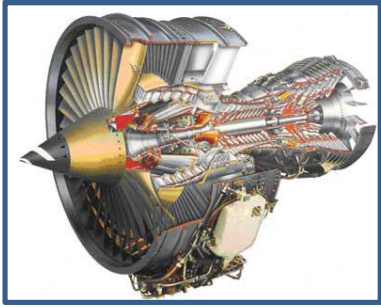


Виртуальное моделирование элементов двигателя на базе многодисциплинарных моделей

Лекция 3.

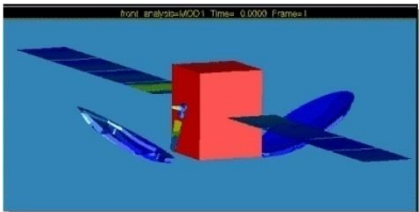
Основы кинематики и динамики.

MSC. ADAMS

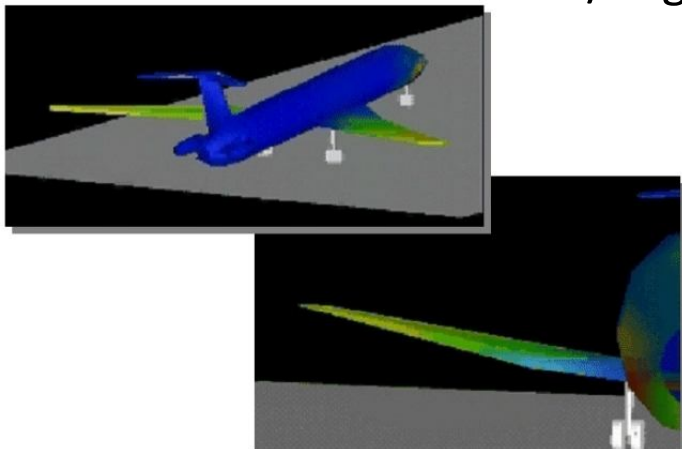


Краткая история развития MSC.ADAMS

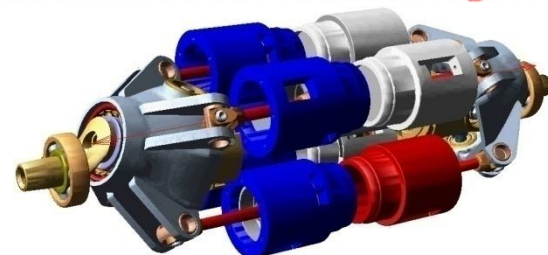
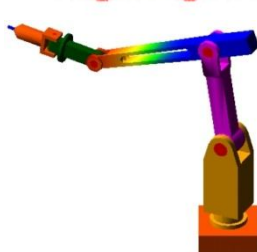
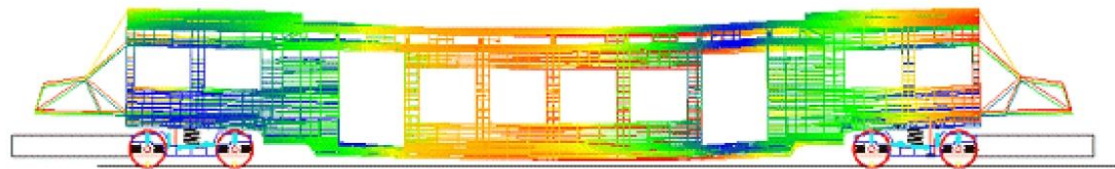
MSC.ADAMS (автоматизированный динамический анализ механических систем). Технология была представлена около 35 лет назад. MSC.ADAMS – это мощное средство моделирования и расчёта, используя которое можно создавать, рассчитывать, совершенствовать и в конечном итоге оптимизировать любые механические системы от автомобилей и поездов до видеопроекторов и экскаваторов. Начиналось всё с ADAMS/Solver, программы, которая могла решать нелинейные численные уравнения.

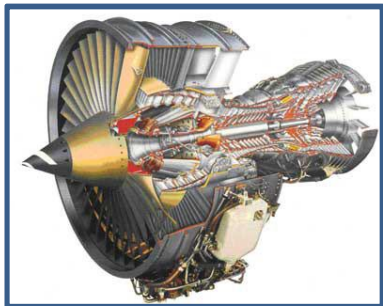


В начале 90-х был представлен ADAMS/View, который позволял создавать, рассчитывать и анализировать результаты внутри единой графической среды. Дальнейшее развитие пошло по пути создания специализированных модулей, таких как ADAMS/Car, ADAMS/Rail, and ADAMS/Engine.



ADAMS/Rail vehicle model with flexible coach





Чтобы
получить
больше
информации,
смотрите
ADAMS\...
online help

Данный курс содержит следующую информацию:

- Создание моделей ADAMS/View средней сложности.
- Терминология и состав пакетов MSC.ADAMS.
- Основные принципы моделирования и углубление знаний за счёт создания всё более сложных моделей.
- Применение подхода «ползти – идти - бежать» для создания виртуальных моделей.
- Отладка модели при наиболее распространенных проблемах моделирования (например, избыточные ограничения, нулевые массы, и так далее).
- Использование материалов информационной и технической поддержки MSC.ADAMS.
- Оптимальное использование документации по пакету.

Для получения доступа к online help, сделайте следующее:

В меню Help выберите ADAMS/View Help, чтобы отобразить главную страницу ADAMS/View online help.

Во время работы в любом диалоговом окне ADAMS/View, нажмите F1, чтобы отобразить интерактивную справку с информацией именно об этом диалоговом окне.

После того, как появится online help, Вы можете найти интересующую информацию через оглавление, по индексу или введя словосочетание в поле поиска.

Первое тело (Body A)

m1

Тело состоит из двух частей:

1. Геометрия (Geometry)

2. Часть (Part)

- Масса (m)

- Моменты инерции (J_{xyz})

- Центр масс (cm)

Body – Тело. Часто выступает синонимом слова часть, но иногда обозначает совокупность частей, как правило жестко связанных между собой.

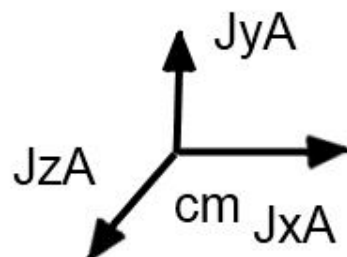
Part – Часть. Так в ADAMS называется цельная деталь, плоская или объемная, характеризующаяся геометрией, массой и моментами инерции. Части с помощью шарниров объединяются в модель.

Model – Модель. Это законченная сборка какого – либо узла, замкнутая и имеющая четкую внутреннюю иерархию. Модель соединяется из частей с помощью шарниров.

Первое тело (Body A)

m1

Центр масс первого тела



Тело состоит из двух частей:

1. Геометрия (Geometry)
2. Часть (Part)
 - Масса (m)
 - Моменты инерции (J_{xyz})
 - Центр масс (cm)

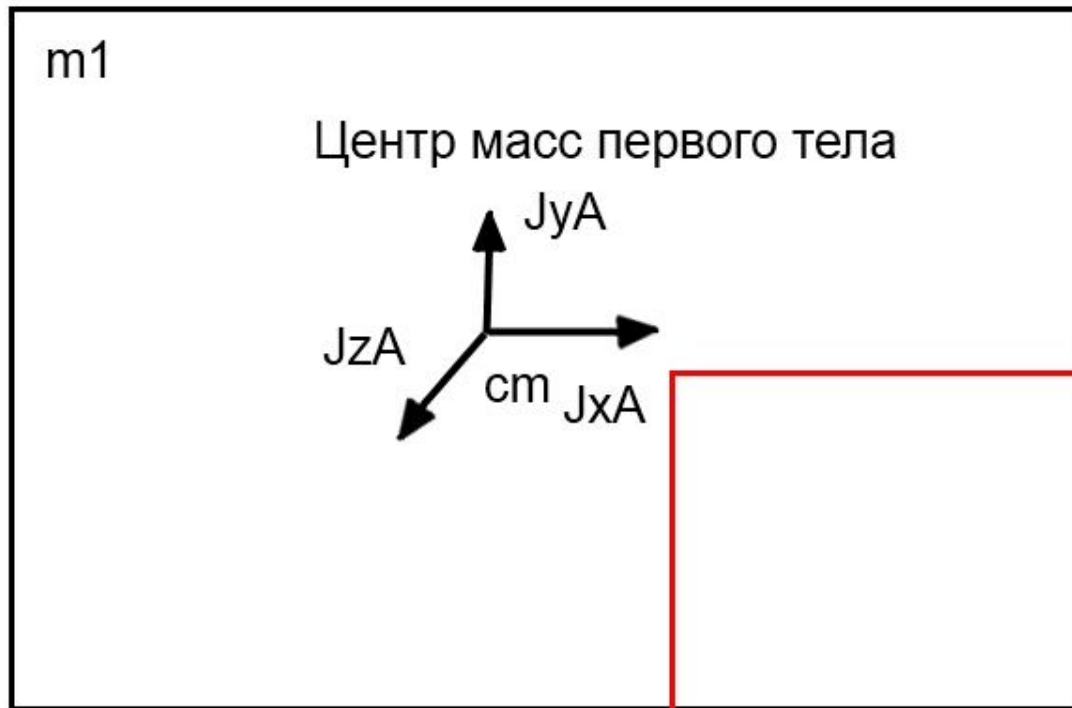
Marker – Маркер. Характеризуется положением и направлением осей. При расчете в маркерах концентрируется масса частей. Взаимодействие тел происходит только через маркеры (фиксированные или плавающие).

