

Компьютерная графика

Введение

Компьютерная графика

- это не просто «рисование картинок»
- это наука о синтезе, обработке и визуализации изображений и данных с помощью компьютера

3 декабря

- Всемирный день компьютерной графики
- Предложение о создании праздника поступило в 1998 году от американской компании Alias Systems (поглощена Autodesk), разработчика Maya, пакета трехмерного моделирования и анимации.
- Затем к событию подключились такие гиганты, как Adobe Systems, NVIDIA, Wacom и пр.
- 3 декабря 2025 года — среда

Актуальность для ФИИТ: Где это используется?

- Научная визуализация: Рендеринг данных моделирования (климат, физика частиц, биология)
- CV (Computer Vision): Обратная задача — анализ изображений. Графика синтезирует, vision анализирует
- Виртуальная и дополненная реальность (VR/AR)
- Машинное обучение: Генерация синтетических данных, стиль-трансфер, работа с GANs
- И конечно — игры, кино, дизайн

Научная визуализация

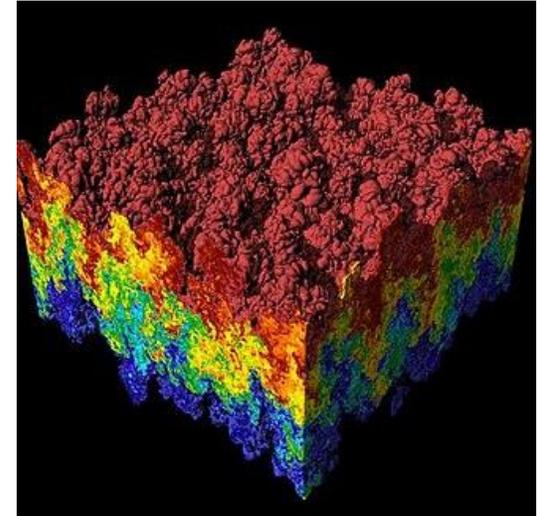
Рендеринг данных моделирования (климат, инженерные решения, физика частиц, биология и т.п.)



Рендеринг местности

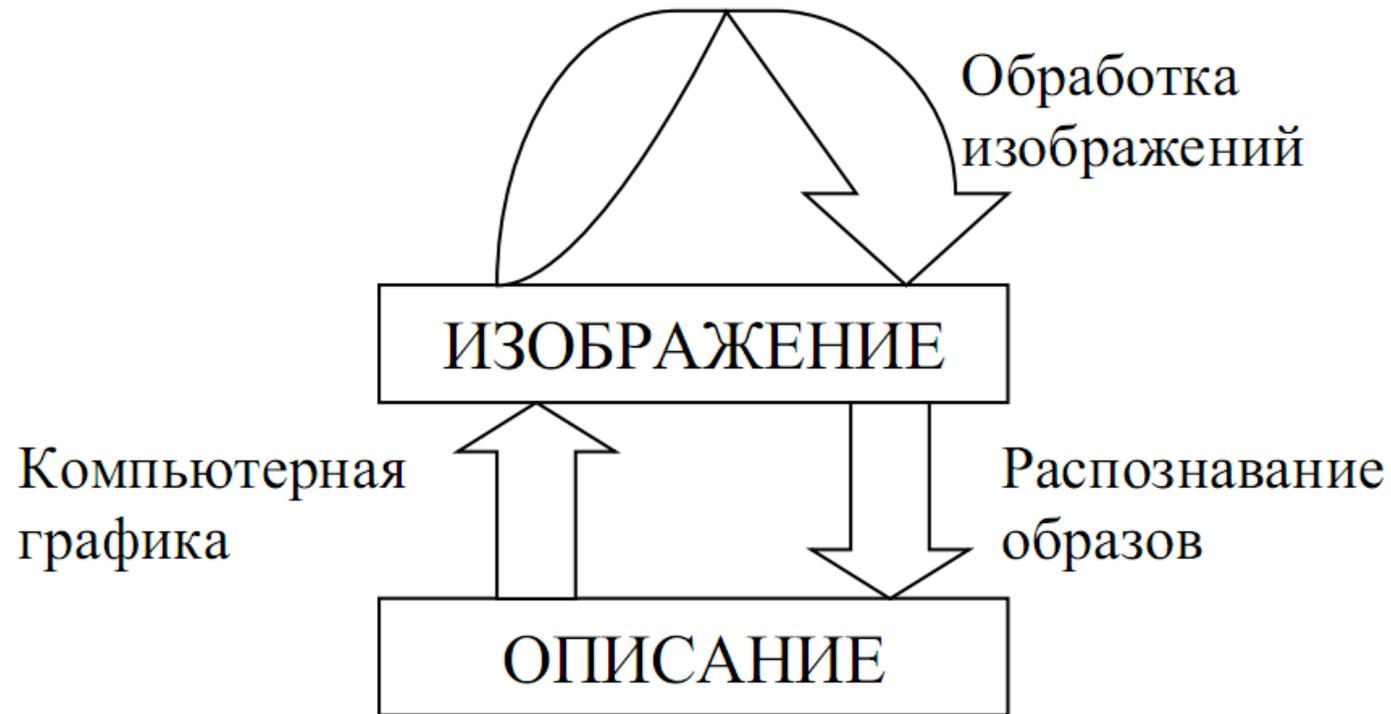


Научная визуализация потока жидкости: поверхностные волны в воде



Научная визуализация моделирования неустойчивости Рэля — Тейлора, вызванной смешением двух жидкостей

Взаимосвязи



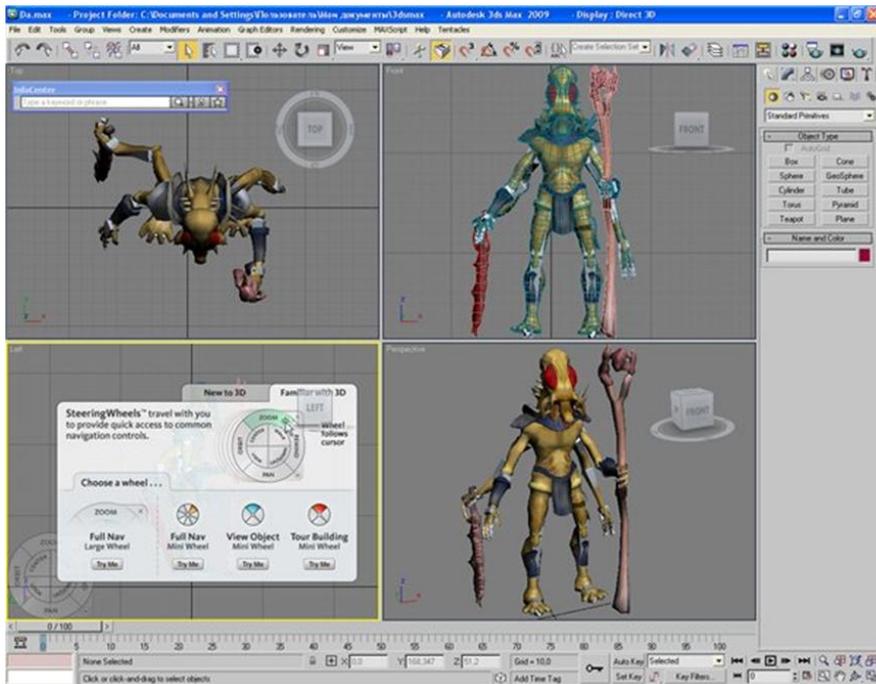
Виртуальная и дополненная реальность (VR/AR)



Машинное обучение: Генерация синтетических данных, стиль-трансфер, работа с GANs



И конечно — игры, кино, дизайн. Реалистичный Real-Time рендеринг



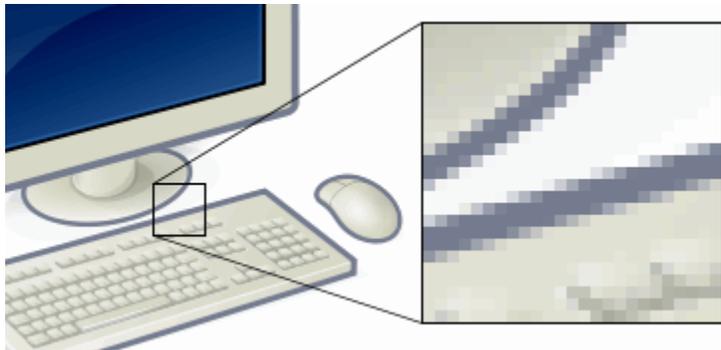
Цифровое искусство



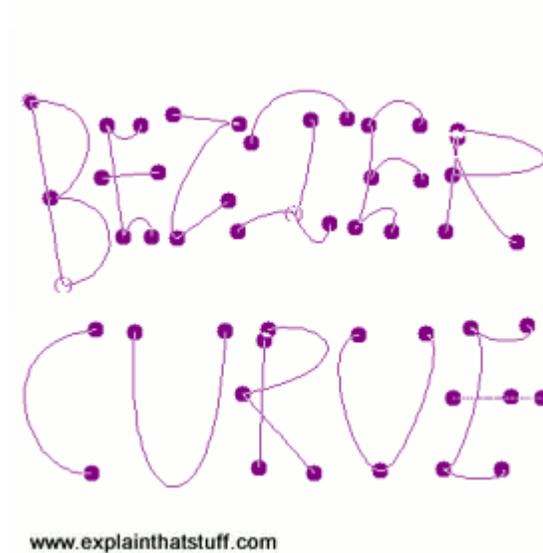
Цифровой художник Виктор Цыганов

Классификация графики по способам задания изображения

Растровая



Векторная



Фрактальная



Растровая графика (Raster Graphics)

Суть: Изображение как матрица пикселей (Bitmap, Framebuffer)

Главная задача: Рендеринг (Rendering) — процесс вычисления цвета каждого пикселя

Методы: Трассировка лучей (Ray Tracing) vs Растеризация (Rasterization)

Векторная графика (Vector Graphics)

Суть: Изображение как набор геометрических примитивов и функций (формулы, а не пиксели)

Главная задача: Описание формы и её преобразований (масштабирование без потерь)

Связь: В конечном счёте, всё становится в растром для отображения на экране

Фрактальная графика (Fractal Graphics)

Суть: Изображение как аттрактор рекурсивной функции. Изображение не описывается явно, а порождается путём многократного применения простой математической формулы к самой себе. Часть объекта повторяет целое.

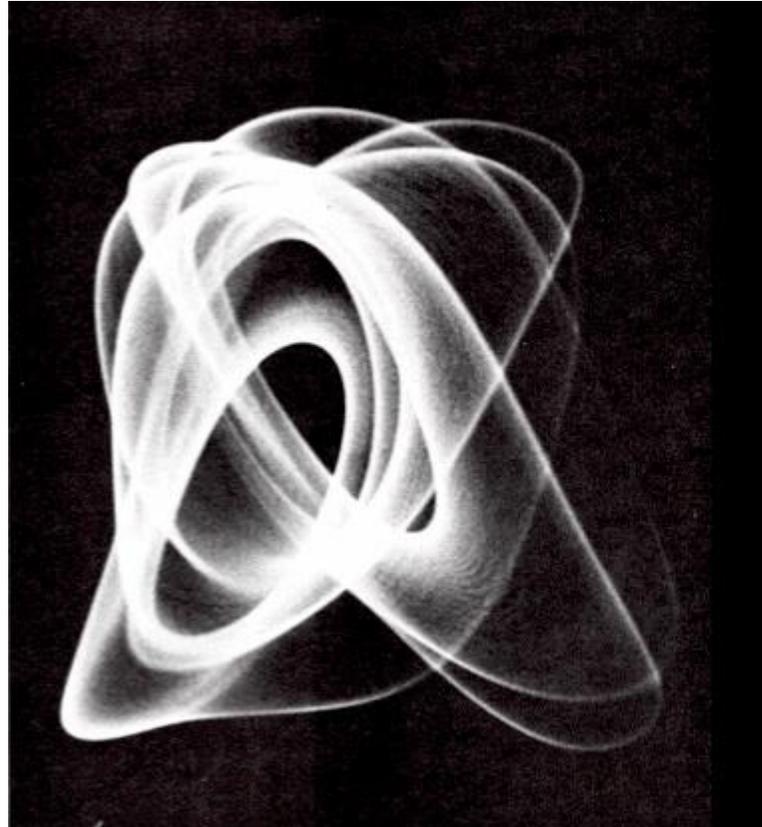
Главная задача: Итерация (Iteration) и нахождение точек, принадлежащих множеству (например, множеству Мандельброта).

Связь с рендерингом: Для визуализации фрактала мы выполняем итерации для каждой точки экрана (как для пикселя в буфере кадров) и в зависимости от поведения функции (сходится/расходится) присваиваем ей цвет. Это гибридный подход: мы используем растровый вывод, но не через рендеринг сцены, а через прямое вычисление.

Экскурс в историю

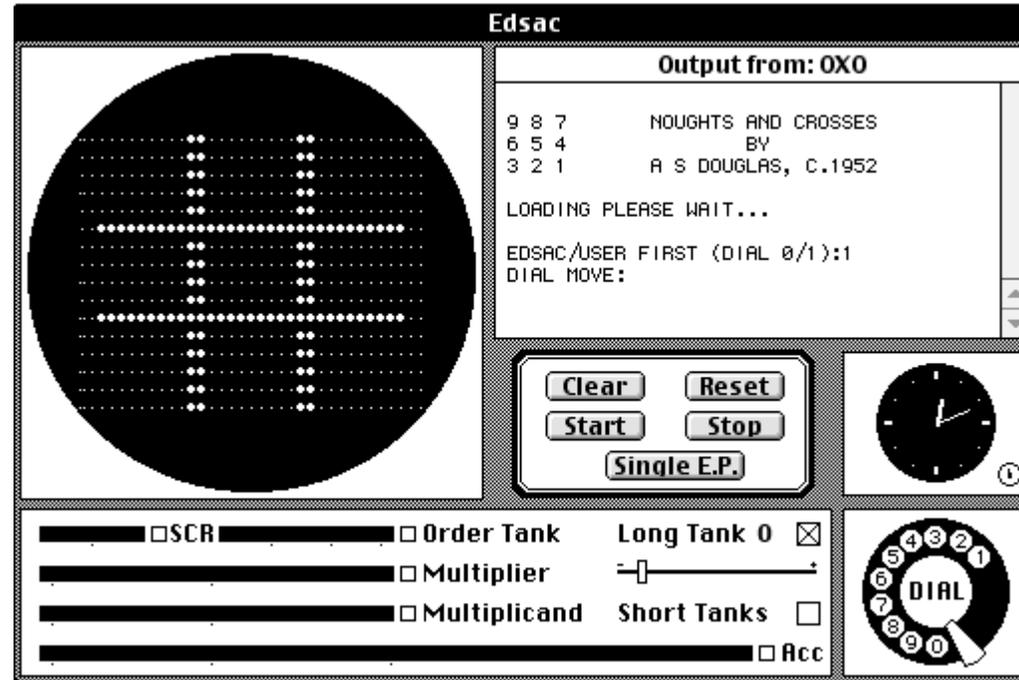
- 1940 – 1970 гг.
- 1971 – 1985 гг.
- 1986 – 1990 гг.
- 1991 – 2024 гг.

