



24-27 сентября, Абрау-Дюрсо

Международная
суперкомпьютерная конференция
**"Научный сервис в сети Интернет:
все грани параллелизма"**



Ю.Я. Болдырев, А.И. Боровков, В.С. Заборовский

Суперкомпьютерный инжиниринг



Стратегические цели и задачи современной высокотехнологичной промышленности



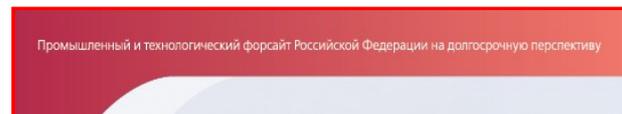
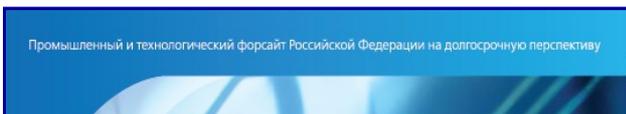
**Создание
глобально конкурентоспособной и
востребованной
продукции нового поколения
в кратчайшие сроки**





Зеленые книги, подготовленные в рамках проекта

“Промышленный и технологический форсайт Российской Федерации”



**Доступны в pdf-формате на сайте
www.FEA.ru**





Engineering is the **science, skill, and applying scientific**, economic, social, and **practical knowledge**, in order to **design** and also **build structures, machines, devices, systems, materials and processes.**

The American Engineers' Council for Professional Development (ECPD) has defined "**Engineering**" as: The creative application of scientific principles to **design or develop structures, machines, apparatus, or manufacturing processes, or to forecast their behavior under specific operating conditions; ...**

CAD / CAM / CAE / PDM / PLM / ... / MES / ... / ERP



Инжиниринг – это область человеческой интеллектуальной деятельности и процесс, задачей которого является **проектирование**, создание, сооружение, использование, поддержка, переработка или утилизация концепции, модели, продукта, процесса, системы или технологии для **решения конкретных технических задач**.

Ключевые термины:

- **“проектирование”**, потому что именно эта область деятельности является уникальным фундаментом инженерного дела,
- **“решение конкретных технических задач”**, потому что инжиниринг является, в первую очередь, прикладной деятельностью.

Отметим, что фундаментом этой деятельности является

Современное математическое моделирование на основе суперкомпьютеров

SuperComputer Simulation-Based Design & Engineering



Fields of Engineering / Области Инжиниринга

- | | |
|---|------------------------------------|
| 1. Aerospace engineering | 13. Materials engineering |
| 2. Applied engineering | 14. Mechanical engineering |
| 3. Biological engineering | 15. Military engineering |
| 4. Civil engineering | 16. Mechatrical engineering |
| 5. Chemical engineering | 17. Nuclear engineering |
| 6. Computer engineering | 18. Offshore engineering |
| 7. Electrical & Electronics engineering | 19. Optical engineering |
| 8. Engineering Science | 20. Petroleum engineering |
| 9. Financial engineering | 21. Geo engineering |
| 10. Food engineering | 22. Software engineering |
| 11. Industrial & Manufacturing engineering | 23. Sport engineering |
| 12. Marine engineering | 24. Systems engineering |
| | 25. Textile engineering |

...



Алгоритм возможного взаимодействия промышленности и университетов на основе многолетнего успешного опыта взаимодействия с ведущими отечественными и зарубежными промышленными организациями, имеющегося в НИУ СПбГУ в рамках сотрудничества

Challenge Industrial Problem / Промышленная проблема-вызов

1 Промышленность формирует заказ – Challenge industrial problem, т.е. промышленную проблему-вызов, проблему, решение которой позволит повысить конкурентоспособность предприятия или отдельных продуктов, изделий, технологий и т.д.

2 ВУЗ должен быть готов решить эту конкретную Проблему. Что значит быть готов?

Мультидисциплинарная команда специалистов, обладающих компетенциями мирового уровня

3 ВУЗ формирует команду специалистов, работающих в рамках данной Технологической цепочки соответствующего промышленного предприятия и работали бы в рамках данной Технологической цепочки.