Body – Тело. Часто выступает синонимом слова часть, но иногда обозначает совокупность частей, как правило жестко связанных между собой.

Part – Часть. Так в ADAMS называется цельная деталь, плоская или объемная, характеризующаяся геометрией, массой и моментами инерции. Части с помощью шарниров объединяются в модель.

Model – Модель. Это законченная сборка какого – либо узла, замкнутая и имеющая четкую внутреннюю иерархию. Модель соединяется из частей с помощью шарниров.

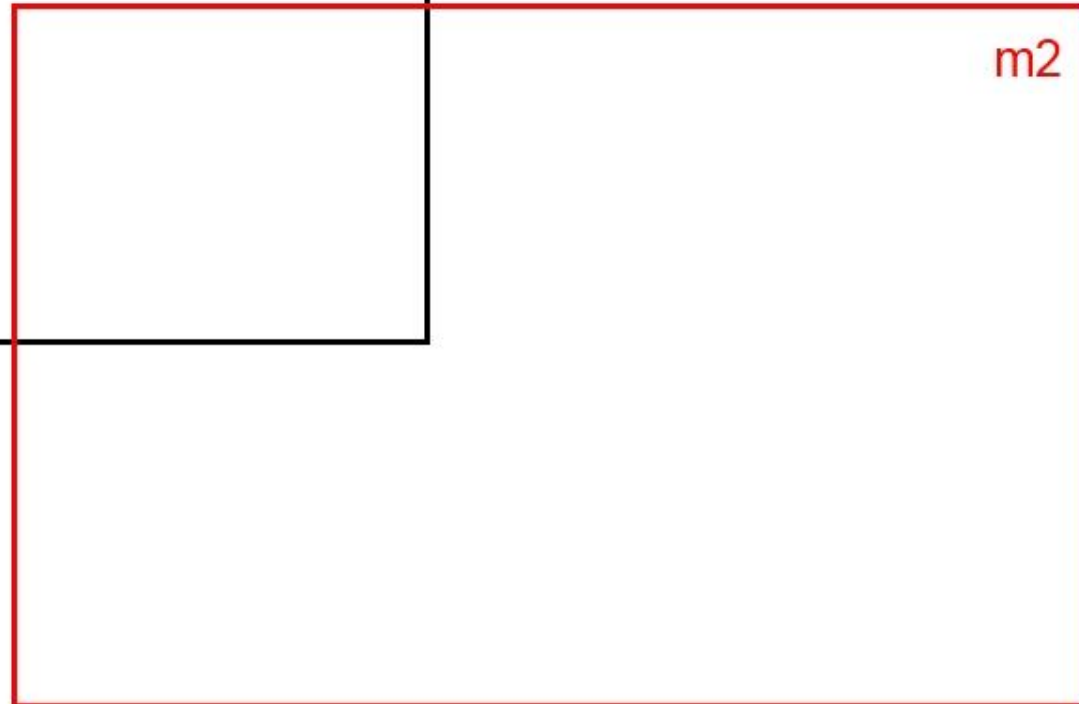
Первое тело (Body A)



Тело состоит из двух частей:

1. Геометрия (Geometry)
 2. Часть (Part)
- Масса (m)
 - Моменты инерции (J_{xyz})
 - Центр масс (cm)

Второе тело (Body B)



По-умолчанию тела не взаимодействуют друг с другом.

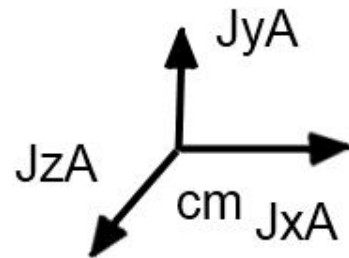
Для задания взаимодействия тела необходимо соединить контактной силой, которая действует только на эти тела.

По-умолчанию тела не взаимодействуют друг с другом. Для задания взаимодействия тела необходимо соединить контактной силой, которая действует только на эти тела.

Первое тело (Body A)

m1

Центр масс первого тела



Тело состоит из двух частей:

1. Геометрия (Geometry)

2. Часть (Part)

- Масса (m)

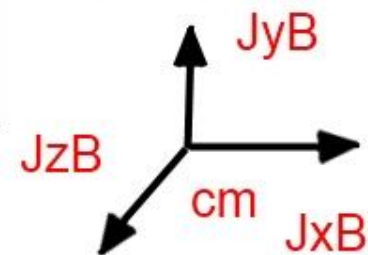
- Моменты инерции (Jxyz)

- Центр масс (cm)

Второе тело (Body B)

m2

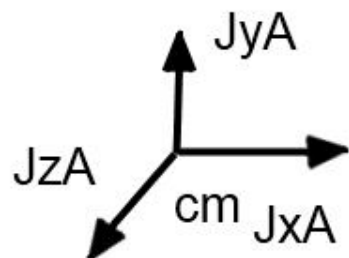
Центр масс второго тела



Первое тело (Body A)

m_1

Центр масс первого тела



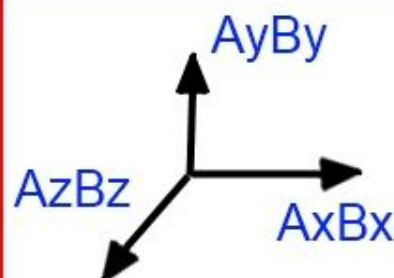
Тело состоит из двух частей:

1. Геометрия (Geometry)
2. Часть (Part)
 - Масса (m)
 - Моменты инерции (J_{xyz})
 - Центр масс (cm)

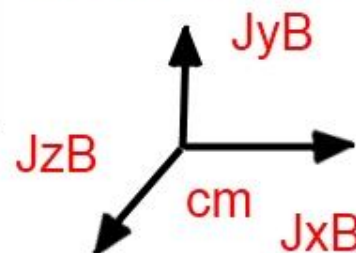
Второе тело (Body B)