Рисунок на осциллографе



В 1950 году Бенджамин Лапоски ([Ben Laposky](#)), математик, художник и чертежник, начал экспериментировать с рисованием на осциллографе.

1952 год



Первая наглядная компьютерная игра - ОХО, или крестики-нолики, разработанная Александром Дугласом ([Alexander Douglas](#)) для компьютера [EDSAC](#) в рамках кандидатской диссертации как пример взаимодействия человека с машиной.

Ввод данных осуществлялся дисковым номеронабирателем.
Вывод выполнялся матричной электронно-лучевой трубкой.

1957



Вывод на осциллограф

William Fetter

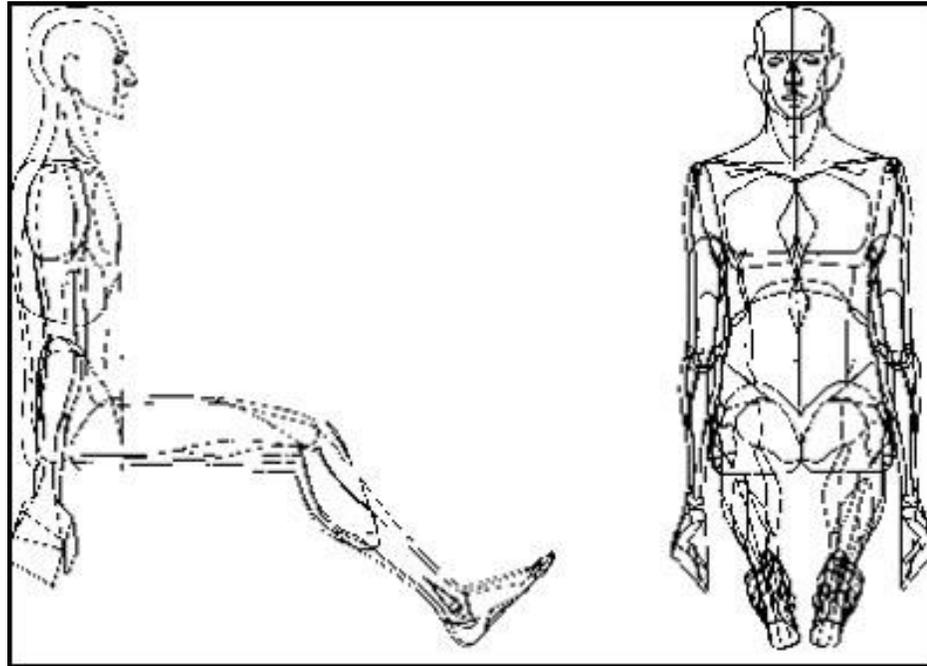
term
Computer Graphics
in 1960



14 марта 1928 г. – 23 июня 2002 г.

Человек Боинга

Результатом трудов Уильяма Феттера в 1964 году стала ортогональная проекция человеческой фигуры, которая была известна под именем «Boeing man»



Steve Russell

- Spacewar



1937 год (86-87 лет)

Стив Рассел и Мартин Гретц

- Стив Рассел возглавил проект (студенты Массачусетского технологического института) по созданию первой (второй) графической компьютерной игры.



1961-1962

Создание игры («Spacewar!») заняло около 200 человеко-часов.

Игра была создана на машине DEC PDP-1.



Двухмерная векторная графика

Spacewar



Стив [Рассел](#)
запрограммировавший
первую версию *Spacewar!*



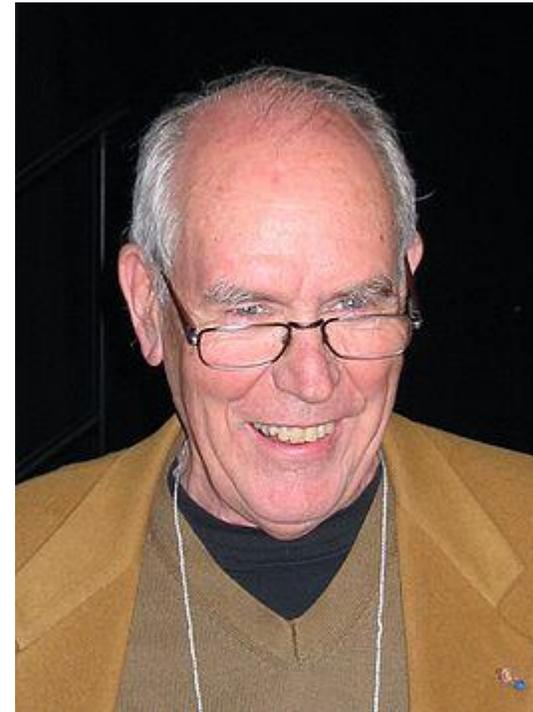
Два игрока
используют
переднюю панель на
PDP-12 для игры в
Spacewar! на [Vintage
Computer Festival](#)



KSpaceDuel,
современная версия,
включенная во многие
дистрибутивы Linux

Айвен Эдвард Сазерленд

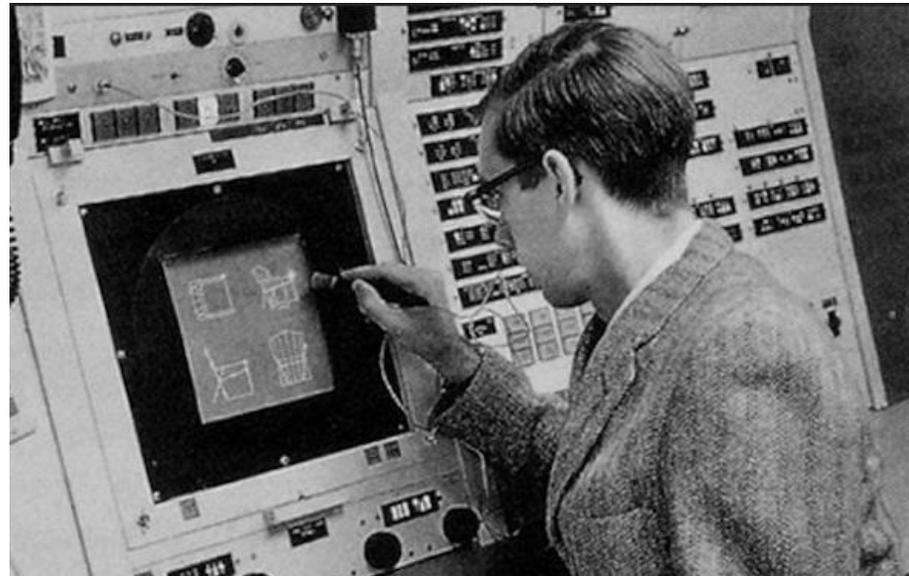
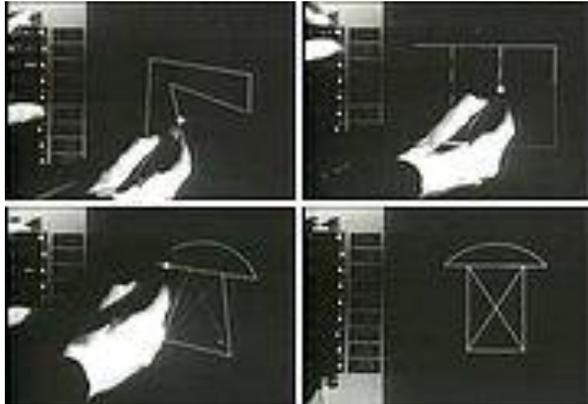
- американский учёный в области информатики и пионер интернета
- степень бакалавра в электрической инженерии от Института технологий Карнеги (сейчас Университет Карнеги — Меллон)
- степень магистра от Калифорнийского технологического института
- доктор наук в компьютерной инженерии (EECS) от MIT в 1963 году.



16 мая 1938 (86 лет)

1963

- Айвен Сазерленд создал программно-аппаратный комплекс Sketchpad, который позволял рисовать точки, линии и окружности на трубке цифровым пером. Поддерживались базовые действия с примитивами.
- По сути, это был первый векторный редактор — прообраз будущих САПР.



Получил премию Тьюринга от АСМ (Ассоциации вычислительной техники) в 1988 за «Sketchpad».

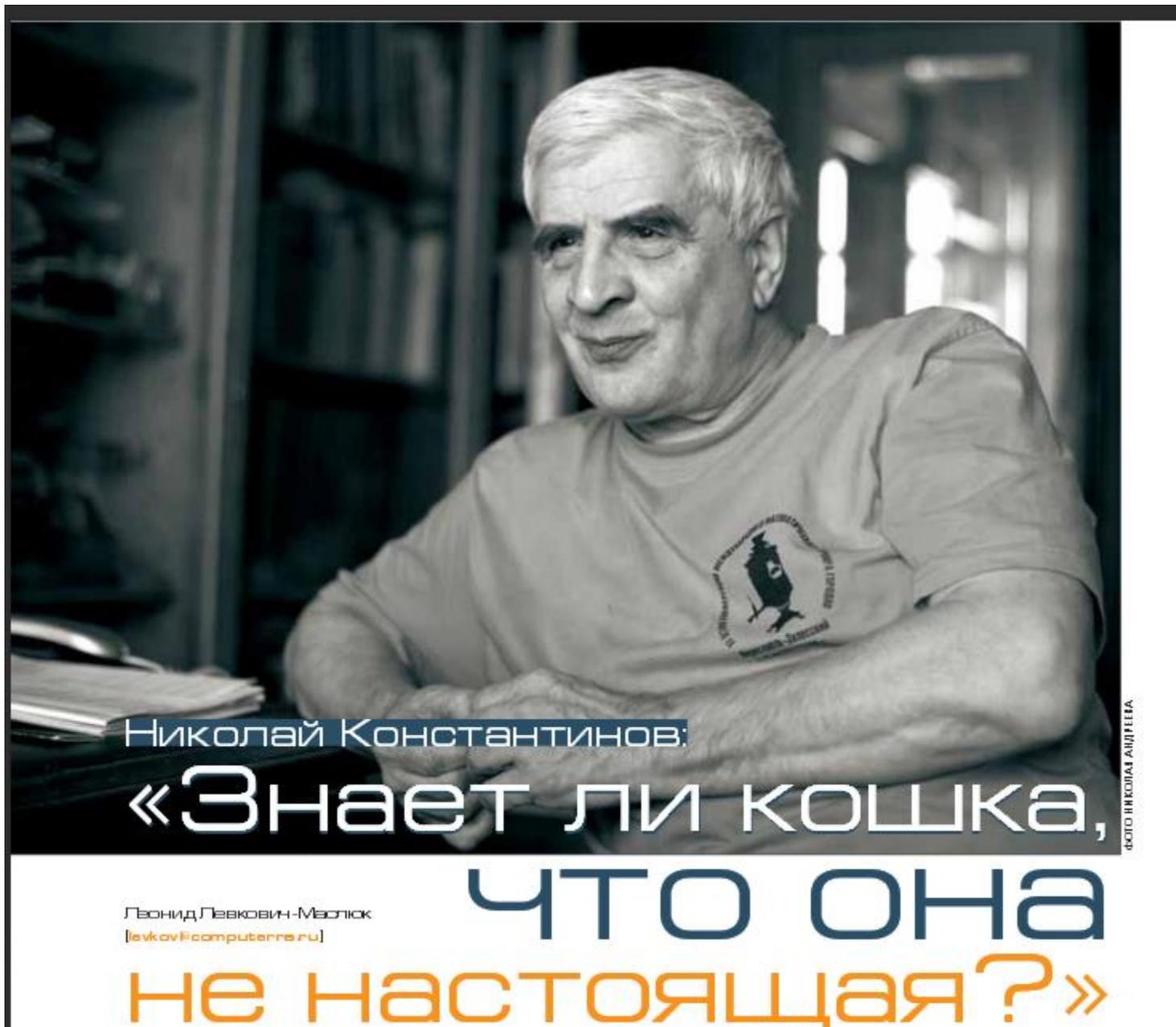
В 2012 удостоен премии Киото за ту же разработку.

Айвен Сазерленд с помощью своих студентов Боба Спроула, Квинтина Фостера и Дэнни Коэна в 1968 году создал то, что считается первым шлемом виртуальной реальности и дополненной реальности — Дамоклов Меч.

Шлем был примитивным как с точки зрения интерфейса, так и по реализму изображения, а его вес был таким большим, что он подвешивался к потолку.

Виртуальная среда состояла из простых каркасных моделей комнат





Николай Константинов:

«Знает ли кошка,

ЧТО ОНА

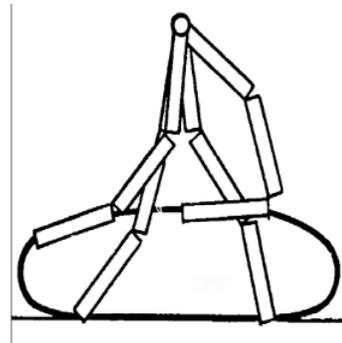
НЕ НАСТОЯЩАЯ?»

Геонид Левкович-Маслик
[levkov@computer.ru]

ФОТО НИКОЛАЯ АНДРЕЕВА

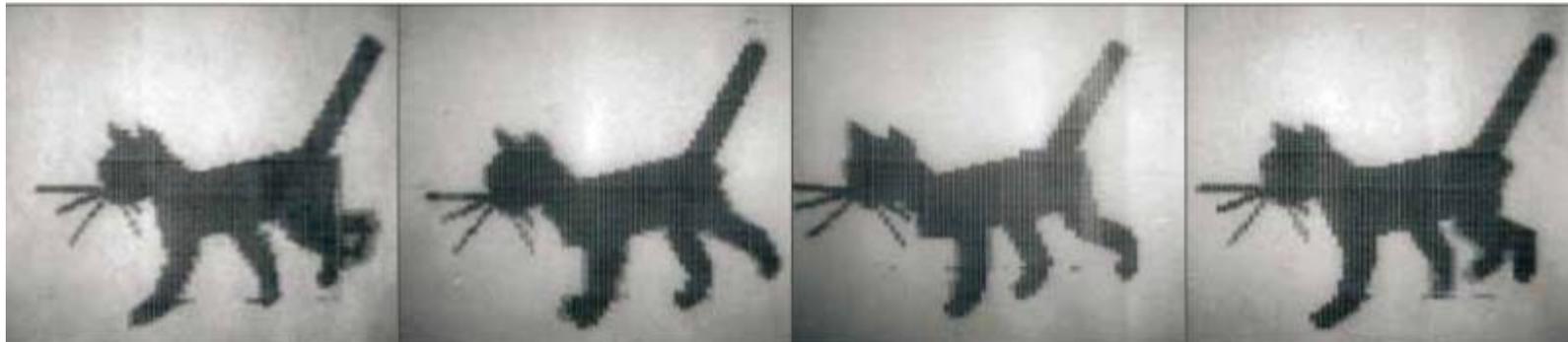
1968

- Первый в мире мультфильм, нарисованный компьютером.
- Группа под руководством Николая Николаевича Константинова создала математическую модель движения кошки.
- Машина БЭСМ-4, выполняя написанную программу решения, нарисовала мультфильм "Кошечка".