**Форсайт-структура (Centre of Excellence):
 Brainware & Software & Hardware & Experience & Know-How & ...**

4 Команда специалистов решает задачу в рамках данной Технологической цепочки.

• материально-технические (Software & Hardware, Hi-Tech, Know-How, Experience, etc.) – динамично и гибко настраиваемая для эффективного решения Проблемы Структура

Формирование специализированной технологической цепочки
 $P^* = T1BMW - KH1 - T2Boeing - KH2 - T3 - \dots$ Решение проблемы

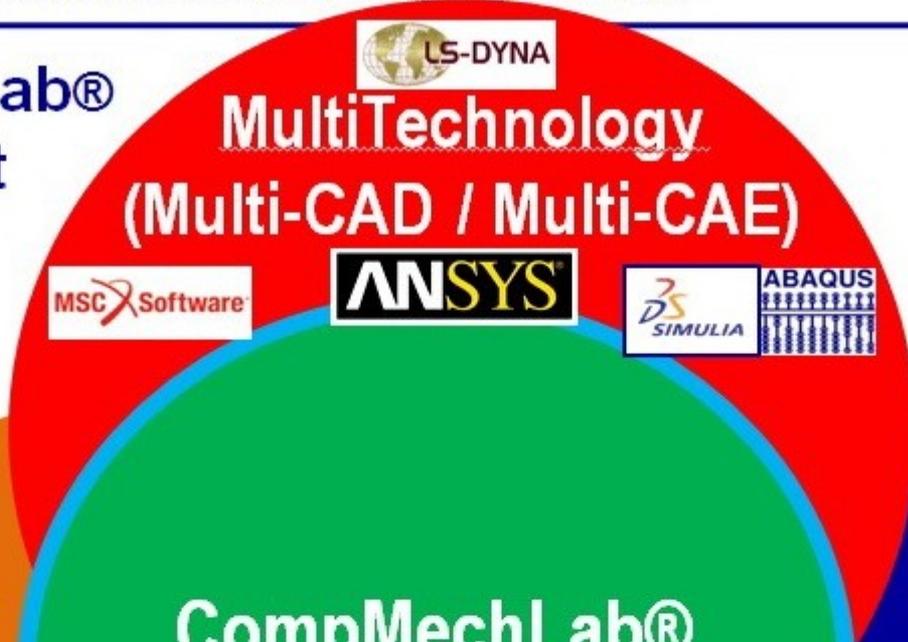
6 В рамках сформированной Технологической Цепочки решается сформулированная Промышленная Проблема-Вызов.

Генерирование мультидисциплинарных знаний, формализованный и неформализованный трансфер знаний, опережающая подготовка конкурентоспособных и востребованных специалистов, развитие компетенций и технологий, надотраслевой трансфер знаний, технологий, ...

8



© **CompMechLab®**
M³ - Concept



MultiLevel
SubModelling

μ -m-M-Homogenization

Macro

meso

micro

Nano

M-m- μ -Heterogenization

MultiScale /
MultiStage

MultiBody Dynamics
Acoustics
Fluid/Gas Mechanics
Mechanics
Thermal Analysis
ElectroMagnetism

MultiDisciplinary





Эволюция основных концепций и парадигм САЕ

"The Direct Hi-Tech Process Chains" ("Direct Innovations",

Boeing-, BMW-, ... oriented Hi-Tech Process Chains): $T1_{BMW} - T2_{BMW} - T3_{BMW} - \dots = P_{BMW}$

"The Reverse Hi-Tech Process Chains" ("Reverse Innovations", Challenging Problem oriented Hi-Tech Process Chains): $P^* = T1_{BMW} - KH-1 - T2_{Boeing} - KH-2 - T3 - KH-3 - \dots$

Open Innovations / Total Reverse Engineering / Global Collaboration

(OutTasking, OutSourcing, OutStaffing) **Embeddedness in Hi-Tech Process Chain**

9. **Digital Mock-Up** **Digital Manufacturing** (Digital/ Virtual/ Smart Factory, Smart Real-Time Factory)