m_2

Центр масс второго тела



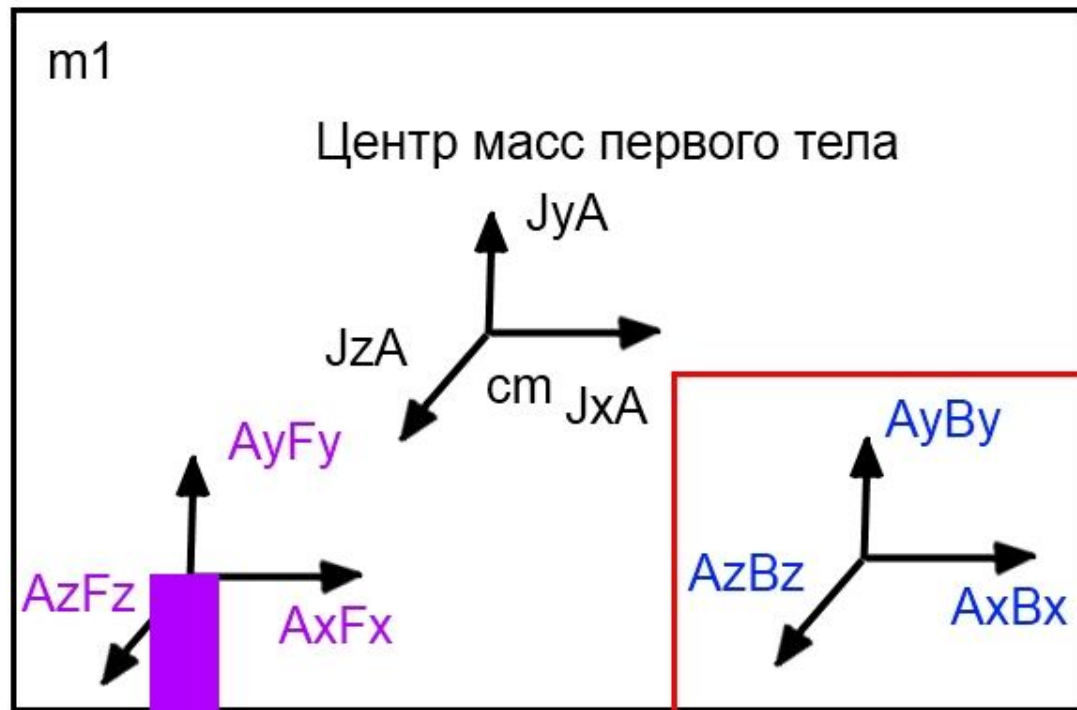
Пара маркеров
присоединения
(I на теле A)
(J на теле B)



Тела взаимодействуют
только через маркеры.

Маркер соединения не имеет массы
и моментов инерции.

Первое тело (Body A)



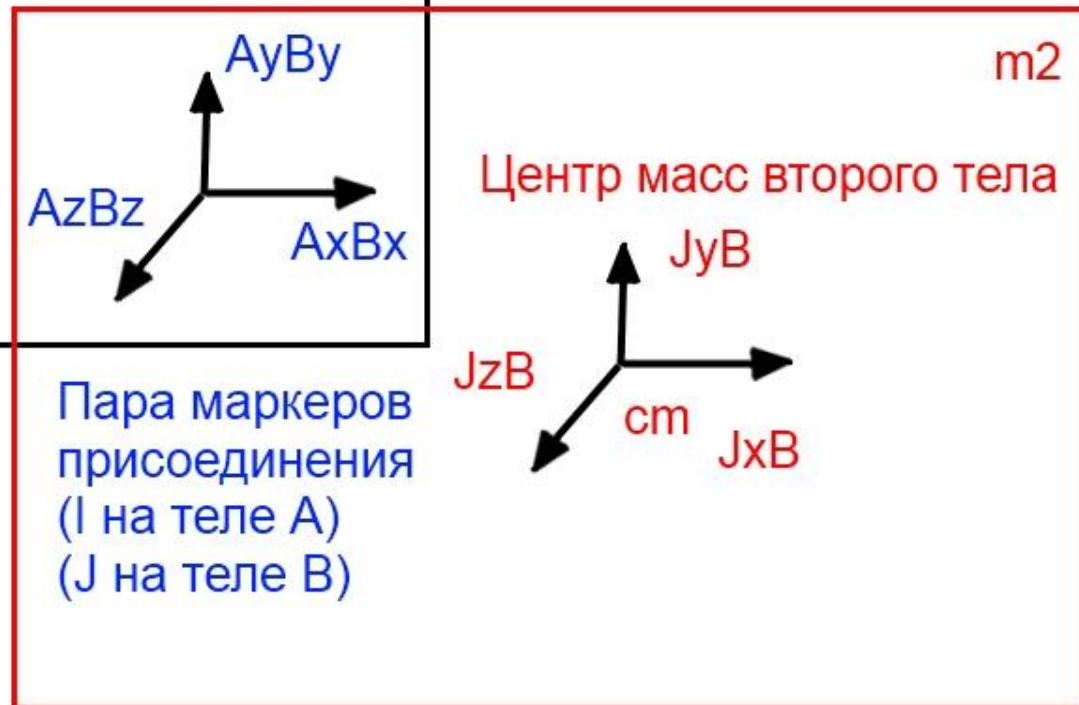
Любые силы прикладываются только к маркерам

Тела взаимодействуют только через маркеры.

Тело состоит из двух частей:

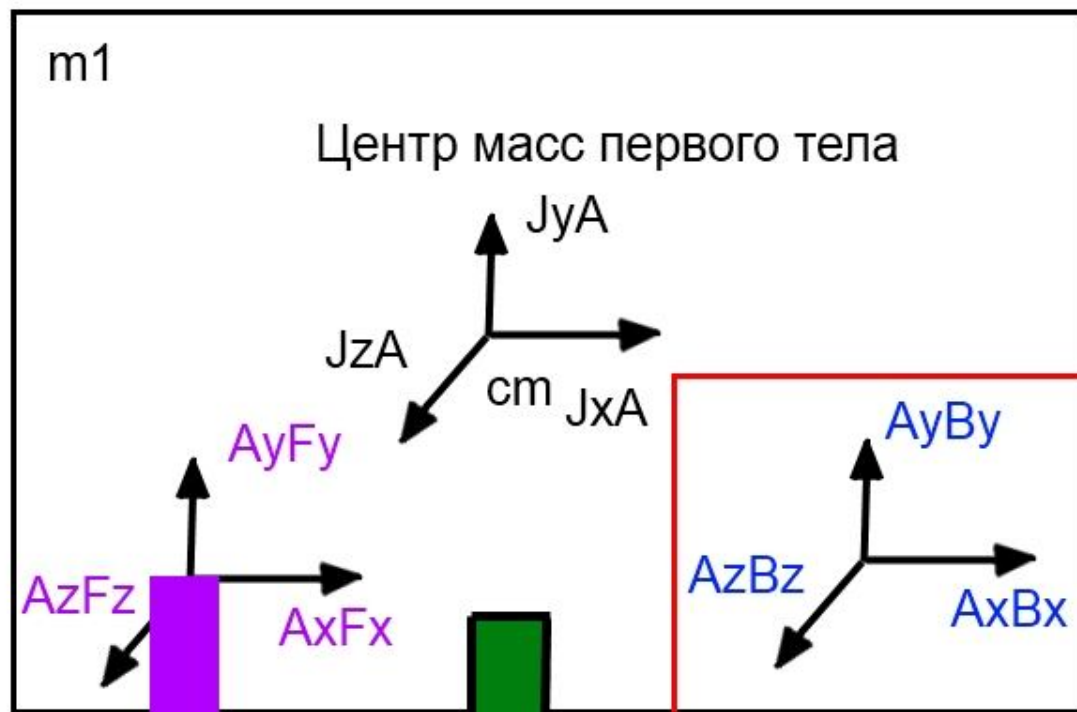
1. Геометрия (Geometry)
2. Часть (Part)
 - Масса (m)
 - Моменты инерции (J_{xyz})
 - Центр масс (cm)

Второе тело (Body B)



Маркер соединения не имеет массы и моментов инерции.

