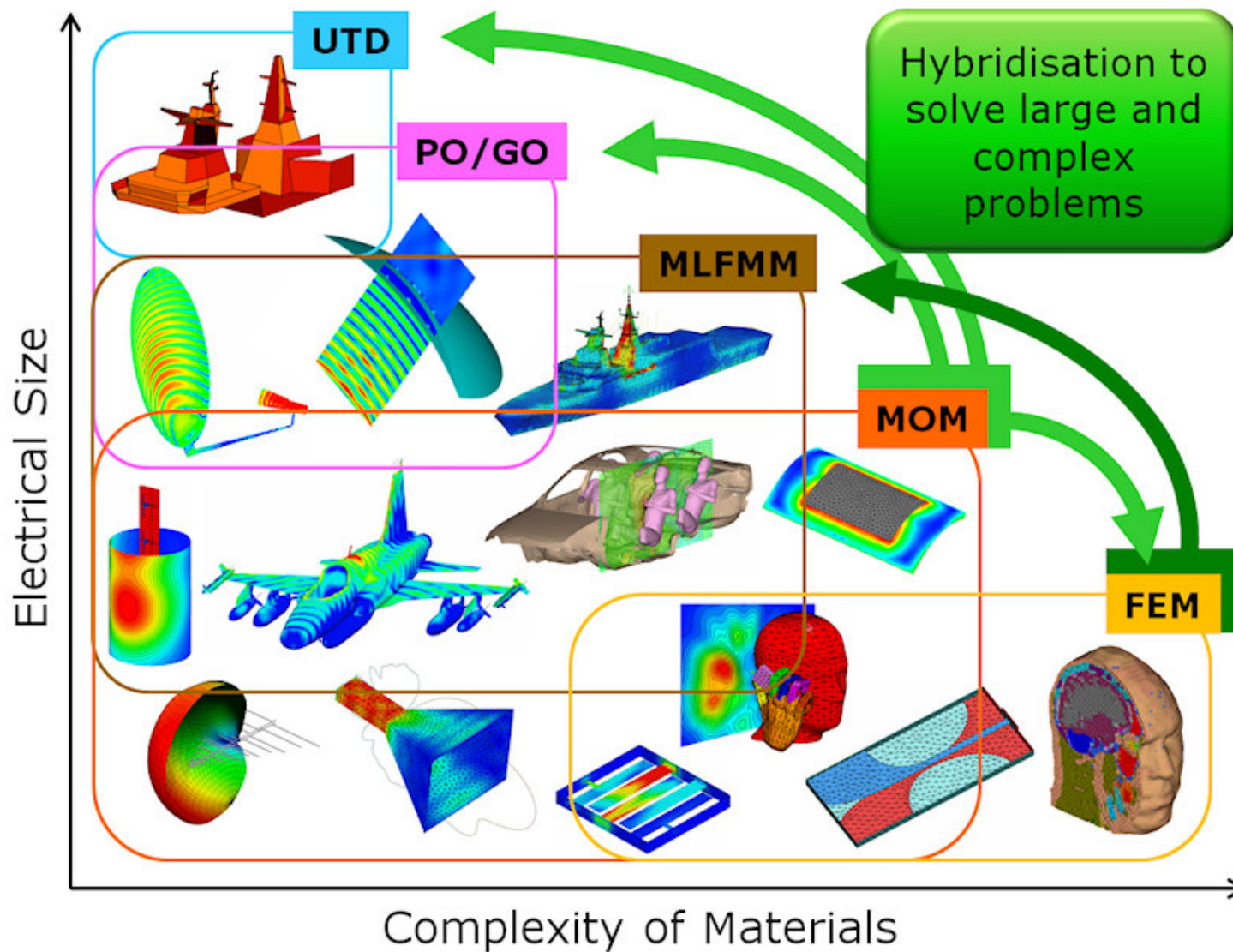
---

**FEKO**

**<http://www.feko.info/>**



# Возможности программы FEKO



# Интерфейс программы FEKO

The screenshot displays the CADFEKO software interface for a 3D view of a coupled patch antenna. The main window shows a 3D model of the antenna structure, which consists of a rectangular patch on a dielectric substrate, surrounded by a ground plane. The model is rendered with a green mesh. A red vertical line indicates the Z-axis, and a blue horizontal line indicates the X-axis. The Y-axis is also visible.

The left sidebar contains a tree view of the project structure, including:

- Named points
- Workplanes: Global XY [Default], Global XZ, Global YZ
- Media: Perfect electric conductor, Perfect magnetic conductor, Free space, Dielectric, bottom\_layer, top\_layer
- Geometry: Union1, bottom\_layer, feed, patch, Split\_back1, Split\_front1, Subtract1, top\_layer
- Meshes: Union1
- Non-radiating networks
- Ports
- Solution:
  - Frequency [2.1 GHz - 2.3 GHz]
  - Infinite planes
  - Loads
  - Excitations: Power [No scaling], VoltageSource1
  - Calculation: Currents [No currents], Source data: VoltageSource1
  - Far fields: FarField1
- Optimisation

The bottom status bar shows the following text:

Opening project file--  
 C:\Program Files\FEKO 6.0\examples\ExampleGuide\_models\Example34-Aperture\_Coupled\_Patch\_Antenna\ap\_coupled\_patch\_finite.cfx  
 Note: \*.cfs workspace file not found. Loading default workspace.  
 C:\Program Files\FEKO 6.0\examples\ExampleGuide\_models\Example34-Aperture\_Coupled\_Patch\_Antenna\ap\_coupled\_patch\_finite.pre

Unit: cm

# Интерфейс программы FEKO