8. SuperComputer (SmartMat*Mech)*(Multi**3) Simulation and Optimization

Based **Product Development**

7. SuperComputer (**SmartMat*Mech**)*(Multi**3) Simulation and **Optimization** -B D / E

6. SuperComputer (**Material Science * Mechanics**) (Multi**3) S-B D / E

5. SuperComputer (**MultiScale / MultiStage * MultiDisciplinary * MultiTechnology**) S-B D/E

4. SuperComputer **MultiDisciplinary** S-B D / E

3. SuperComputer S-B D / **Engineering** (S-B D/E)

2. **SuperComputer** S-B D

1. **Simulation-Based Design (S-B D)**

0. Hardware \rightleftharpoons Software \rightleftharpoons Brainware **Brainware** \rightleftharpoons Software \rightleftharpoons Hardware

Характерный пример реализации
Суперкомпьютерного инжиниринга

Проекты для BMW

17 000 задач / 2 недели; задача ~ 24 ядра

> 1000 задач / сутки (!!!)



Siemens PLM Software

Применяемые мультидисциплинарные
надотраслевые CAD/FEA/CFD/CAE-технологии
(общая трудоемкость разработки и сопровождения
– более 500 000 человеко-лет)



Типичный узел CompMechLab®-DHP*C-Network



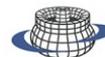
(Adams, Patran, Nastran, Marc, Easy,...)



SuperComputer CRAY CX1

(Intel Tylersburg 5520, Intel Westmere;
2x HexaCore Intel Xeon X5670, 2933 MHz /
96 cores, 192 Gb, 8*512Gb SSD + 10Tb)
Microsoft Windows HPC Server 2008 R2





Лицензии ФГБОУ ВПО СПбГПУ:

- **Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору на эксплуатацию ядерных установок в части выполнения работ и предоставления услуг эксплуатирующей организации (расчетные обоснования прочности и ресурса оборудования и трубопроводов, разработка проектов и технических решений и рекомендаций по продлению срока службы оборудования и трубопроводов, ...);**
- **Федерального космического агентства на осуществление космической деятельности (проведение исследований и расчетов аэродинамических характеристик, тепловых, механических, акустических нагрузок и НДС перспективных возвращаемых аппаратов на различных скоростях полета);**
- **Минпромторга России на осуществление разработки, производства, испытания и ремонта авиационной техники (проведение НИОКР с применением натурального и математического моделирования по созданию, модернизации и модификации авиационной техники, обработке и анализу результатов**



Промышленность □ Тренды, Технологии, Образование, Наука, Компетенции □ CAD/FEA/CFD/CAE CompMechLab® Centre of Excellence



Заказчики CompMechLab® - ведущие мировые и отечественные промышленные фирмы в области:

 **Авиационно- и авиастроения** (Ракетно-космическая корпорация "Энергия" им. С.П. Королёва, Airbus, Boeing, ОАК, ИРКУТ; ОБОРОНПРОМ, ОДК и др.);

 **Автомобилестроения** (BMW, Daimler / Mercedes Benz, Audi, Porsche, GM, VW, Ferrari, Hummer, КАМАЗ, АВТОВАЗ, Ё-АВТО и др.);

  **Газетно-промышленности** (Газпром-ВНИИГАЗ, ГипроСпецГаз, ДАЙМЛЕР

ХимПроект, GE, Schlumberger, Weatherford, Hydratight и др.);

  **Металлургии** ("Северсталь", корпорация ВСМПО-АВИСМА, Ижорский трубный завод, ОМК / ВМЗ, Северский трубный завод и др.);

 **Атомной энергетики** (концерн "РосЭнергоАтом", "Ижорские заводы", "АтомЭнергоПроект, ЦКБ машиностроения, ЛАЭС, КуАЭС, СмаЭС и др.);

  **Электро- и энергомашиностроения** (концерн "Силовые машины", "РосЭлектроПром Холдинг", General Electric, Siemens и др.).