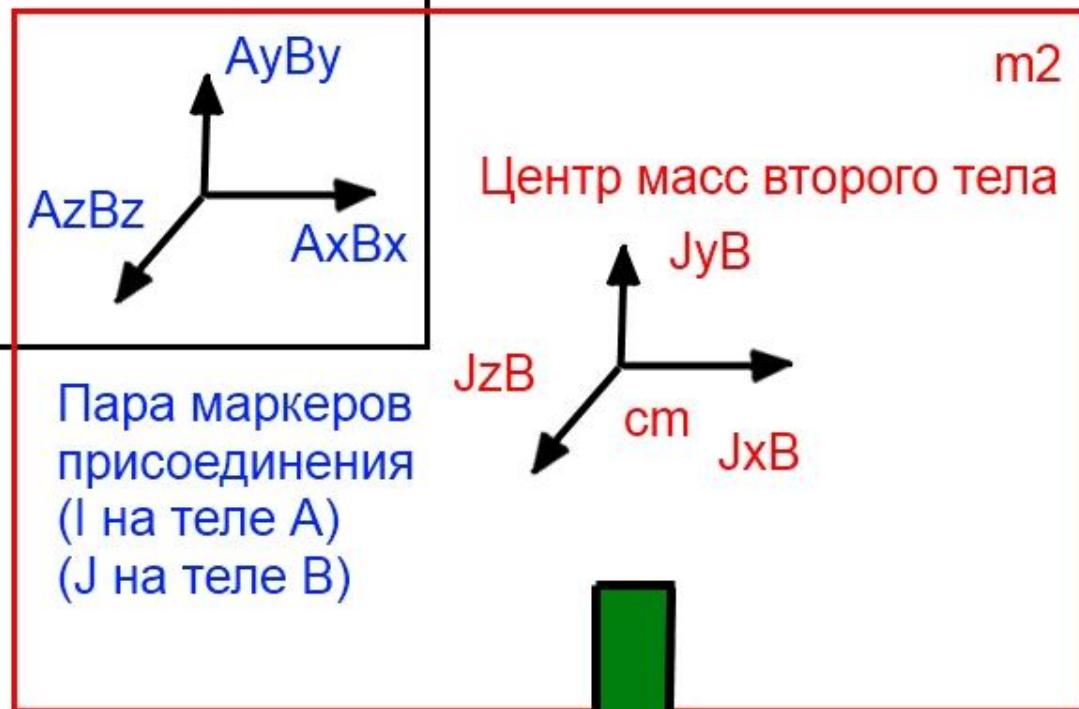
Первое тело (Body A)



Тело состоит из двух частей:

1. Геометрия (Geometry)
 2. Часть (Part)
- Масса (m)
 - Моменты инерции (J_{xyz})
 - Центр масс (cm)

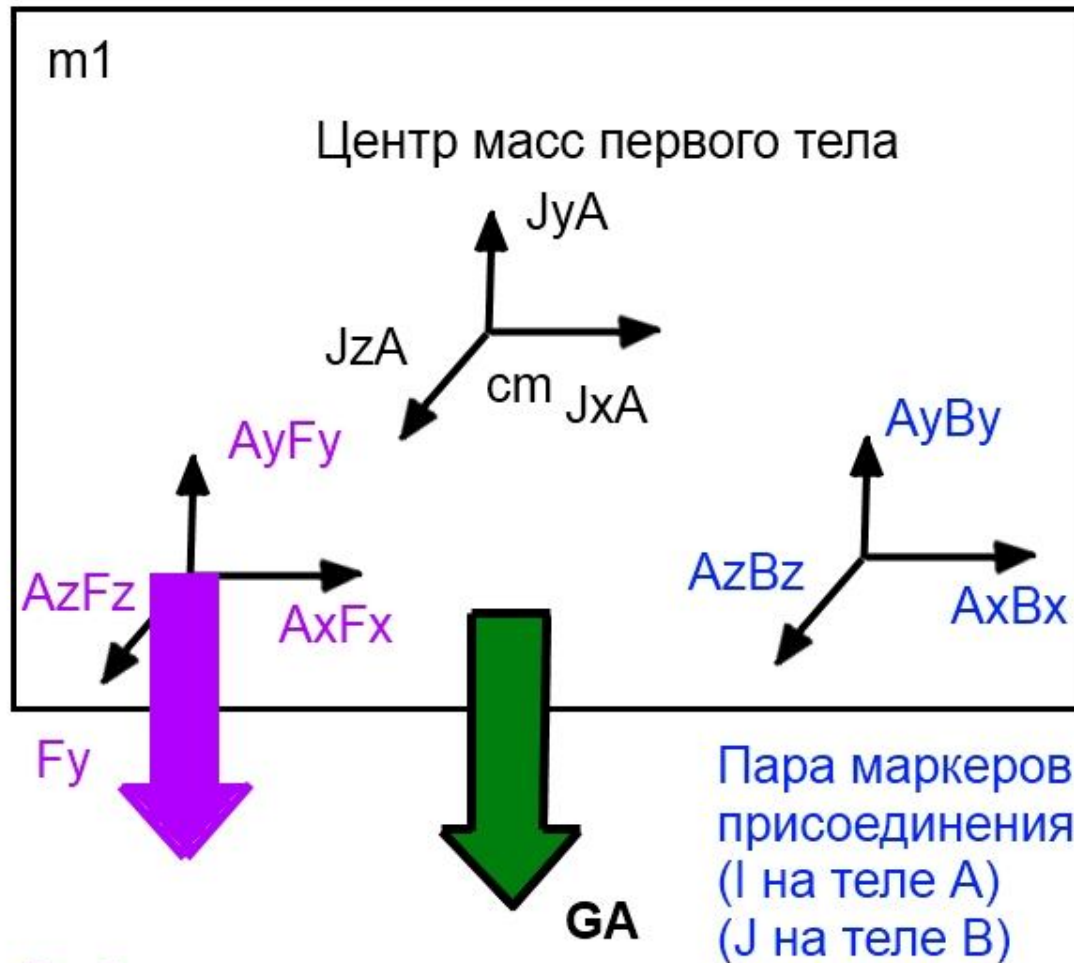
Второе тело (Body B)



Любые силы прикладываются только к маркерам

Если сила тяжести включена в модели, то она действует на центры масс всех тел

Первое тело (Body A)



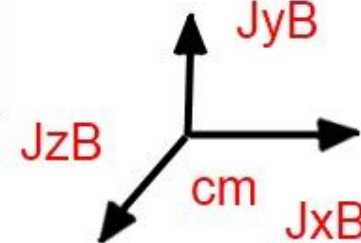
Любые силы прикладываются только к маркерам

Если сила тяжести включена в модели, то она действует на центры масс всех тел

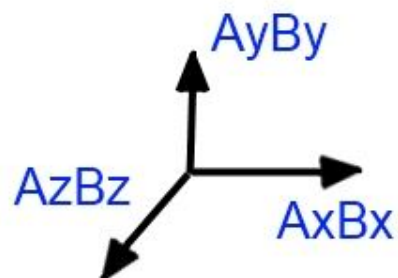
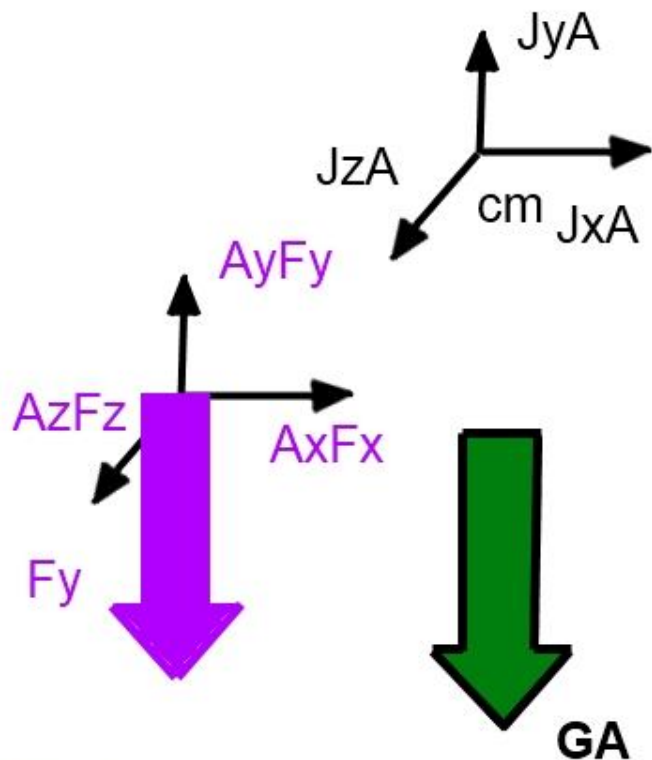
Тело состоит из двух частей:

1. Геометрия (Geometry)
2. Часть (Part)
 - Масса (m)
 - Моменты инерции (J_{xyz})
 - Центр масс (cm)

Центр масс второго тела

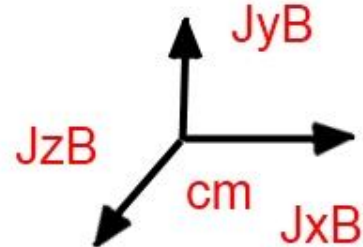


Центр масс первого тела



Пара маркеров
присоединения
(I на теле A)
(J на теле B)