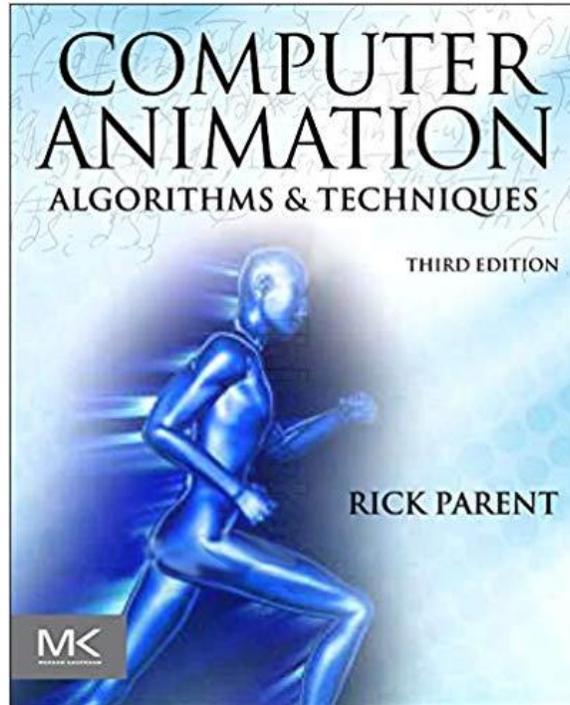
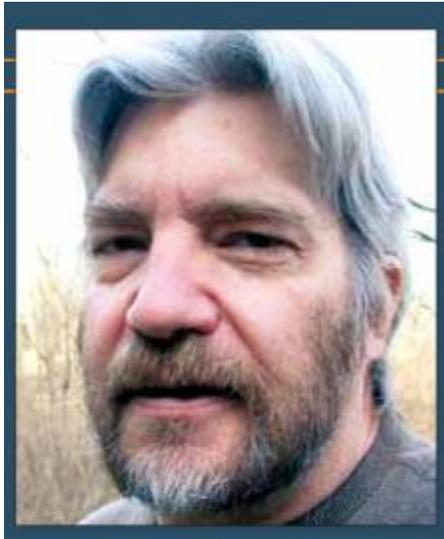


траектория лап кошки, задаваемая
дифференциальными уравнениями

Кошечка



Рик Парент (профессор Университета Огайо)



Первая реакция Рика на просмотр «Кошечки»:
«Это ПРЕКРАСНАЯ анимация!
Я от нее в восторге.
Если не возражаете, я покажу
ее сегодня студентам на
занятиях.»

автор монографии «Computer Animation: Algorithms and Techniques»,
специалист по анимации человеческих фигур, а также по истории компьютерной анимации.

Юрий Баяковский



1937 -- 2014

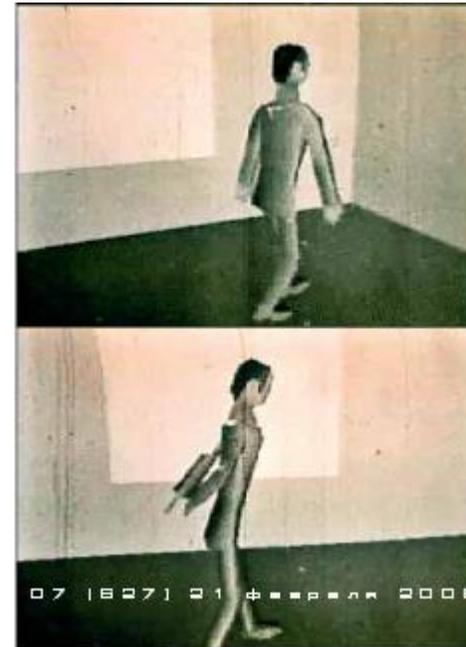
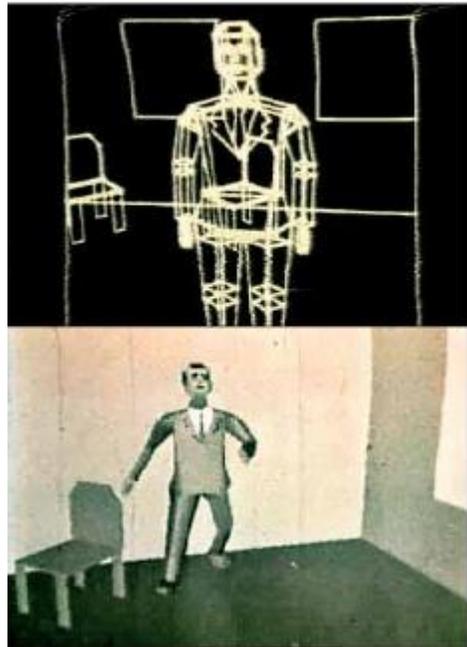
1990 на SIGGRAPH ассоциацией ACM присвоен титул
«Computer Graphics Pioneer»

1971-1985гг.

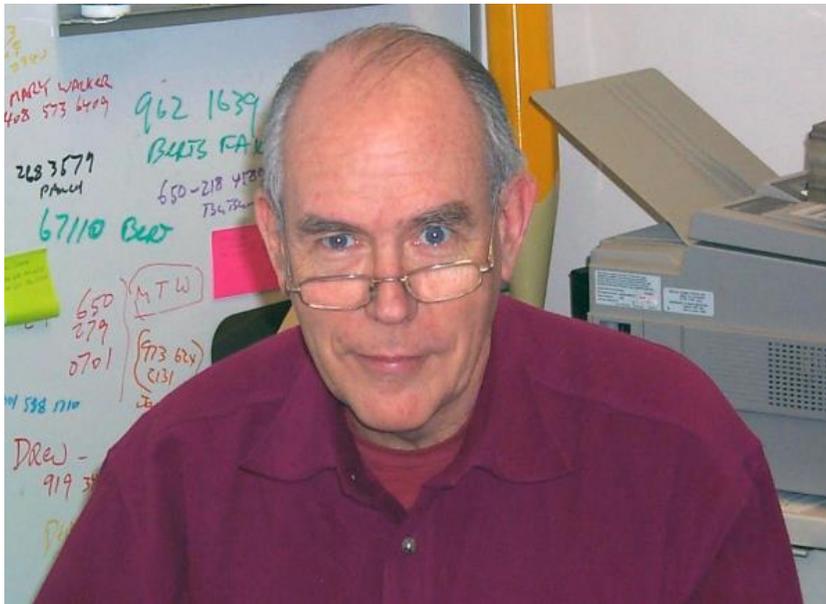
- Появились персональные компьютеры, т.е. появился доступ пользователя к дисплеям.
- Роль графики резко возросла, но наблюдалось очень низкое быстродействие компьютера.
- Программы писались на ассемблере.
- Появилось цветное изображение (256).
- Особенности:
 - этот период характеризовался зарождением реальной графики.

Not Just Reality

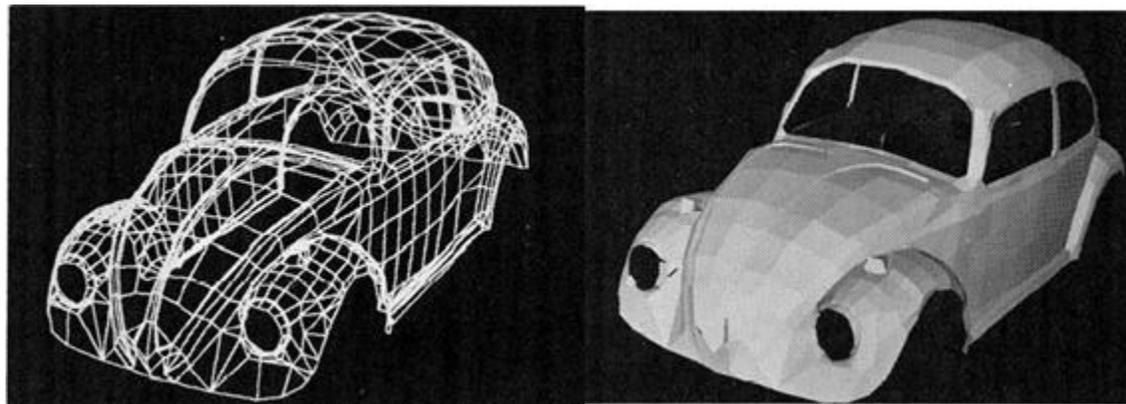
Один из первых трехмерных компьютерных фильмов,
сделанный Барри Весслером в Университете Юты в 1973 году



70-ые и 80-ые гг



Айвен Эдвард Сазерленд (Ivan Edward Sutherland)



Первая 3D-модель автомобиля

В 1972 году
Буй Фонг, Роберт Макдермотт (Robert McDermott),
Джеймс Кларк (James Clark) и Рафаэль Ром (Raphael Rom)
под руководством Айвена Сазерленда
создали сгенерированное компьютерной графикой
трехмерное изображение, которое впервые в
истории выглядело точно так же, как его физический
оригинал, — "Фольксваген-жук" (Volkswagen Beetle).

Автомобиль, взятый у Марши, жены Айвена,
пришлось вручную разбивать на полигоны,
координаты которых затем вводились в
графический редактор Sketchpad.



А кем же были «муравьи»-студенты?





Джон Эдвард Уорнок (John Edward Warnock)
6 октября 1940 г. – 19 августа 2023 г (82 года)
Через десять лет после этой истории он станет соучредителем компании Adobe.

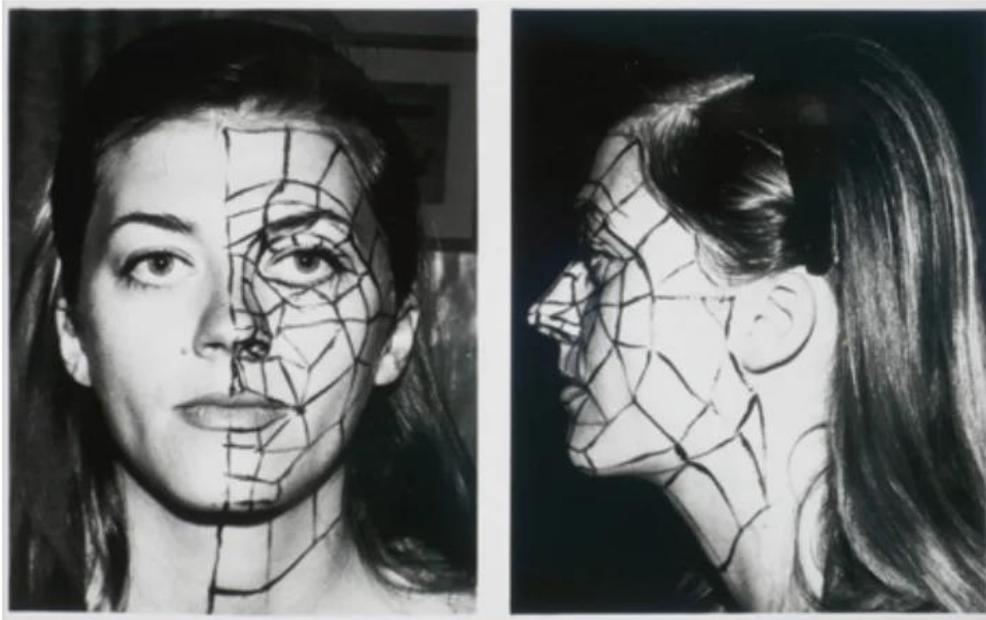


Анри Гуро (Henri Gouraud)
1944 (80 лет)

Французский специалист по информатике.
Является изобретателем затенения Гуро, используемой в компьютерной графике.
Является внучатым племянником генерала Анри Гуро.

В 1964-1967 годах он учился в Центральной школе Парижа. Он получил степень доктора философии в инженерном колледже Университета Юты в 1971 году, работая с Дейвом Эвансом и Иваном Сазерлендом над диссертацией под названием "Компьютерное отображение криволинейных поверхностей".

В 1971 году Гуро создал представление человеческого лица в каркасной модели, а также применил свой шейдер для создания знаменитых изображений человеческого лица, демонстрирующих эффект его затенения, которые были сделаны с использованием его жены Сильви Гуро в качестве модели.



Модель Сильвия Гуро - фото в Музее компьютерных наук в Маунтин-Вью.

3D-лицо с методом тонирования Гуро
1971





Буй Туонг Фонг (Bi Tong Phong)

14 декабря 1942 – июль 1975

Он опубликовал описание алгоритмов в своей докторской диссертации
1973 года и статье 1975 года

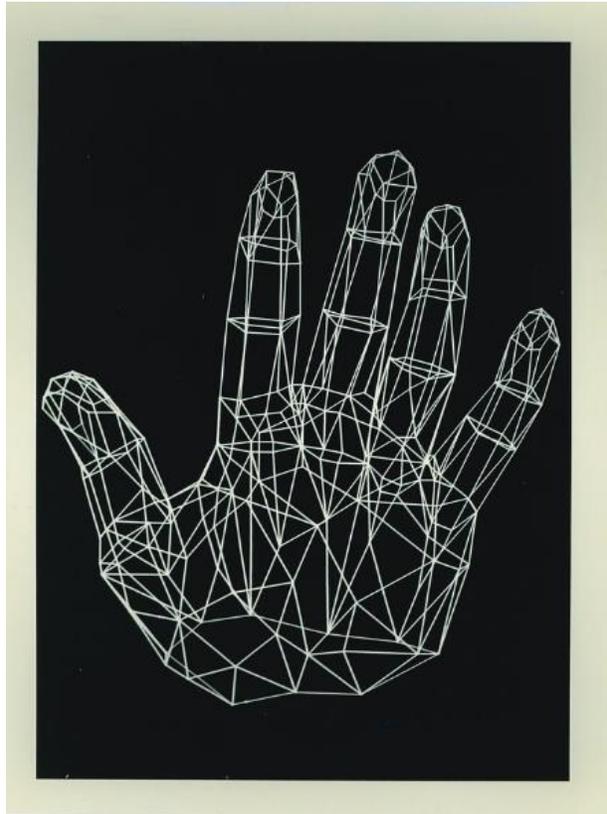
Сегодня модель Фонга используется во многих трехмерных движках.



Сравнение закрасок: «плоское», тонирование по Гуро, затенение по Фонгу.

Иллюстрация: Лаборатория компьютерной графики при Нью-Йоркском технологическом институте.