 АВТОВАЗ





Примеры «Многомасштабной мультидисциплинарной иерархии { $\mu(p)$ – $m(q)$ – $M(r)$ } – моделей материалов, инженерных конструкций и сооружений»

↑ Количество частей

10 000 000

Автомобилестроение

– наиболее динамичная
 высококонкурентная
 отрасль со многими
 участниками

1 000 000



Boeing 787, 240 т
 ~ 56 м



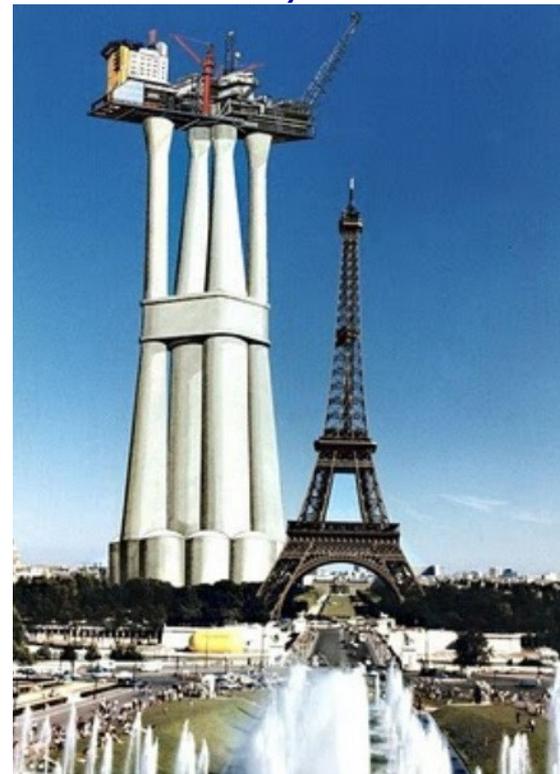
10 000



BMW X3, < 2 т
 ~ 4,5 м



Газовая платформа Тролл,
 Высота – 483 м, вес – 656 000 т



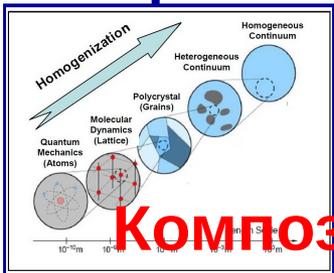
Характерный размер

5 м

50 м

500 м

Композиты – наиболее актуальная методология





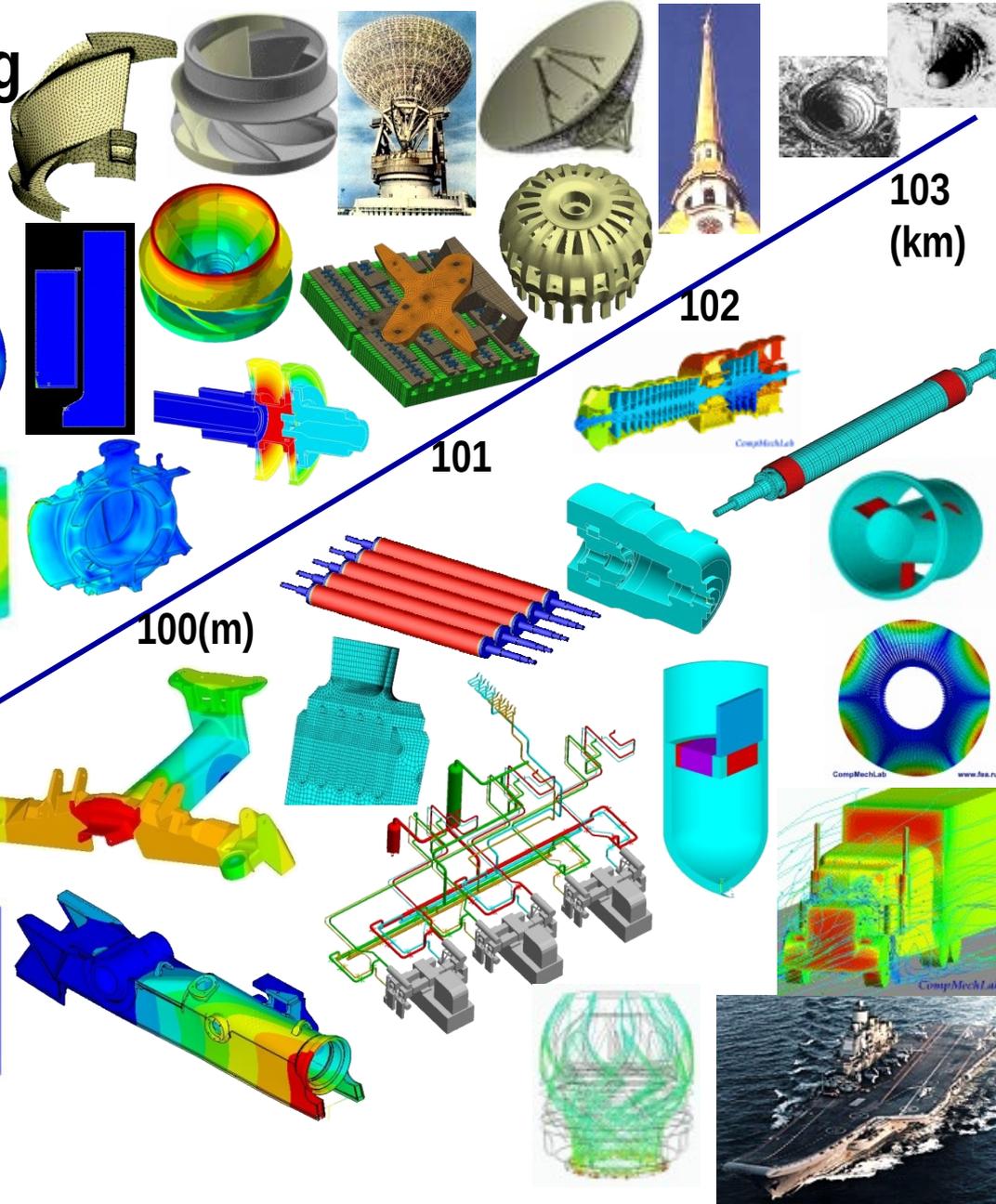