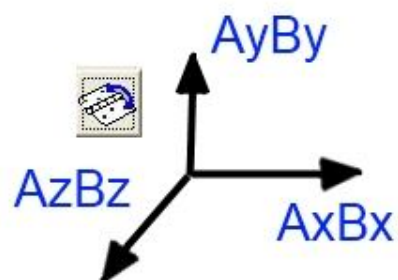
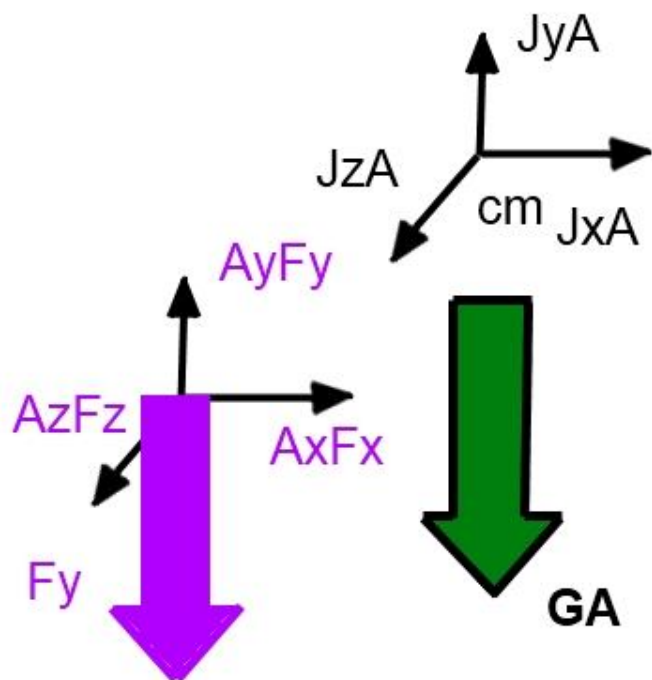
Центр масс второго тела




Любые силы прикладываются только к маркерам

Если сила тяжести включена в модели, то она действует на центры масс всех тел

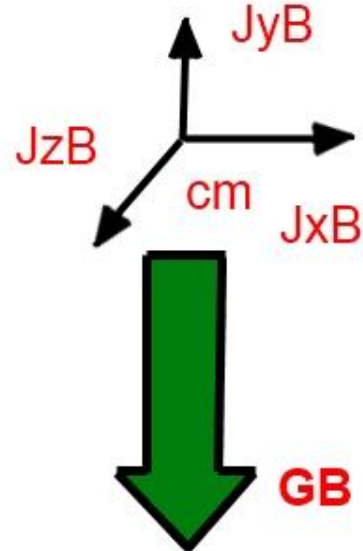
Центр масс первого тела

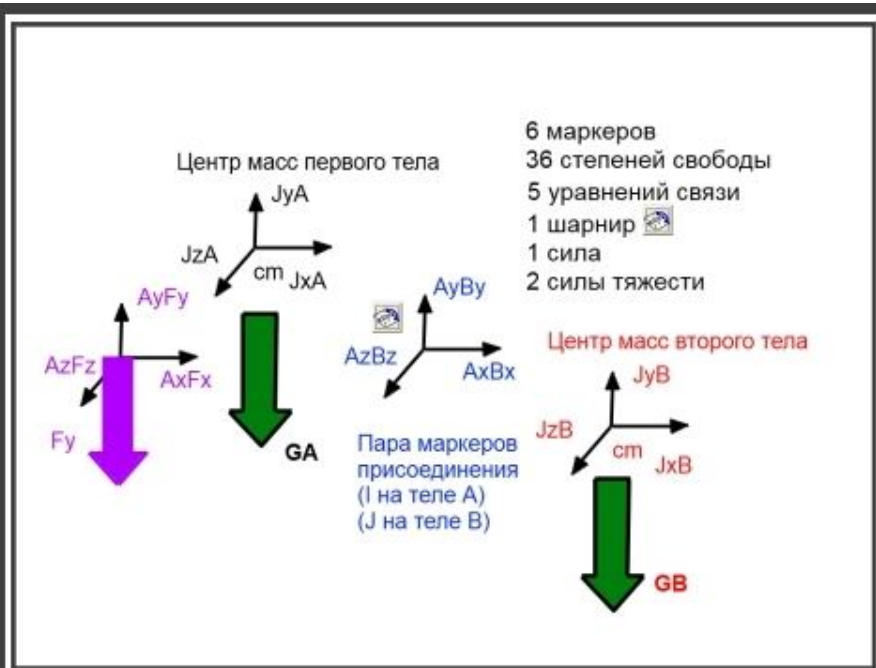


Пара маркеров присоединения
(I на теле A)
(J на теле B)

- 6 маркеров
- 36 степеней свободы
- 5 уравнений связи
- 1 шарнир 
- 1 сила
- 2 силы тяжести

Центр масс второго тела





$$\dot{p}_i = \frac{\partial L}{\partial q_i} + \sum_{k=1}^{m_a} \bar{F}_i \cdot \frac{\partial \bar{r}_k}{\partial q_i} - \sum_{j=1}^m \lambda_j \frac{\partial \Phi_j}{\partial q_i},$$

$$p_i - \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} = 0,$$

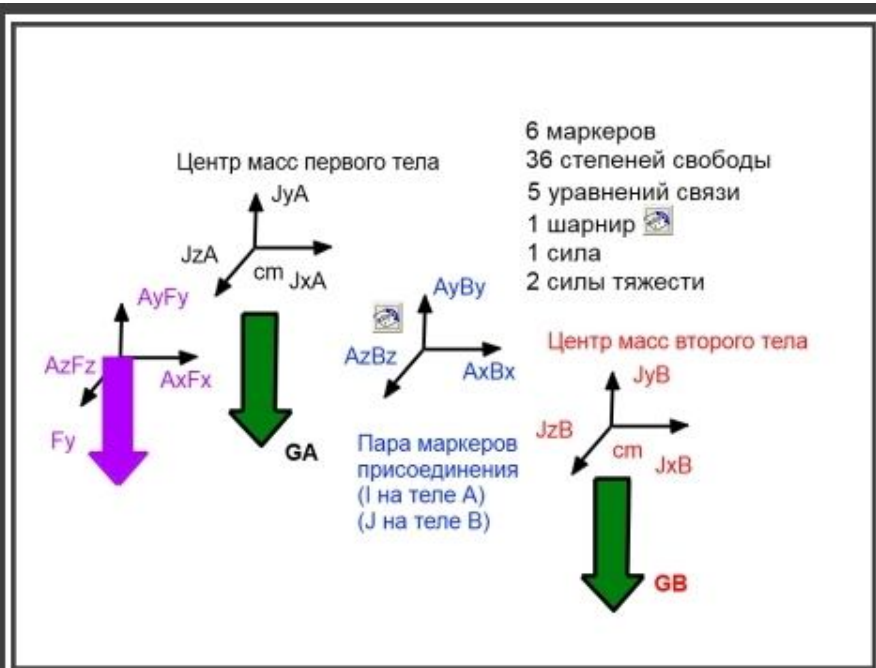
$$u_i - \dot{q}_i = 0, i = 1, \dots, 6n,$$

$$\Phi_j(\{q_\alpha\}, t) = 0, j = 1, m,$$

$$\bar{F}_k - \bar{f}_k(\{q_\alpha\}, \{u_\beta\}, \{\lambda_\gamma\}, t) = 0, k = \overline{1, m_\alpha}.$$

Уравнение Лагранжа-Эйлера, которое описывает поведение механической системы, состоящей из маркеров:

Основой для системы уравнений, описывающих динамику системы *n* твердых тел, находящихся под действием *m_a* заданных сил и стесненных *m* голономными связями, послужили уравнения в форме Эйлера-Лагранжа с множителями.