Эдвин Катмулл (Edwin Catmull)



31 марта 1945 г.
(79 лет)



- Его считают отцом компьютерной мультипликации.
- Сейчас занимает пост президента Walt Disney и Pixar.
- Анимированная модель руки (1972)
- Z-buffer

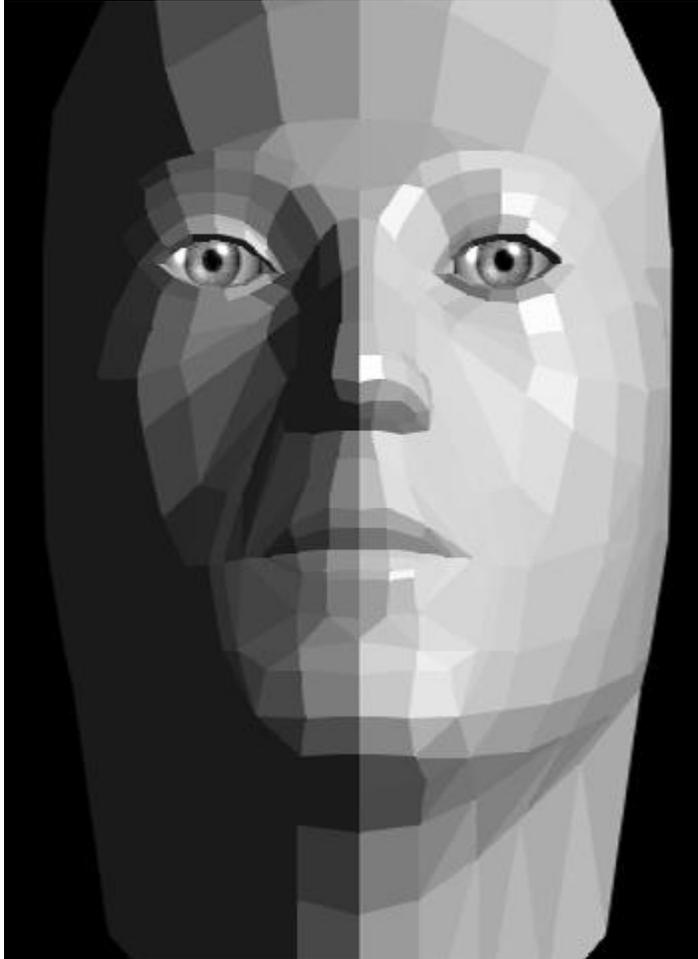
Рука Кэтмелла



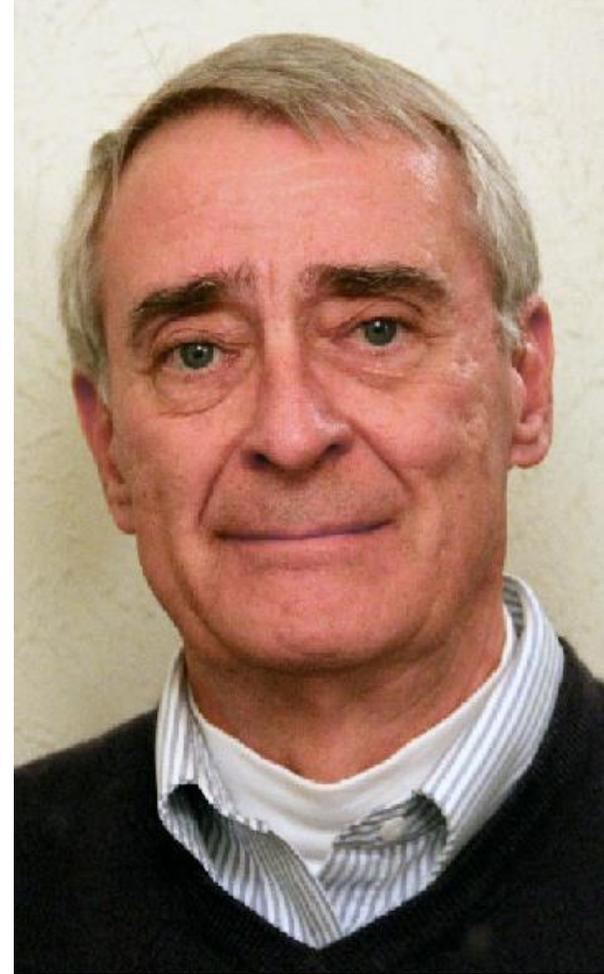
«Оскар» (1993, 1996, 2001)
Премия Гильдии продюсеров США (2002)
Медаль Джона фон Неймана (2006)
Награда имени Гордона Сойера (2009)
Премия Тьюринга (2020)

В 1976 году на экраны вышел триллер «Мир будущего» (Futureworld), ставший благодаря «руке Кэтмелла» первым, где использовалась компьютерная анимация.

Фред Парк (Fred Parke)



13 мая, 1943
(81 лет)

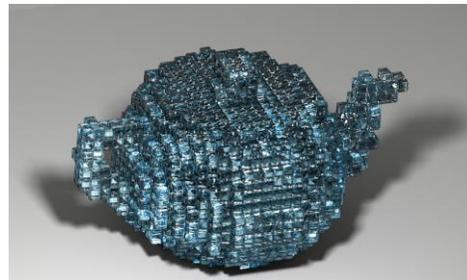
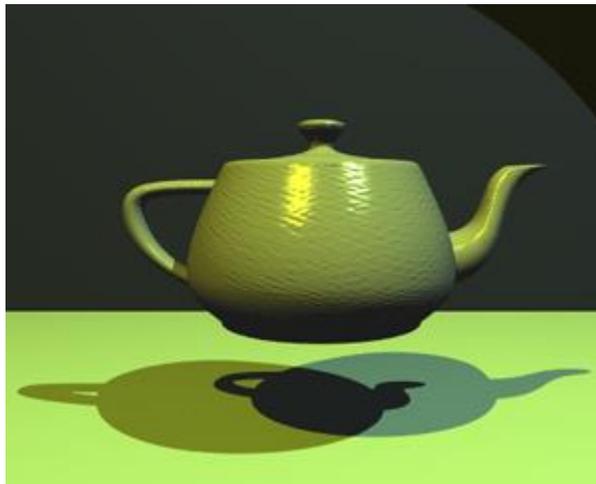


Попытался синхронизировать звук и движение губ компьютерной модели.
И это в 1974 году!

SIGGRAPH — 1974

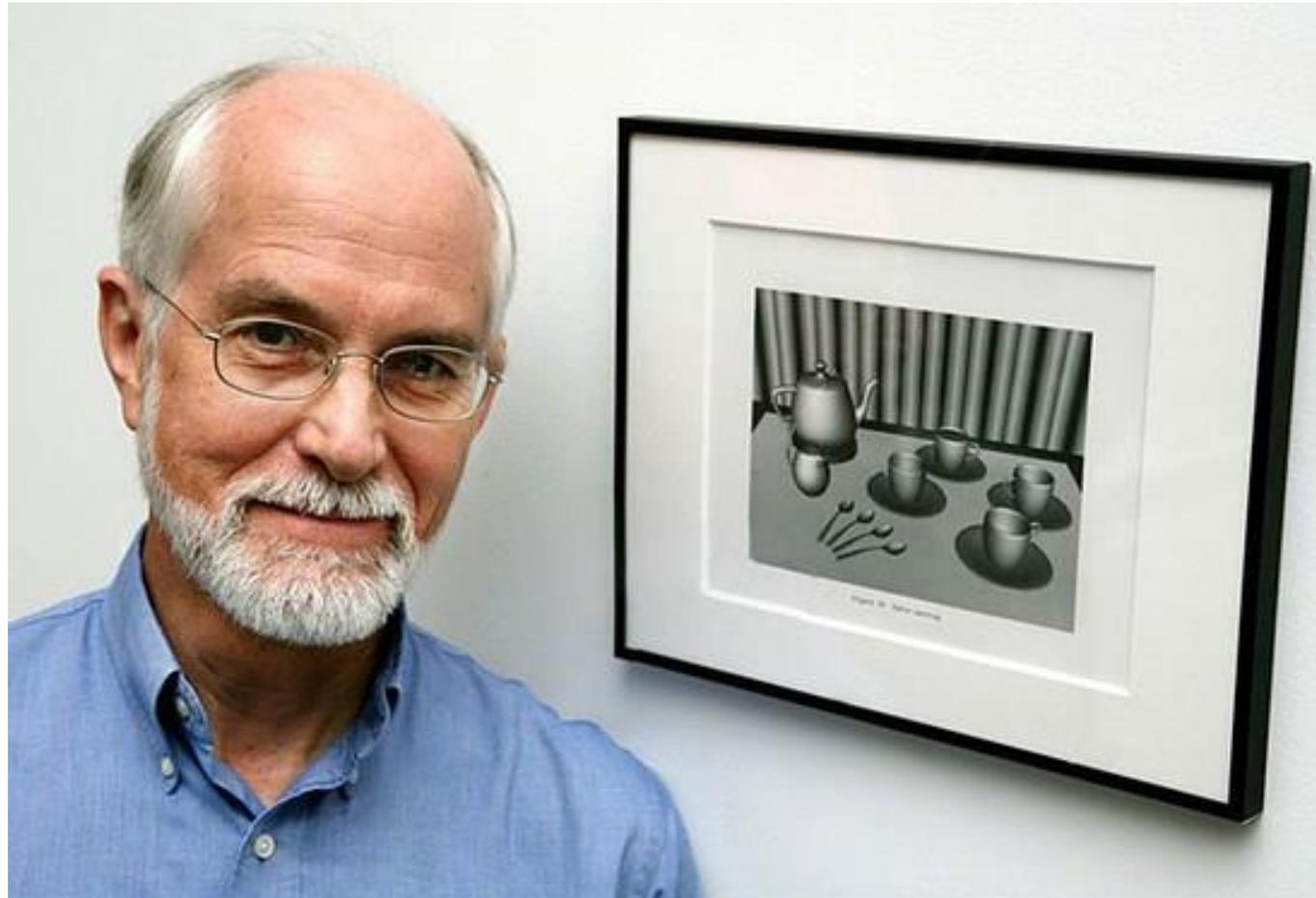
- Летом 1974 года в Боулдере (шт. Колорадо) на базе Ассоциации по вычислительной технике США (Association for Computing Machinery, ACM) в рамках Специальной группы по компьютерной графике (Special Interest Group in Computer Graphics, SIGGRAPH) состоялась первая тематическая конференция.
- На SIGGRAPH 1975 года проводилась демонстрация объекта, которому было суждено стать «иконой» компьютерной графики. Им оказался...

1975



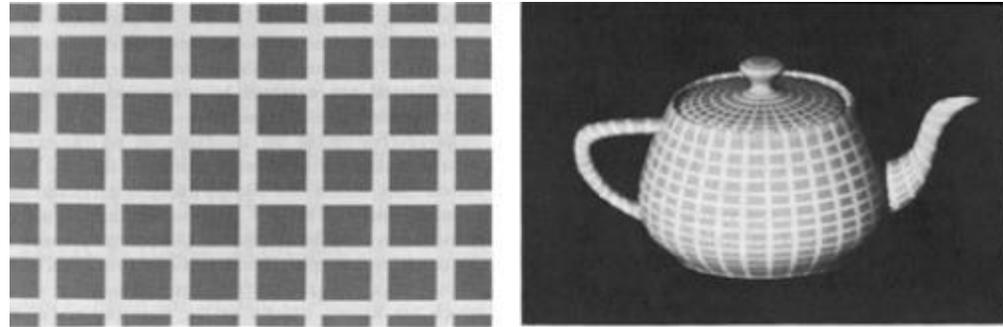
Utah teapot by Martin Newell

Мартин Ньюелл (Martin Newell)





Текстурирование чайника.
Иллюстрация: примеры из
диссертации Кэтмелла.



ig. 3. Hand sketched texture pattern: left-hand side shows texture pattern; right-hand side shows textured object.



ig. 4. Photographic texture pattern: left-hand side shows texture pattern; right-hand side shows textured object.



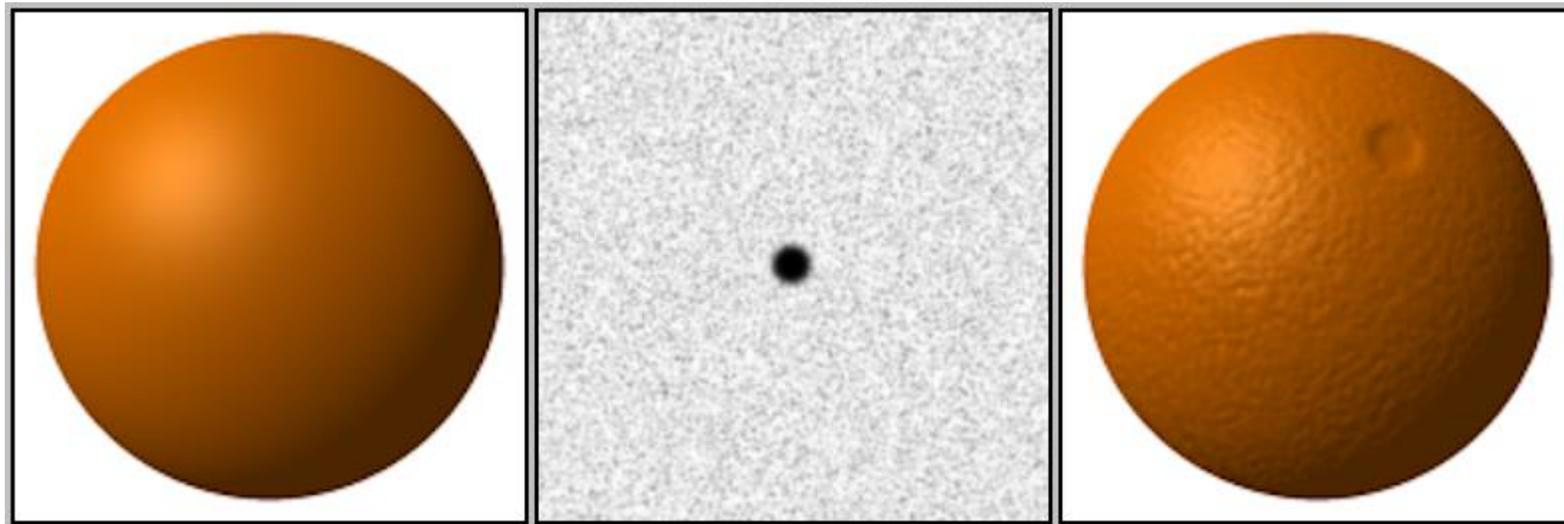
Джим Блинн

1949 г. (74-75 года)

- На примере этой модели Джимом Блинном, также в Университете Юты, были изготовлены первые ранние исключительно качественные визуализации.