Computer Aided Engineering based on ANSYS® & Finite Element

Mechanics:
 macro - mechanics

meso - mechanics

mechanics,
 mechanics

FEA
 10-6(μm)
 10-9 (nm)



103
(km)

102

101

100(m)

10-3(mm)

10-6(μm)

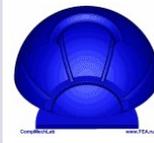
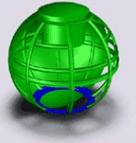
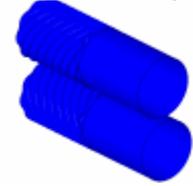
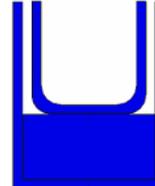
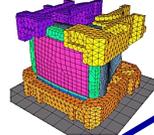
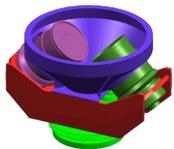
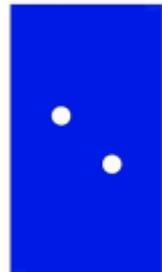
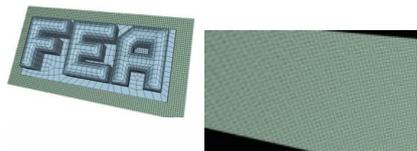
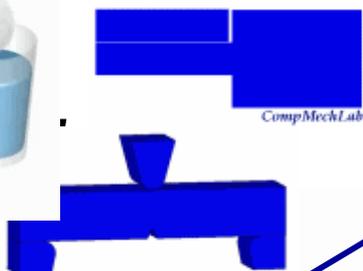
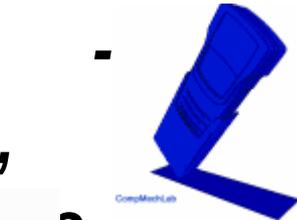
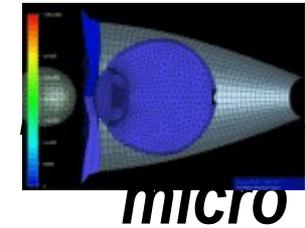
10-9 (nm)