$$\dot{p}_i = \frac{\partial L}{\partial q_i} + \sum_{k=1}^{m_a} \bar{F}_i \cdot \frac{\partial \bar{r}_k}{\partial q_i} - \sum_{j=1}^m \lambda_j \frac{\partial \Phi_j}{\partial q_i},$$

$$p_i - \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} = 0,$$

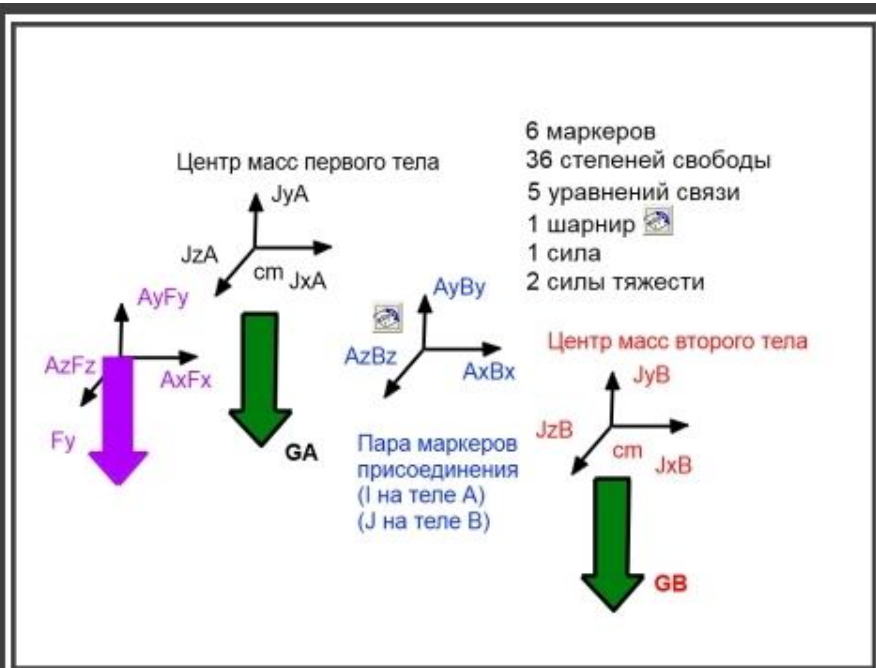
$$u_i - \dot{q}_i = 0, i = 1, \dots, 6n,$$

$$\Phi_j(\{q_\alpha\}, t) = 0, j = 1, m,$$

$$\bar{F}_k - \bar{f}_k(\{q_\alpha\}, \{u_\beta\}, \{\lambda_\gamma\}, t) = 0, k = \overline{1, m_\alpha}.$$

Для задания движения твердого тела используются инерциальные глобальные координаты его центра масс и углы Эйлера. По умолчанию ориентация определяется последовательными поворотами вокруг главных центральных осей тела 3-1-3 (для них в интерфейсе и документации пакета используется обозначение *B313*) на углы ψ – прецессии, θ – нутации, ϕ – собственного вращения. Выбор одной из 24 систем углов Эйлера должен быть сделан в процессе сборки модели, перед началом симуляции.

Далее, система, состоящая из маркеров и граничных условий, численно интегрируется компьютером для каждого положения звеньев механизма.



$$\dot{p}_i = \frac{\partial L}{\partial q_i} + \sum_{k=1}^{m_a} \bar{F}_i \cdot \frac{\partial \bar{r}_k}{\partial q_i} - \sum_{j=1}^m \lambda_j \frac{\partial \Phi_j}{\partial q_i},$$

$$p_i - \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} = 0,$$

$$u_i - \dot{q}_i = 0, i = 1, \dots, 6n,$$

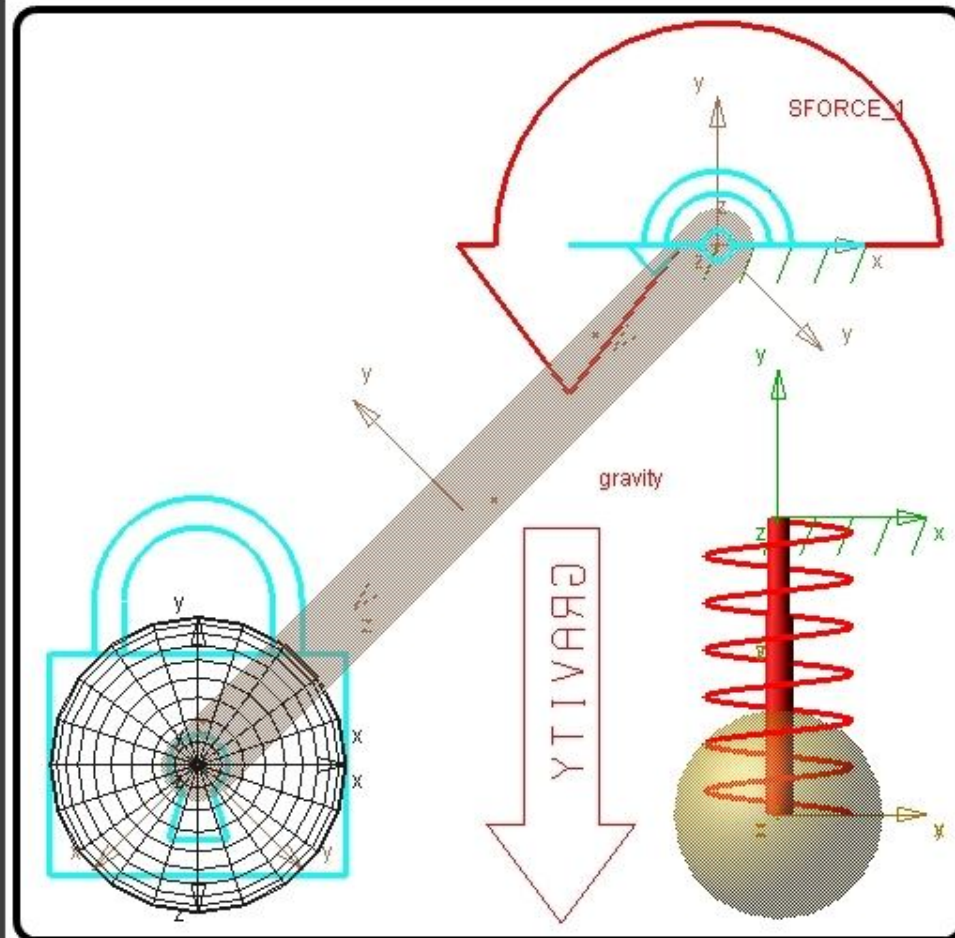
$$\Phi_j(\{q_\alpha\}, t) = 0, j = 1, m,$$

$$\bar{F}_k - \bar{f}_k(\{q_\alpha\}, \{u_\beta\}, \{\lambda_\gamma\}, t) = 0, k = \overline{1, m_\alpha}.$$

Физический смысл этого уравнения следующий – в каждый момент времени сила реакции в закреплениях тел (шарнирах), должна быть уравновешена внешними силами и силами инерции, действующими в механизме. Этот метод широко применяется в теоретической механике.

Граничные условия бывают:

- **кинематические.** Они накладывают ограничение на перемещения тел, лишая их степеней свободы. В ADAMS носят название шарниров.
- **динамические.** Приложение различных сил и моментов. Они не изменяют число степеней свободы. Подобные граничные условия многообразны и с ними мы познакомимся позднее.



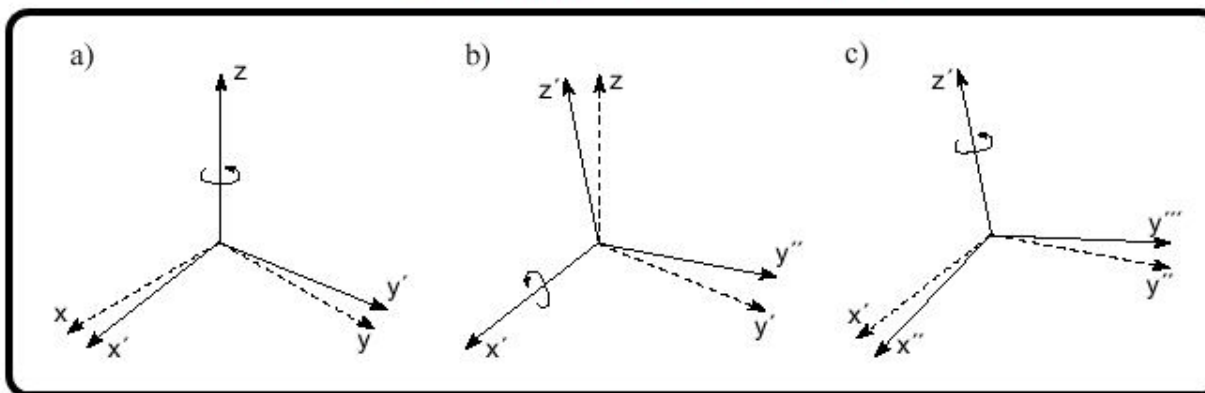
Example of Body-Fixed 313 Rotations

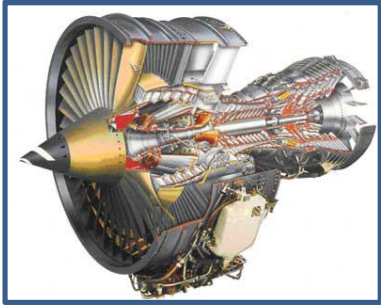
Маятник состоит из

- стержня (Link)
- груза (Sphere)
- вращательный шарнир
- шарнир типа "замок"
- момент (SForce)
- гравитация (Gravity)
- маркеры (8 штук)