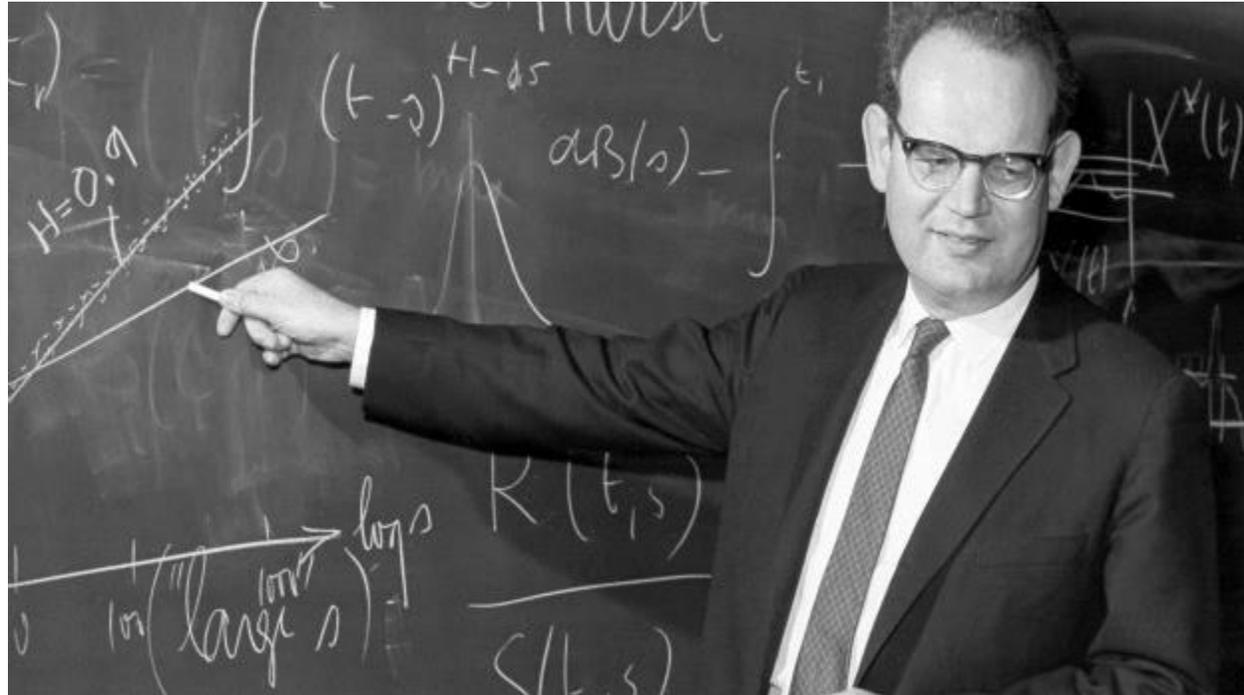


Джим Блинн (Jim Blinn) 1978



Разрабатывает технику реалистичной визуализации трехмерных объектов, принципиально схожую с придуманным Кэтмеллом наложением текстур, — рельефное текстурирование

Бенуа Мандельброт ([Benoit Mandelbrot](#))
из Исследовательского центра IBM.



1924-2010

"Фрактальные объекты: форма, случайность и размерность" (Les objets fractals: Forme, hasard et dimension), изданная в 1977 году

1980

Флагманом трёхмерных видеоигр стала Battlezone от Atari.
Вывод в виде векторных контуров.



Каркасное 3D

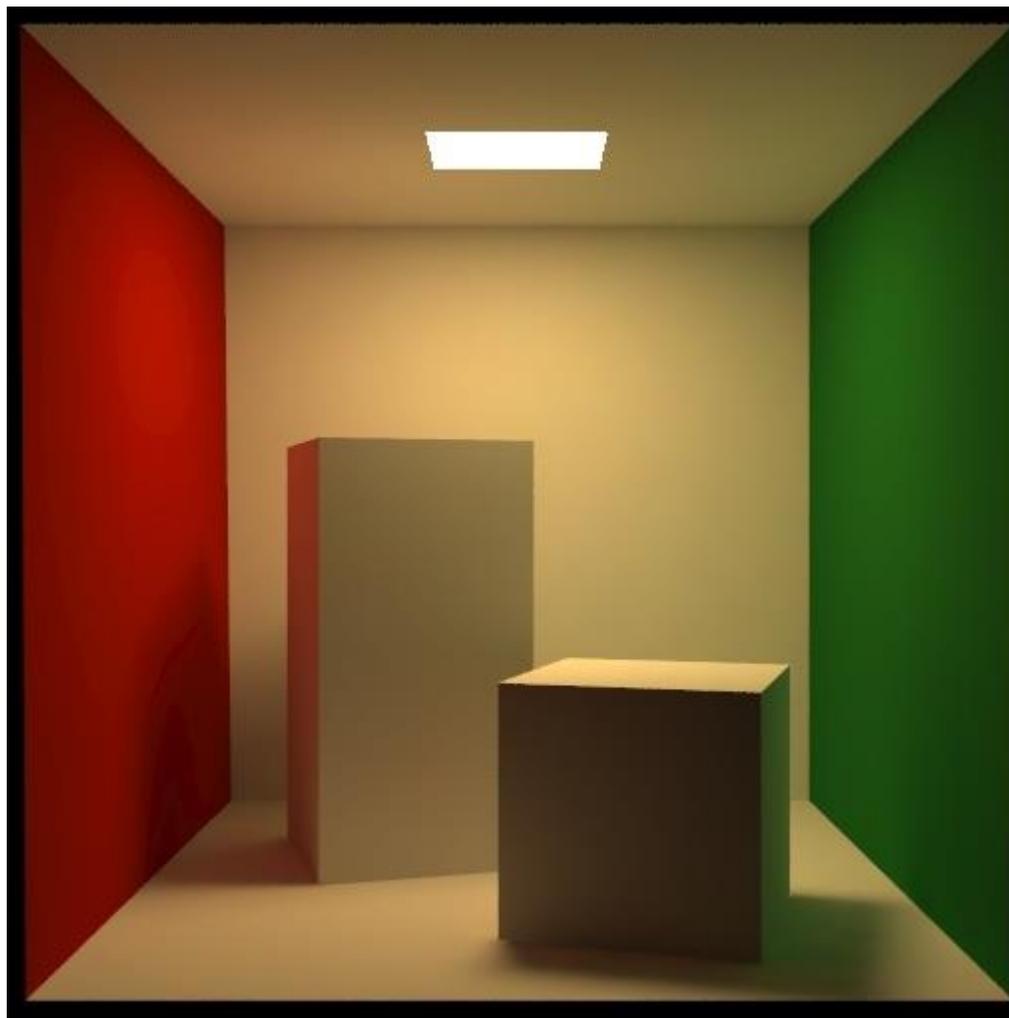
1983

- Игра Robot от Atari
- Закрашенные полигоны



1984

Отдел графики Корнельского университета занимался разработкой новых алгоритмов трассировки света. Работа «Моделирование взаимодействия света с диффузными поверхностями» — «глобальная освещенность»



Основные вехи

WWW.JOSHUAMOSLEY.COM/UPENN/COURSES/ANI/ANIMATIONHISTORY.HTML,
WEB.CS.WPI.EDU/~MATT/COURSES/C5563/TALK5/HISTORY.HTML

1960	Уильям Феттер (William Fetter), Boeing, вводит термин «компьютерная графика»
1961	Эдвард Заяк (Edward Zajak) из Bell Labs создает первую в истории компьютерную анимацию (показывающую гироскопическую систему управления ориентацией)
1961	Ларри Брид (Larry Breed), Стэнфордский университет, MACS, первый язык для компьютерной анимации
1961	Первый публичный показ компьютерно анимированного фильма (Стэнфордский университет)
1961	Первая видеоигра (Стив Рассел [Steve Russell], MIT)
1963	Айвен Сазерленд, MIT: интерактивная система компьютерной анимации Sketchpad
1964	Уильям Феттер, Boeing: первая компьютерная модель фигуры человека (испытанная для конструирования кабины пилота)
1965	Джек Брезенхэм (Jack Bresenham): алгоритм сканирования прямых
1965	Первое компьютерное арт-шоу (Штутгарт)
1966	Айвен Сазерленд создает первый надеваемый дисплей
1968	
1968	Аппель (Appel): изобретение трассировки лучей (ray-tracing)
1969	Bell Labs: построен первый фрейм-буфер
1973	«Westworld»: первый развлекательный фильм с использованием компьютерной анимации
1982	Мейгер (Meager) использует октодереве для геометрического моделирования
1982	Основана компания Silicon Graphics
1985	Жиро (Girard) и Мачиевски (Maciejewski), Университет Огайо, публикуют описание использования обратной кинематики и динамики для анимации (впервые использована в фильме «Eurythmy»)

По материалам Джошуа Мосли (Joshua Mosley) и Мэтью Уорда (Matthew Ward)

1986 - 1990 гг

- Появление технологии Мультимедиа.
- К графике добавились обработка звука и видеоизображения.
- Особенности:
 - появление диалога пользователя с персональным компьютером;
 - появление анимации

1991 – 2024 гг.

- Появление графики Virtual Reality
- Появились датчики перемещения, благодаря которым компьютер меняет изображения при помощи сигналов посылаемых на него.
- Появление стереочков (монитор на каждый глаз), благодаря высокому быстродействию которых, производится имитация реального мира.

2001

- Final Fantasy: The Spirits Within (компьютерная трёхмерная картина 38-летнего японского режиссёра Хиронобу Сакагучи)
- Рендеринг выполнялся на специально разработанной рендер-ферме, состоящей из 960 рабочих станций с процессорами Pentium III 933 МГц. Рендер-ферма была создана компанией Square Pictures, находящейся на Гавайях.



Аки Росс

Thank you for joining us for SIGGRAPH 2021! Look forward to a new year of inspiration at SIGGRAPH 2022 [DISCOVER MORE](#)



[ABOUT THE CONFERENCE](#)

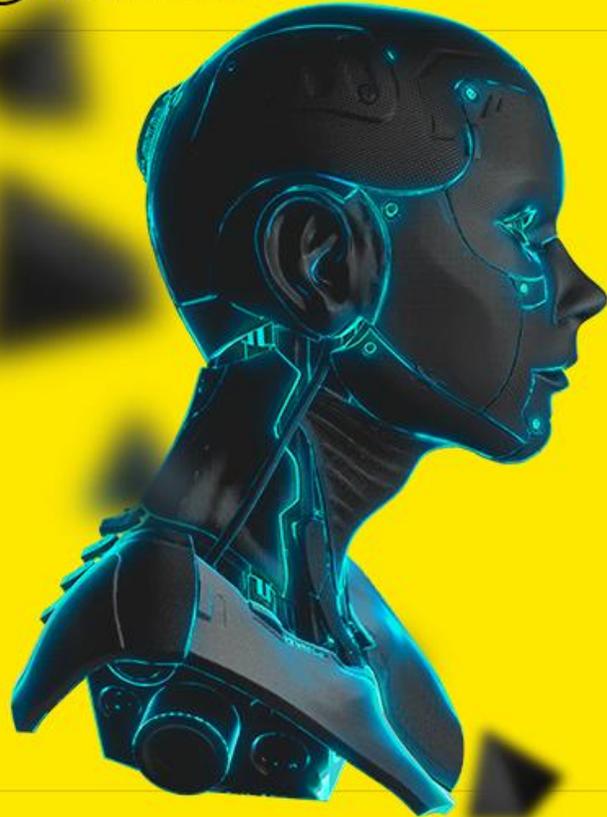
[PROGRAMS & EVENTS](#)

[THE EXHIBITION](#)

[PLAN TO ATTEND](#)

[VOLUNTEER WITH US](#)

[REGISTER TODAY](#)



WELCOME TO SIGGRAPH 2021

→ **THE PREMIER CONFERENCE & EXHIBITION IN COMPUTER GRAPHICS & INTERACTIVE TECHNIQUES**

Share and explore in your unique area of interest.



PRODUCTION & ANIMATION



RESEARCH & EDUCATION



ARTS & DESIGN



GAMING & INTERACTIVE



NEW TECHNOLOGIES



ANNOUNCING

FEATURED SPEAKERS

Industry experts take the stage at SIGGRAPH 2021.

[SEE ALL SPEAKERS](#)