Computer Aided Engineering based on **LS-DYNA** & **Finite Element Mechanics:**

macro
mechanics, ... ,



10-3(mm)

100(m)

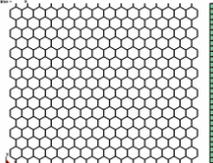
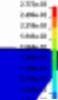
101

102

103

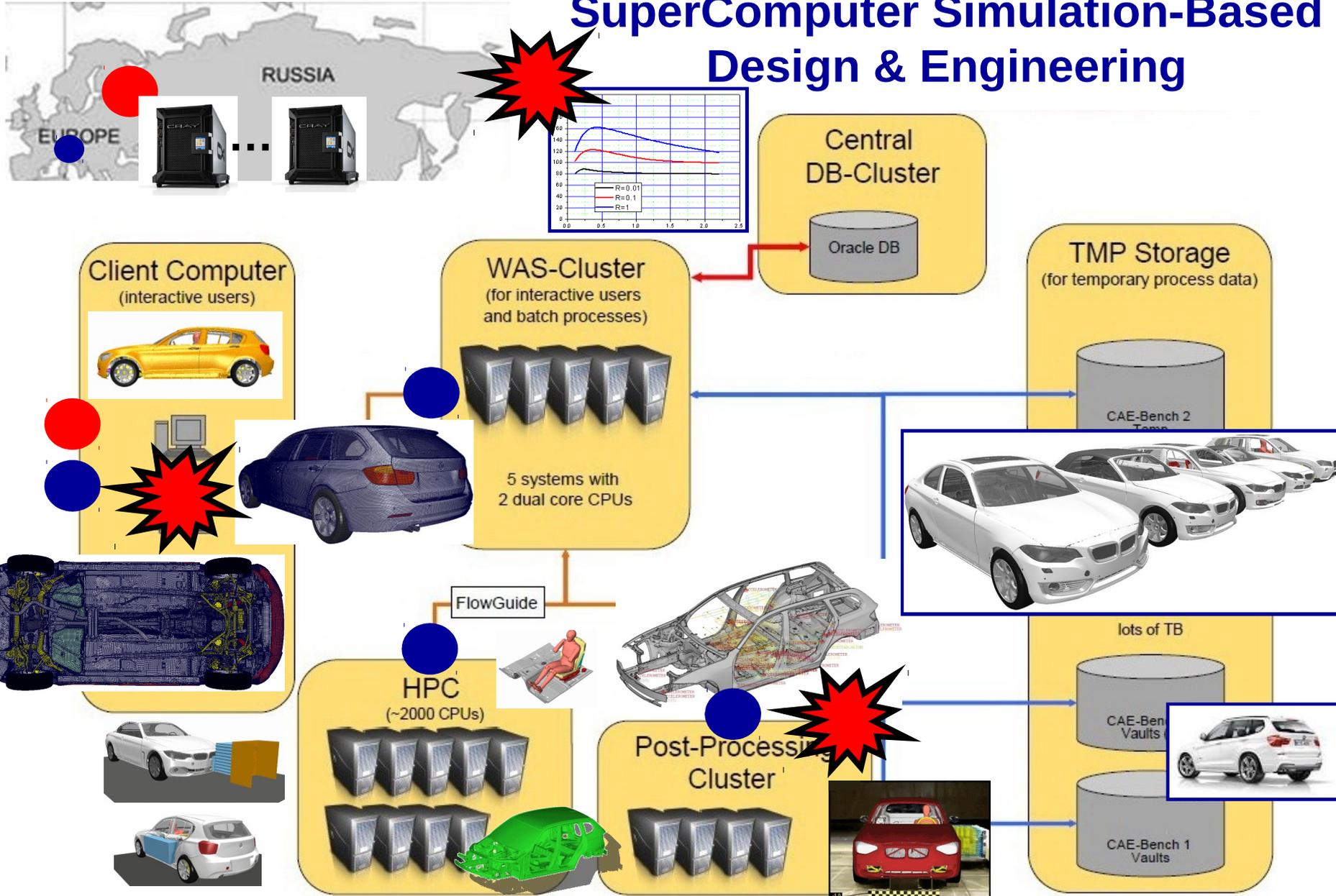


10-6(μm)





SuperComputer Simulation-Based Design & Engineering





Сегодня основополагающая концепция «**Simulation Based Design**» интенсивно развивается силами ведущих фирм-вендоров CAE-систем и передовых промышленных компаний. Особое значение сегодня приобрели решения задач по проектированию изделий и систем на основе максимально приближенных к реальности междисциплинарных (мультидисциплинарных) постановок задач **MultiDisciplinary Simulation Based Design/Engineering.**

Но! Такие междисциплинарные постановки задач требуют очень больших вычислительных ресурсов, поскольку в их основе постановка **СВЯЗАННЫХ** начально-краевых или краевых



SuperComputer Simulation Based Design (на основе HPC-технологий (High Performance Computing), которые, в свою очередь распадаются на

1) **SuperComputer (MultiScale / MultiStage * MultiDisciplinary * MultiTechnology) Simulation Based Design/Engineering**, где реализуется триада:
многомасштабность/
многостадийность*
мультидисциплинарность*мультитехнологичность.

2) **SuperComputer (Material Science ***



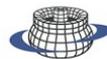
- 3) SuperComputer (SmartMat*Mech)*(Multi**3) Simulation and Optimization Based Design / Engineering** (применение Smart-материалов / "умных" материалов, применение разных видов оптимизации параметрической, многомерной, многокритериальной и т.д.), рациональной оптимизации технологических процессов и т.д. опять таки на основе суперкомпьютеров).
- 4) SuperComputer (SmartMat*Mech)*(Multi**3) Simulation and Optimization Based Product Development** (проектирование, инжиниринг и оптимизацию с расширяем до производства продукции и переходом к Virtual Product Development - виртуальной разработке продукции / изделий с использованием суперкомпьютеров).
- 5) Digital Mock-Up / Digital Manufacturing**



Вопрос о связи инженерного и естественнонаучного знания!? Приведем характерный пример, показывающий что, суперкомпьютерные технологии являются уникальным инструментом изучения Природы и создания нового.