Возможные ошибки

- ориентация маркеров I и J
- активное и реактивное тела
- несоосность в шарнире
- выбор тел для шарнира





DESIGN PROBLEM

Cut time and costs

Increase quality

Increase efficiency

IMPROVED PRODUCT

Build

Build a model of your design using:

- ◆ Bodies
- ◆ Forces
- ◆ Contacts
- ◆ Joints
- ◆ Motion generators

Test

Test your design using:

- ◆ Measures
- ◆ Simulations
- ◆ Animations
- ◆ Plots

Validate your model by:

- ◆ Importing test data
- ◆ Superimposing test data

Review

Review your model by adding:

- ◆ Friction
- ◆ Flexible parts
- ◆ Forcing functions
- ◆ Control systems

Iterate your design through variations using:

- ◆ Parametrics
- ◆ Design variables

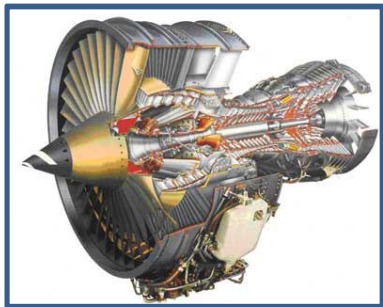
Improve

Improve your design using:

- ◆ DOEs
- ◆ Optimization

Automate your design process using:

- ◆ Custom menus
- ◆ Custom dialog boxes
- ◆ Macros



**ADAMS/View
иерархия
модели**

Типы геометрии в ADAMS/View

Конструкционная геометрия

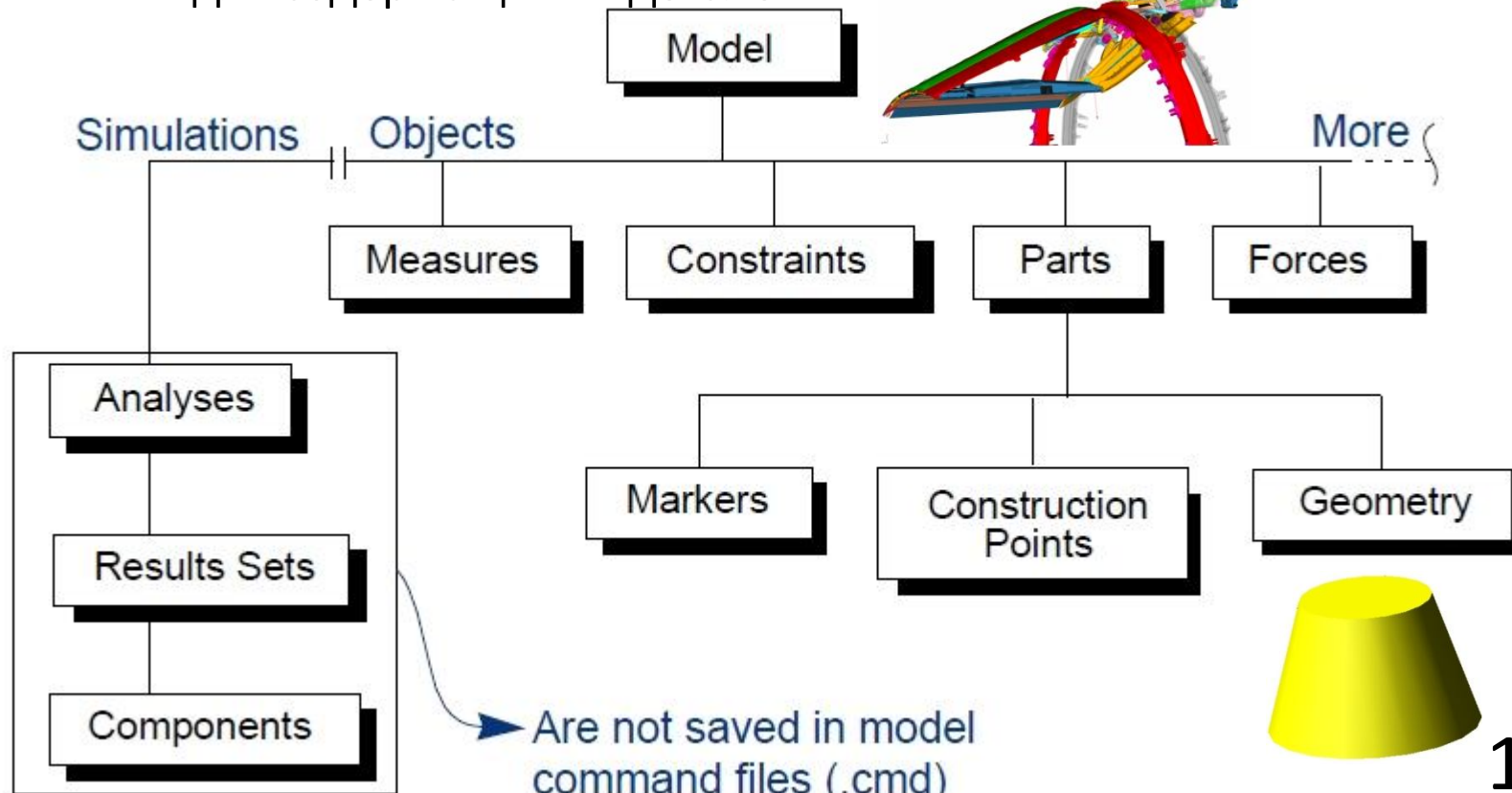
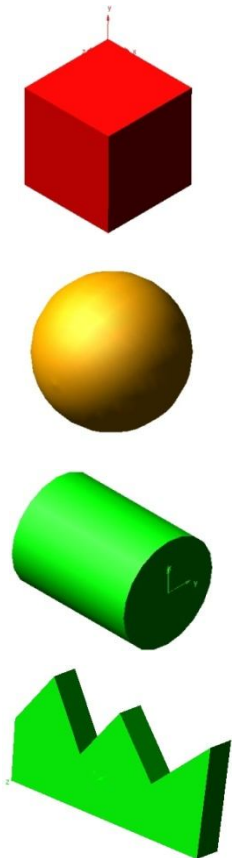
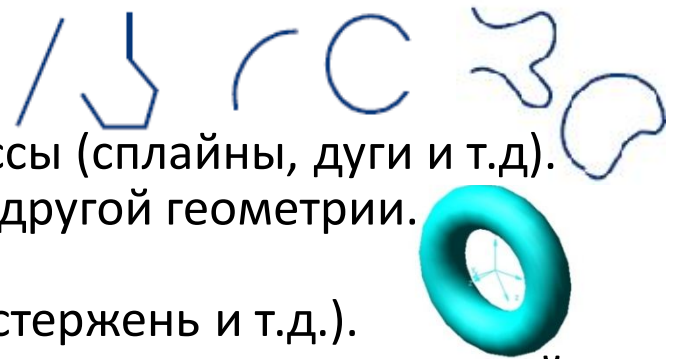
Объекты, которые не имеют массы (сплайны, дуги и т.д.).
Они используются для создания другой геометрии.

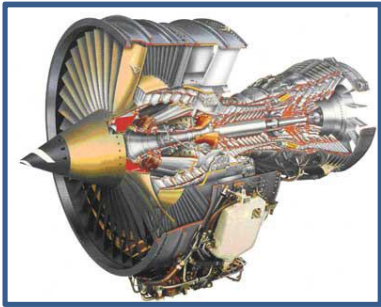
Твердотельная геометрия

Объекты, имеющие массу (куб, стержень и т.д.).