**HANY
FARID**



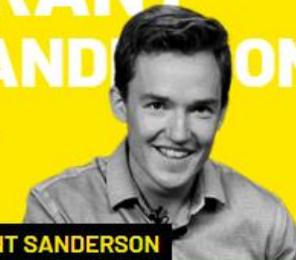
HANY FARID

**KATE
DARLING**



KATE DARLING

**GRANT
SANDERSON**



GRANT SANDERSON

**AMY
HENNIG**



AMY HENNIG

**SERGIO
PABLOS**



SERGIO PABLOS

**ED
CATMULL**



ED CATMULL

**PAT
HANRAHAN**



PAT HANRAHAN

**ERIC
IVERSON**



ERIC IVERSON

**JIM
JEFFERS**



JIM JEFFERS

**RICHARD
KERRIS**



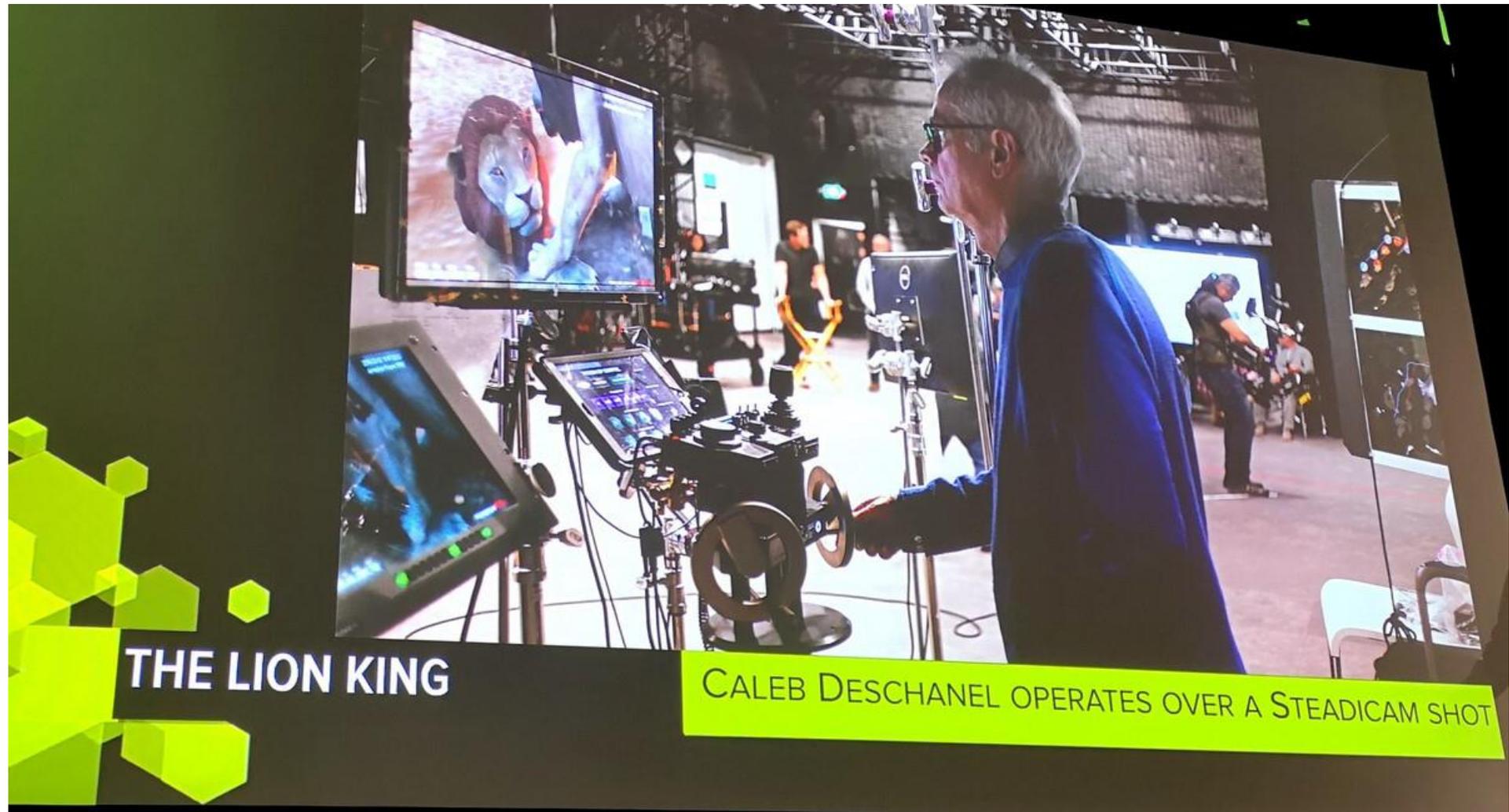
RICHARD KERRIS

**TIMONI
WEST**



TIMONI WEST

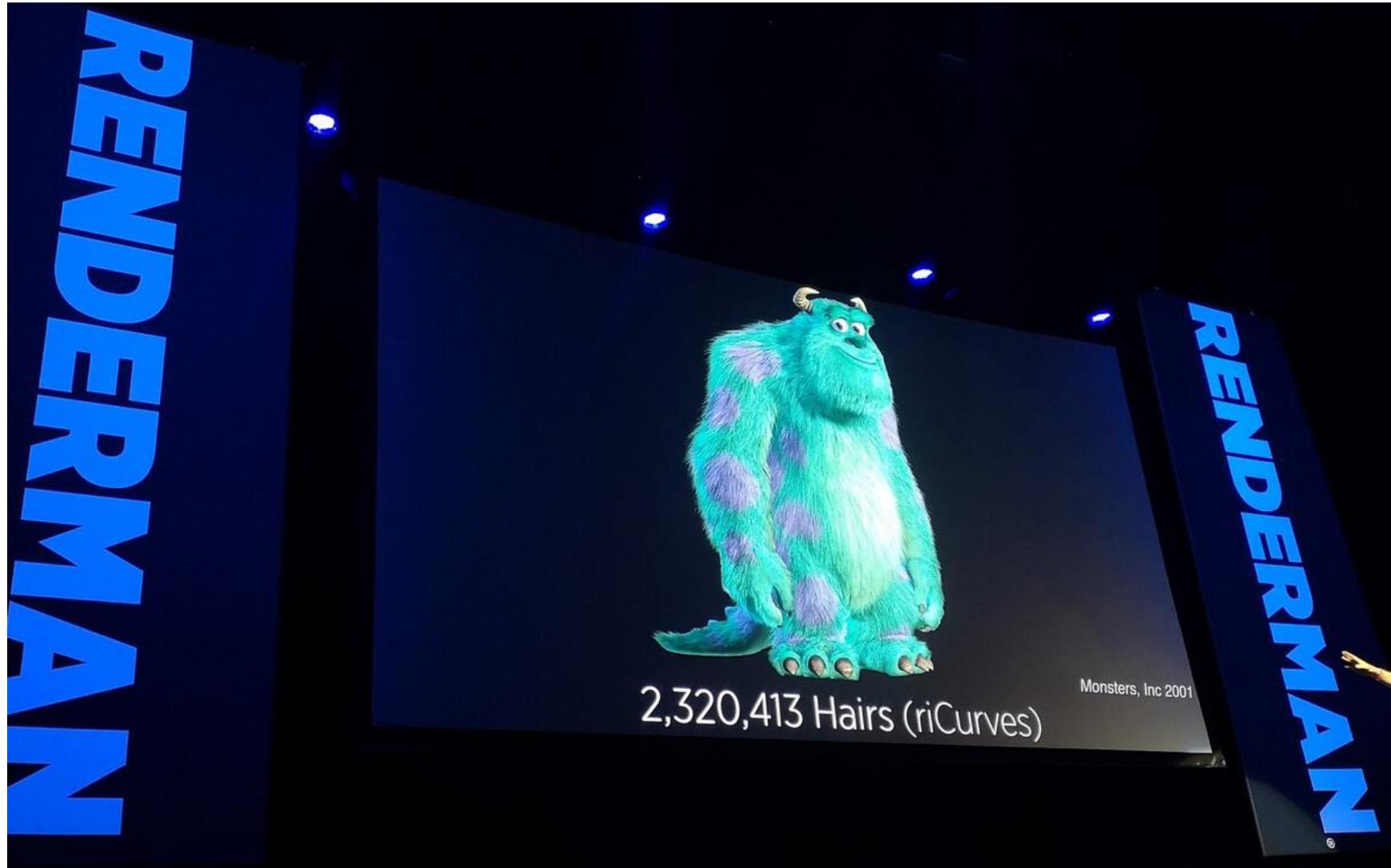
Виртуальный продакшен и игровые движки



Массовый RTX и медленная рендер-революция



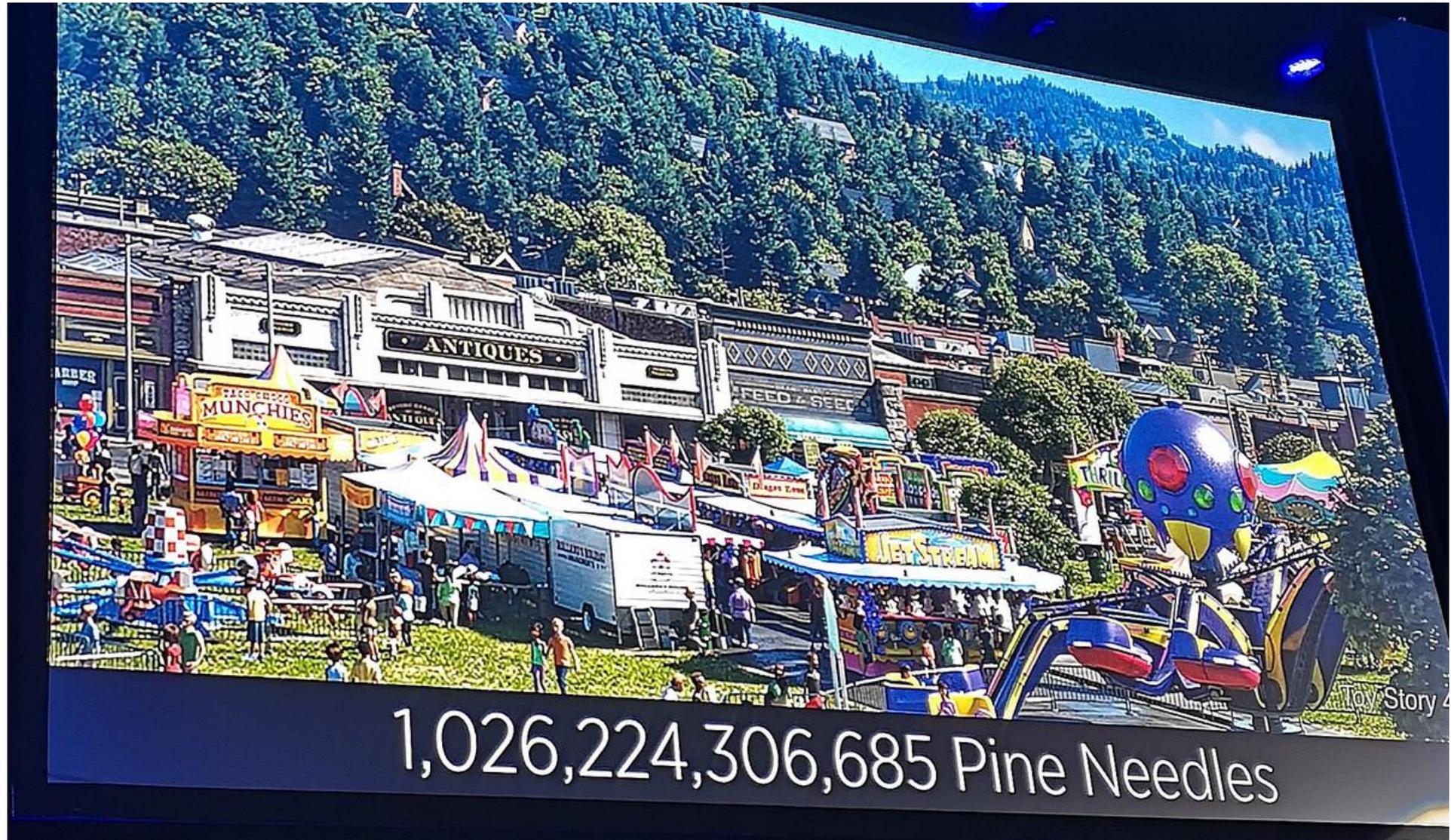
В первой Корпорации Монстров у Салливана было
2 миллиона волос(кривых)

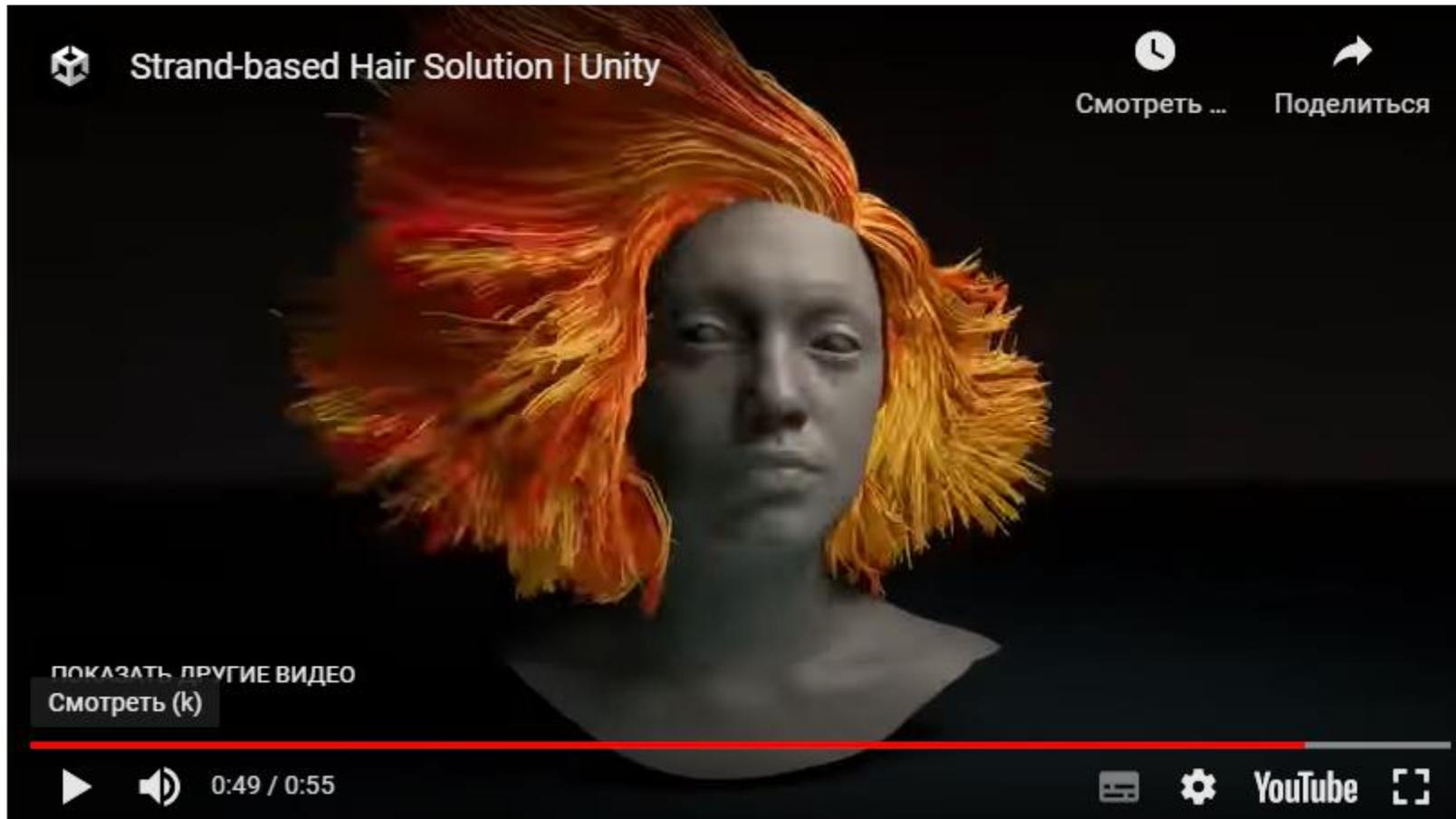


В четвертой Истории Игрушек счет пошел на миллиарды (листьев)