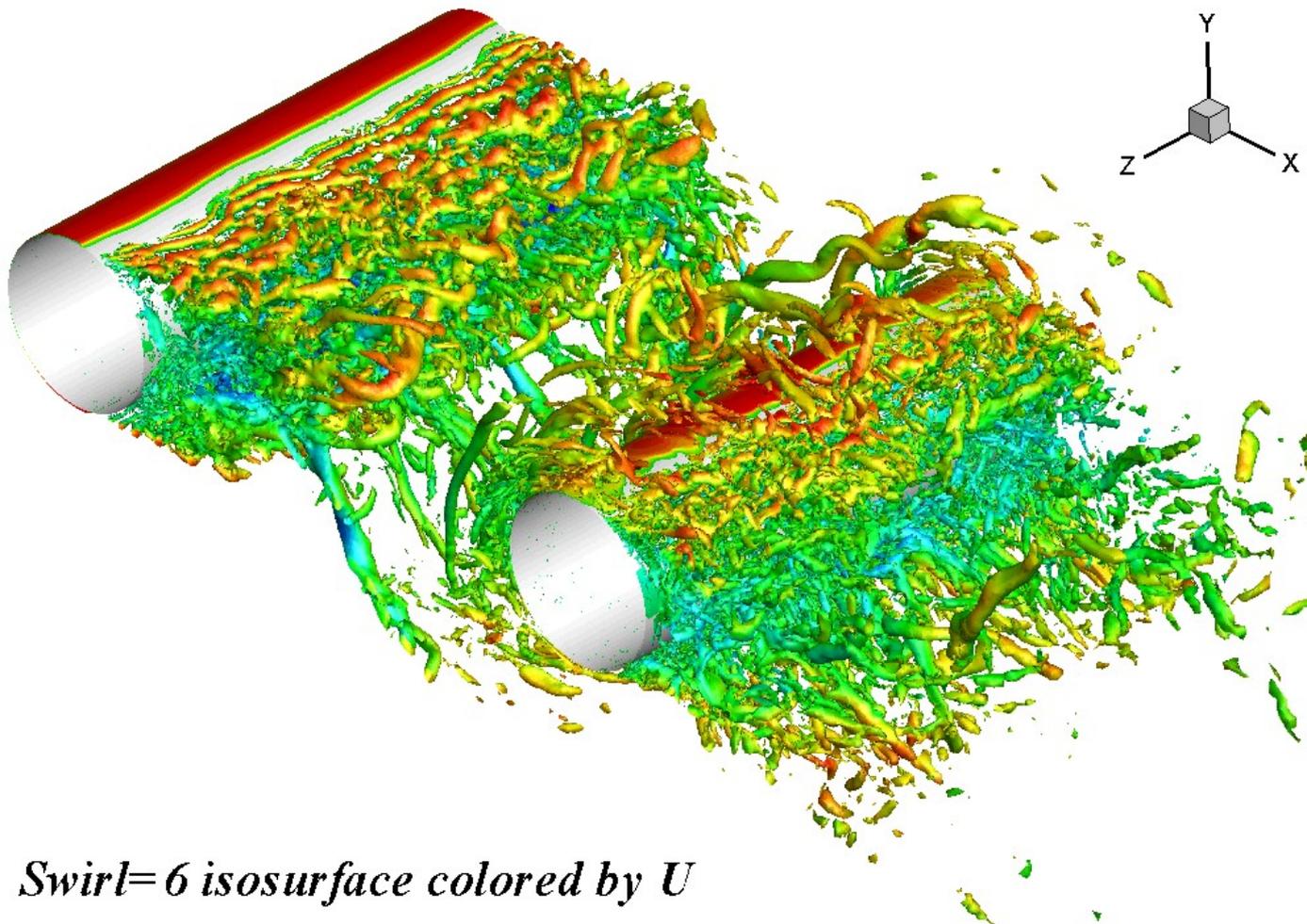
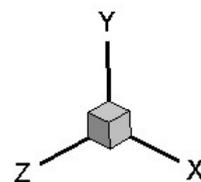
Математикам, физикам и механикам хорошо известна одна из нерешенных проблем XX века - проблема турбулентности. По своей физико-математической природе это проблема корректного математического моделирования движения вязкой жидкости или газа при сравнительно больших (примерно, больших 1000) числах Рейнольдса Re ($Re = V \times L / \nu$, где L и V характерные размеры области течения и его скорость, а ν - кинематическая вязкость жидкости).

Определенная теоретическая



Задача

**решалась в
 2009-2010гг.**
**Поле скорости
 поперечного
 обтека-
 ния тандема
 цилиндров при
 числе $Re =$
 $(V_0 D) / \nu =$
 $= 1.4 \cdot 10^5$ (V_0 -
 скорость
 набега-
 ющего потока,
 D - диаметр
 цилиндра,
 ν -**



Swirl=6 isosurface colored by U

Задача считалась на суперкомпьютере «Intrepid» Blue Gene/P Лаборатории Argonne National Lab (США) на 8160 узлах. Каждый узел содержит два 4-х ядерных процессора. В расчетах было использовано от 16320 до 65280 процессорных ядер! Сетка, содержит примерно 60 миллионов узлов. Характерный расчет шел около 11 суток.

**кинематическа
 я
 вязкость).**



Благодарю за внимание