Могут быть созданы с использованием конструкционной геометрии.

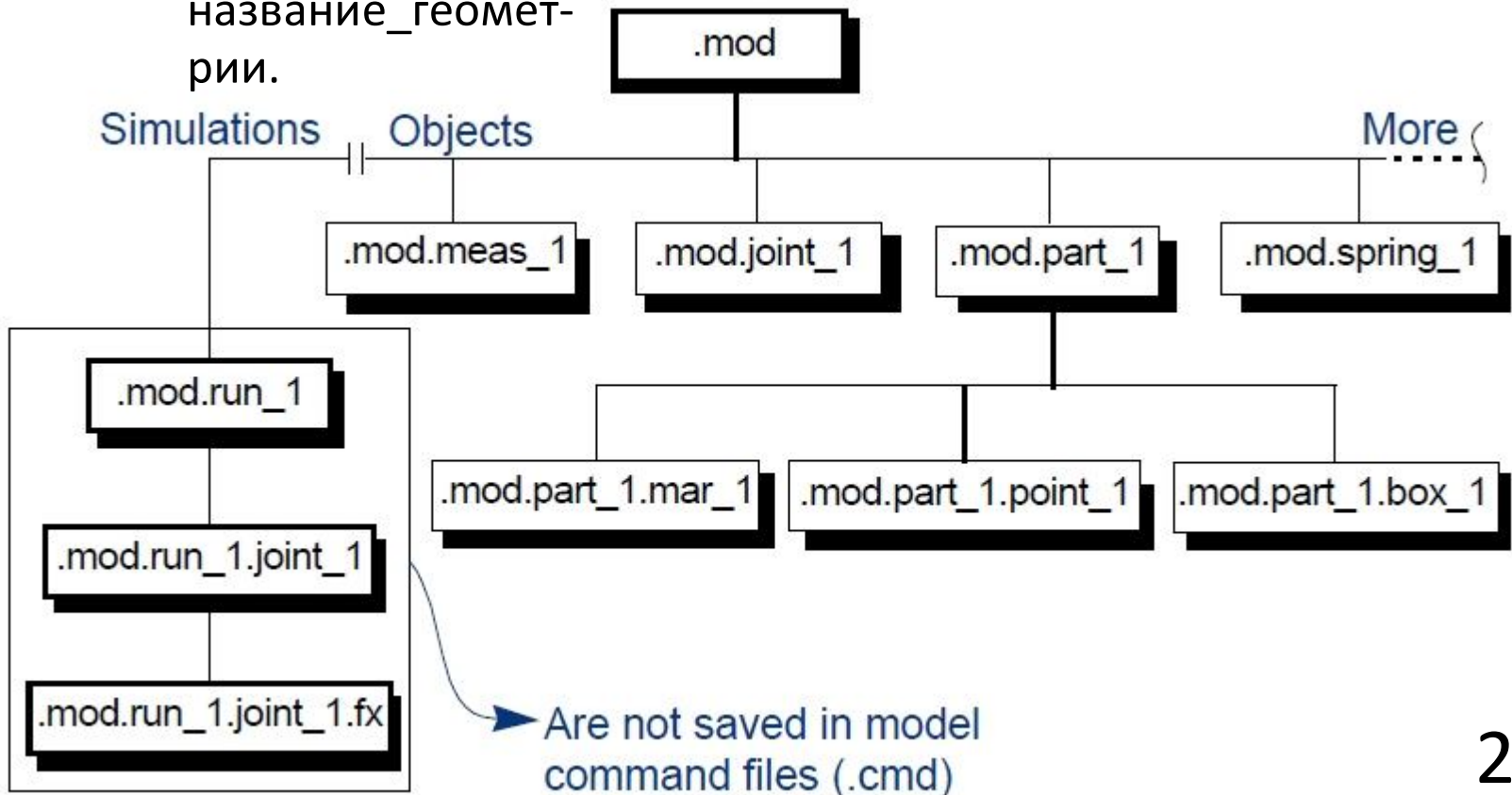
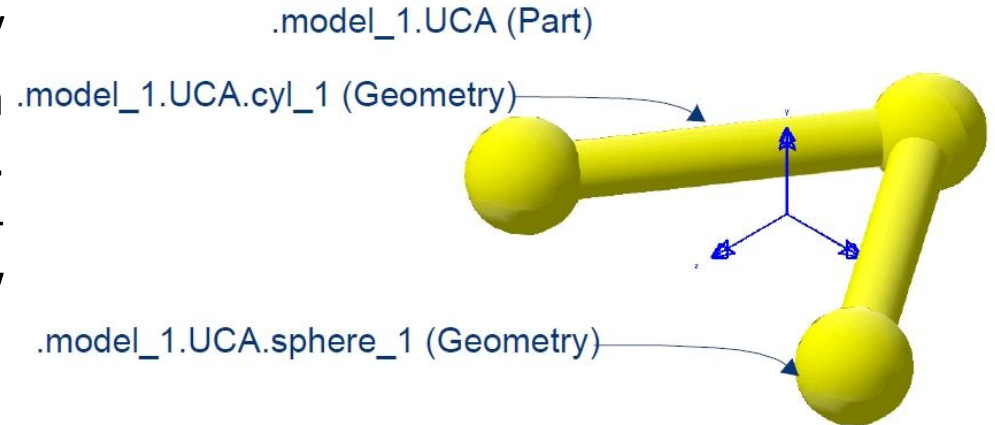
Возможен автоматический расчёт массовых характеристик для содержащих их деталей.

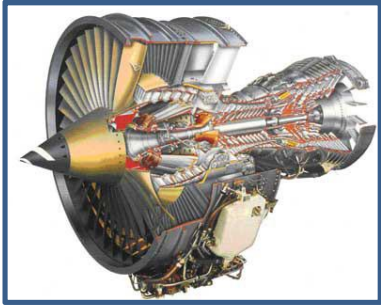




**ADAMS/View
наименования**

Наименования объектов в ADAMS/View основаны на иерархии модели. Например, геометрия в ADAMS/View именуется так:
 .название_модели.
 название_части.
 название_геометрии.





ADAMS/View
наименования

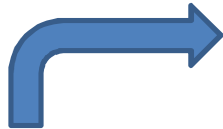
Чтобы изменить принадлежность объекта – переименуйте объект. Переименование объектов связано с топологией модели, как показано ниже



Чтобы посмотреть количество и тип связей



Model topology
by constraints tool



Verify tool

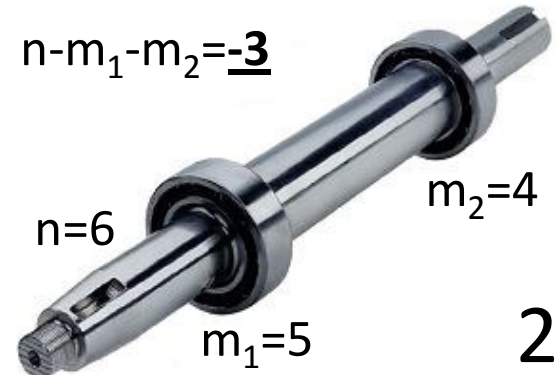
Renamed

Чтобы провести
проверку
правильности
модели

Not
renamed

```
Ground Part: ground
Part ground
Is connected to:
Upper_Arm via Upper_Rev_Jt (Revolute Joint)
Lower_Arm via Lower_Rev_Jt (Revolute Joint)
Part Spindle
Is connected to:
Upper_Arm via Upper_Ball_Jt (Spherical Joint)
Lower_Arm via Lower_Ball_Jt (Spherical Joint)
Tie Rod via Tie Out Ball_Jt (Spherical Joint)
```

```
Ground Part: ground
Part ground
Is connected to:
PART_3 via JOINT_1 (Revolute Joint)
PART_4 via JOINT_2 (Revolute Joint)
Part PART_1
Is connected to:
PART_3 via JOINT_3 (Spherical Joint)
PART_4 via JOINT_4 (Spherical Joint)
PART_5 via JOINT_5 (Spherical Joint)
```



$$n - m_1 - m_2 = \underline{-3}$$

n=6

m₁=5

m₂=4