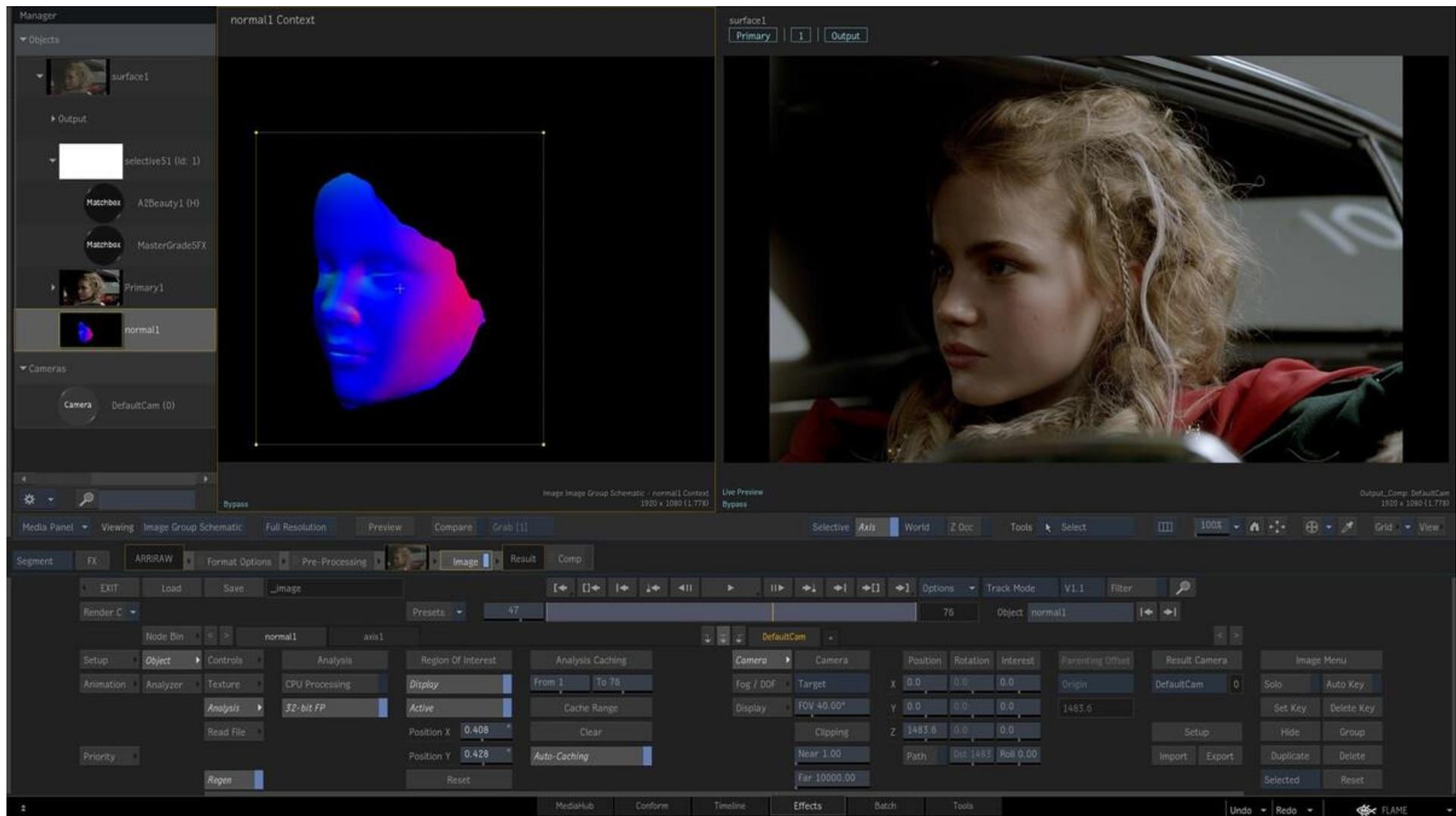
И даже на триллионы





<https://www.youtube.com/watch?v=Lu7zyqHMB8Q>

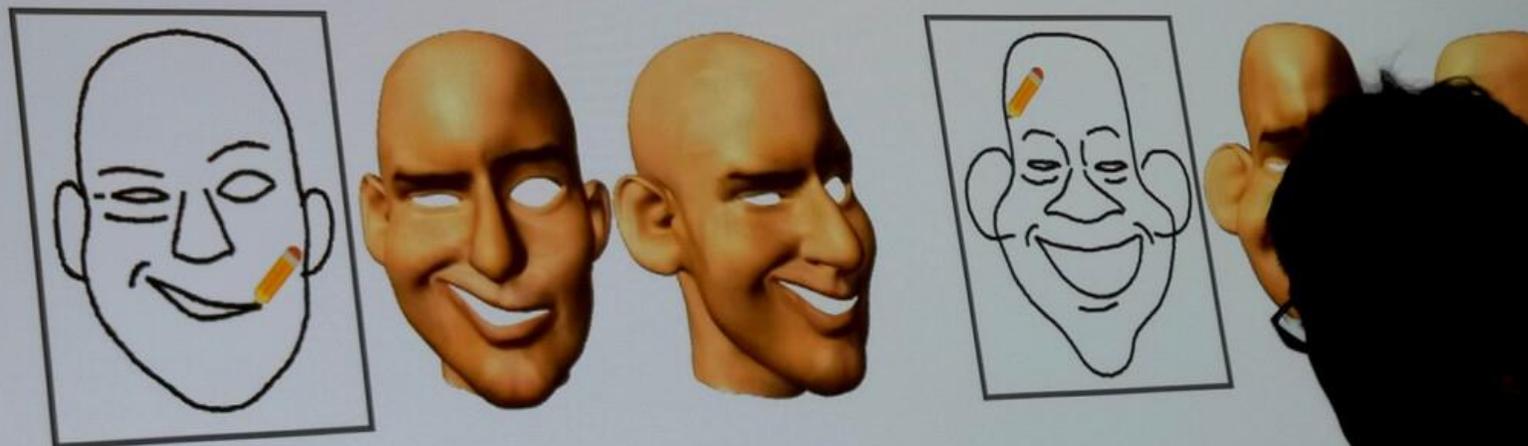
III



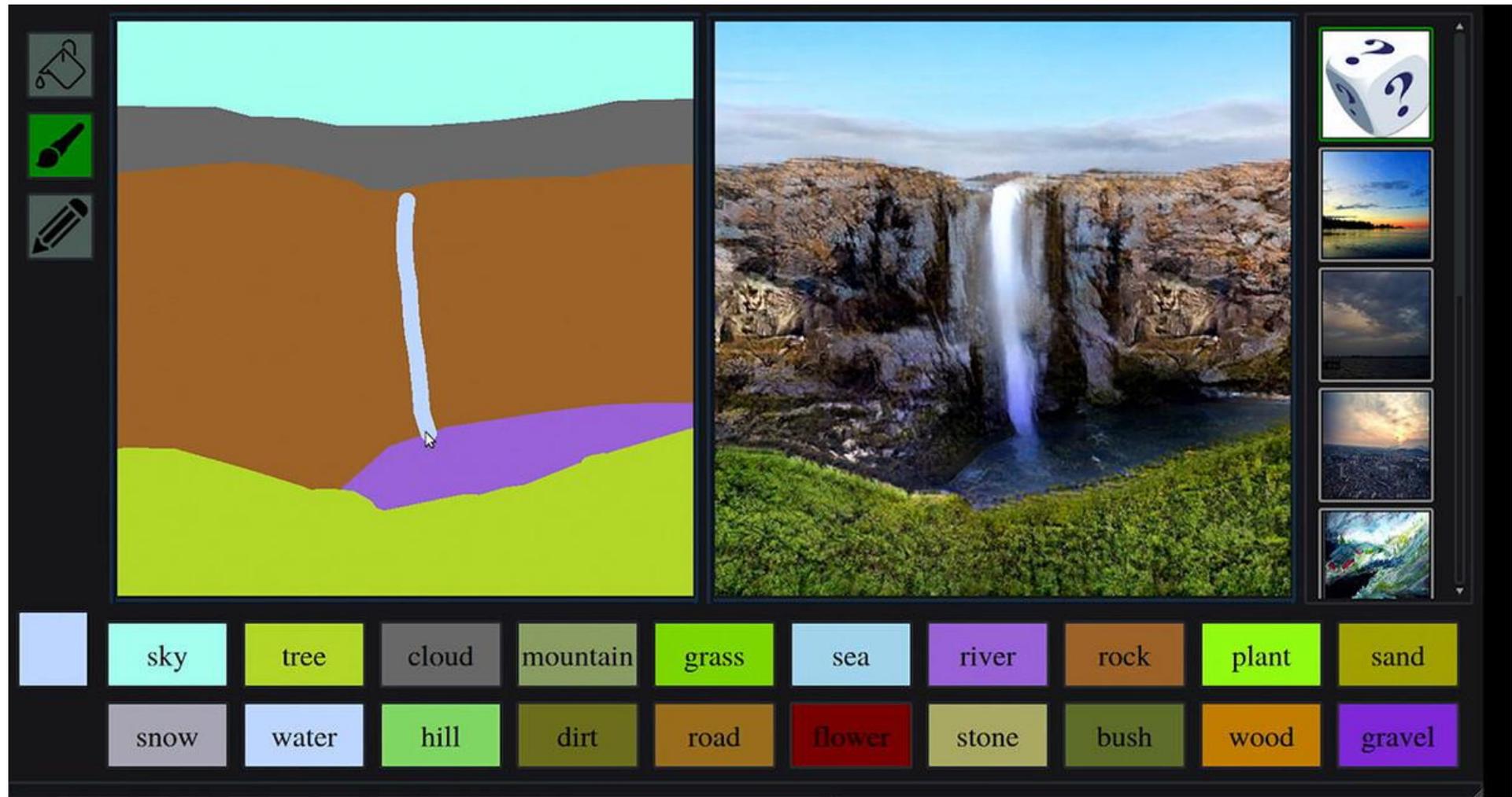
Sketch to Face!

[Han et al. 2017, Siggraph]

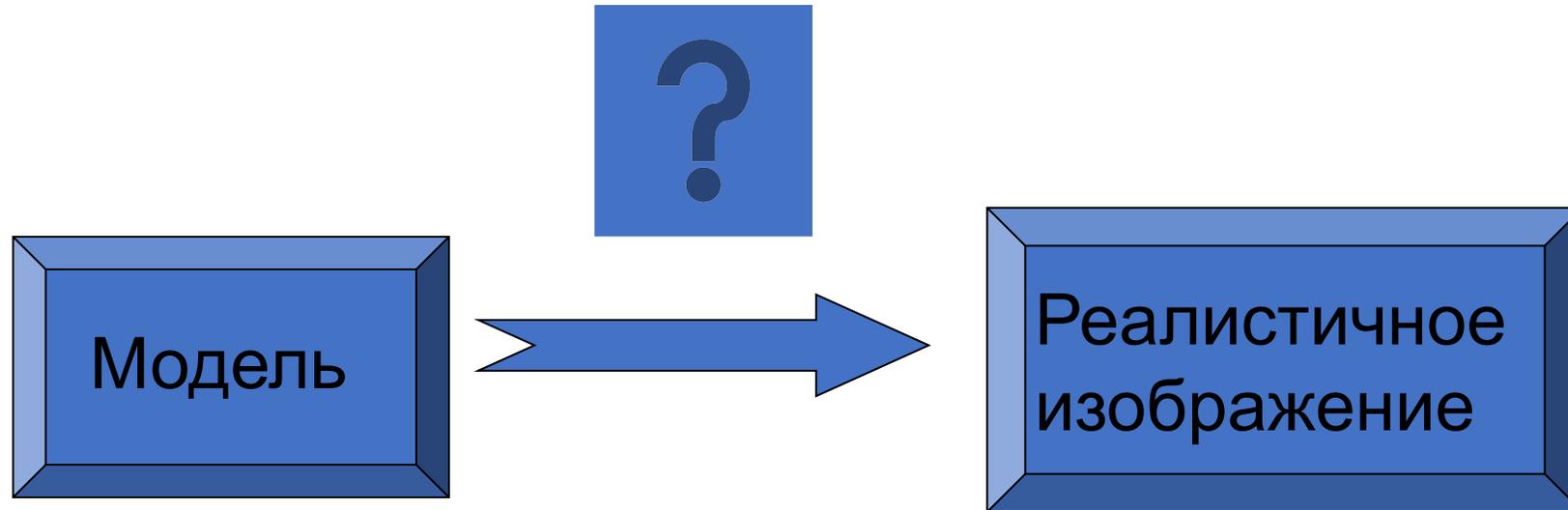
DeepSketch2Face: A Deep Learning Based Sketching System for 3D Face and Caricature Modeling



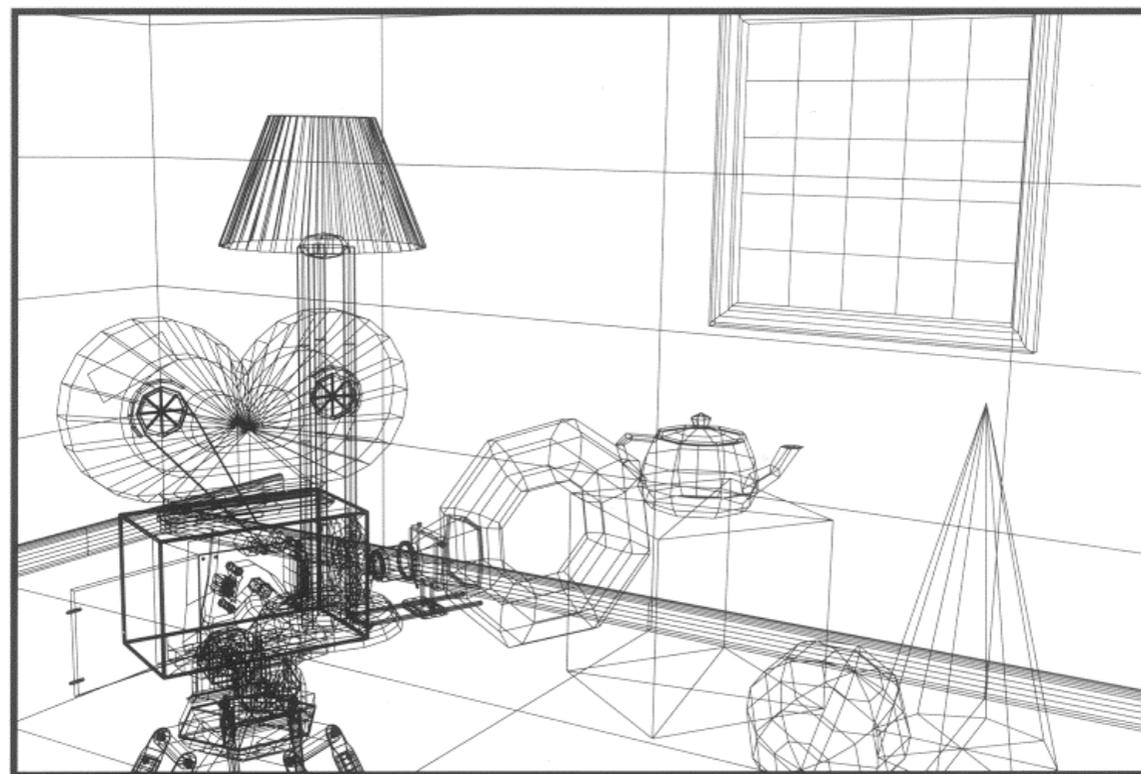
На стенде Nvidia можно было интерактивно порисовать с помощью [GauGAN](#)



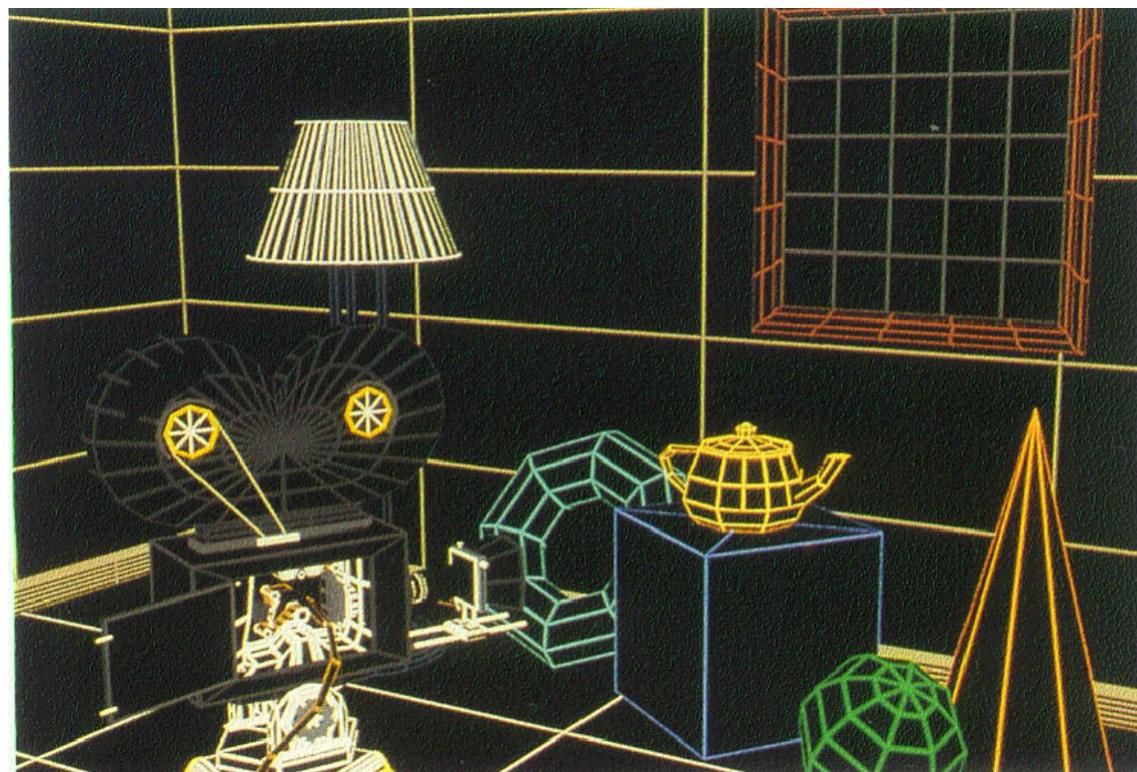
Основные этапы визуализации



Каркасная модель (перспективная проекция)



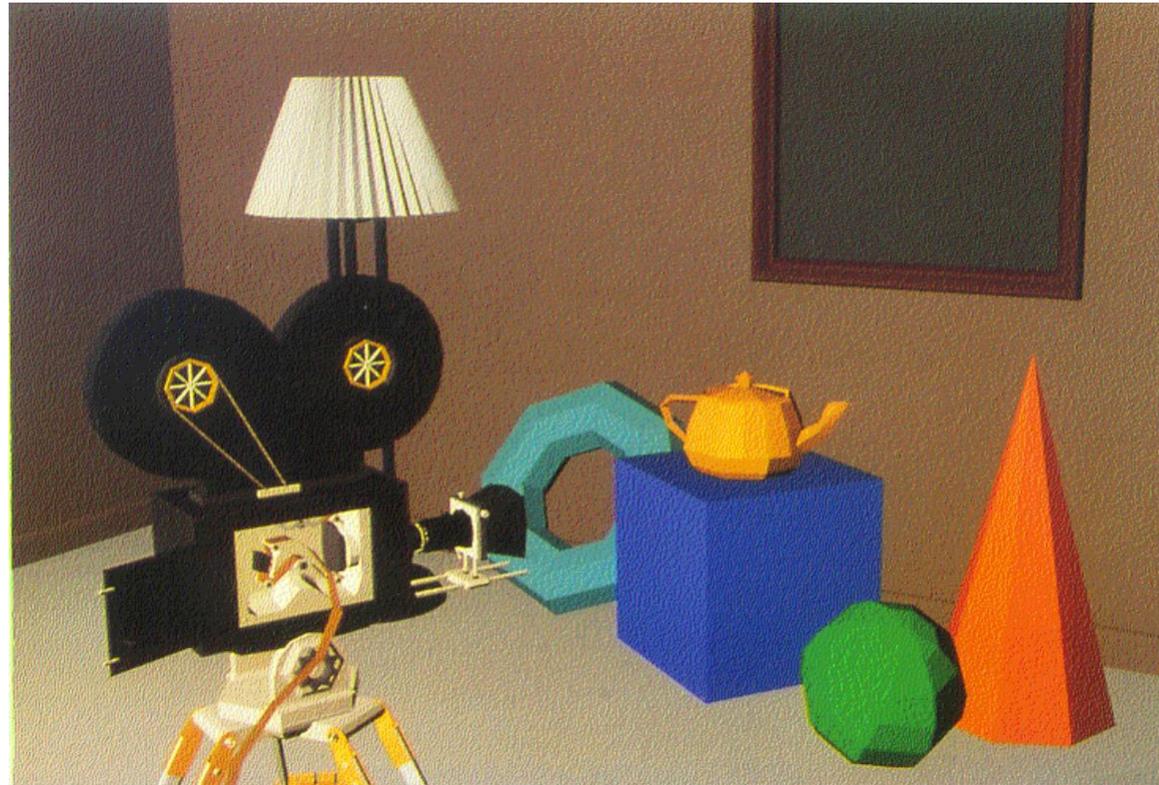
Удаление невидимых линий



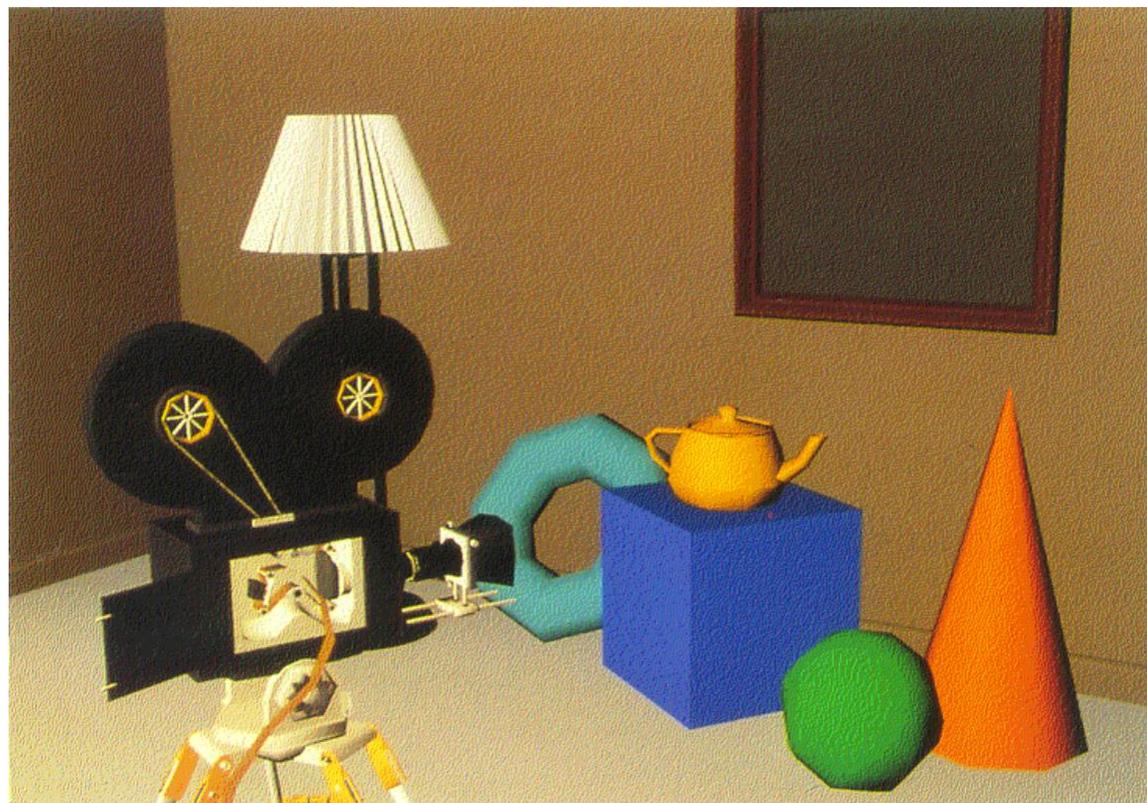
Определение видимых поверхностей (рассеянный «ambient» свет)



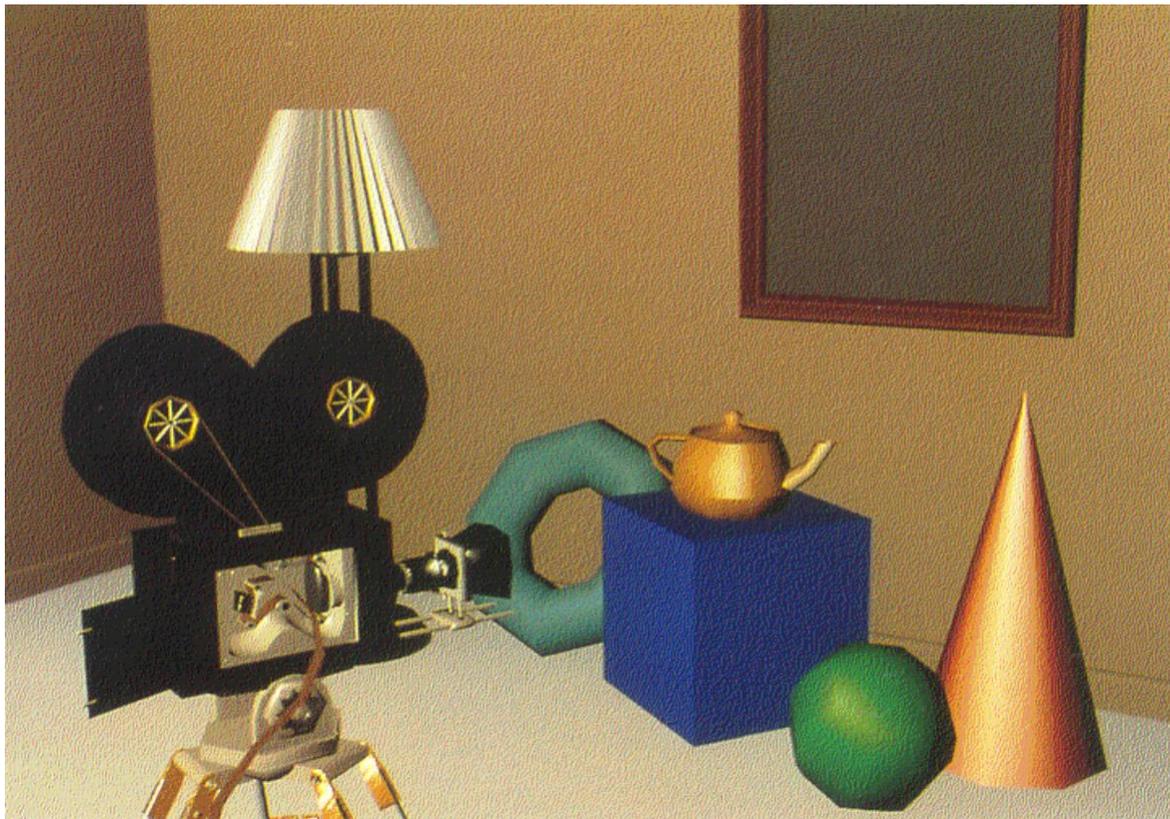
Закраска индивидуальных полигонов (плоская «flat» закразка)



Закраска Гуро (диффузное отражение)



Закраска Гуро (зеркальное «sresular» отражение)



Закраска Фонга (зеркальное отражение)



Затенение



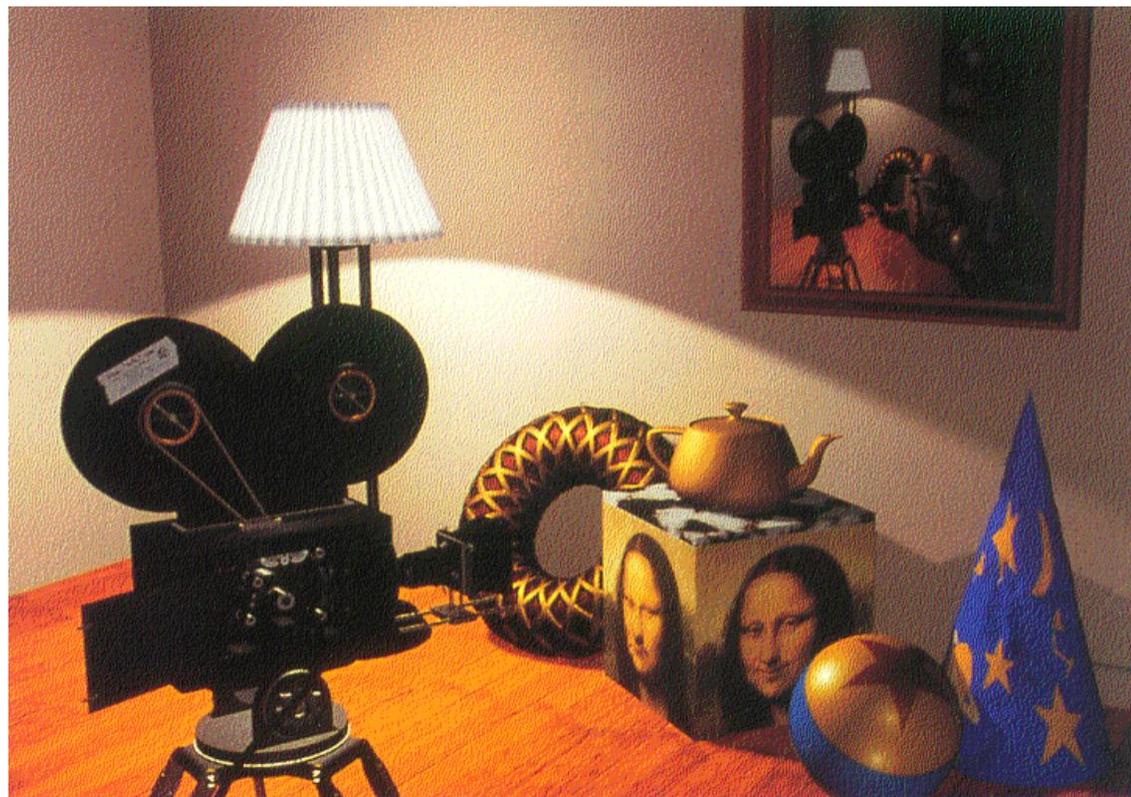
1. Плоское 2. По Гуро 3. По Фонгу



Криволинейные поверхности (зеркальное отражение)



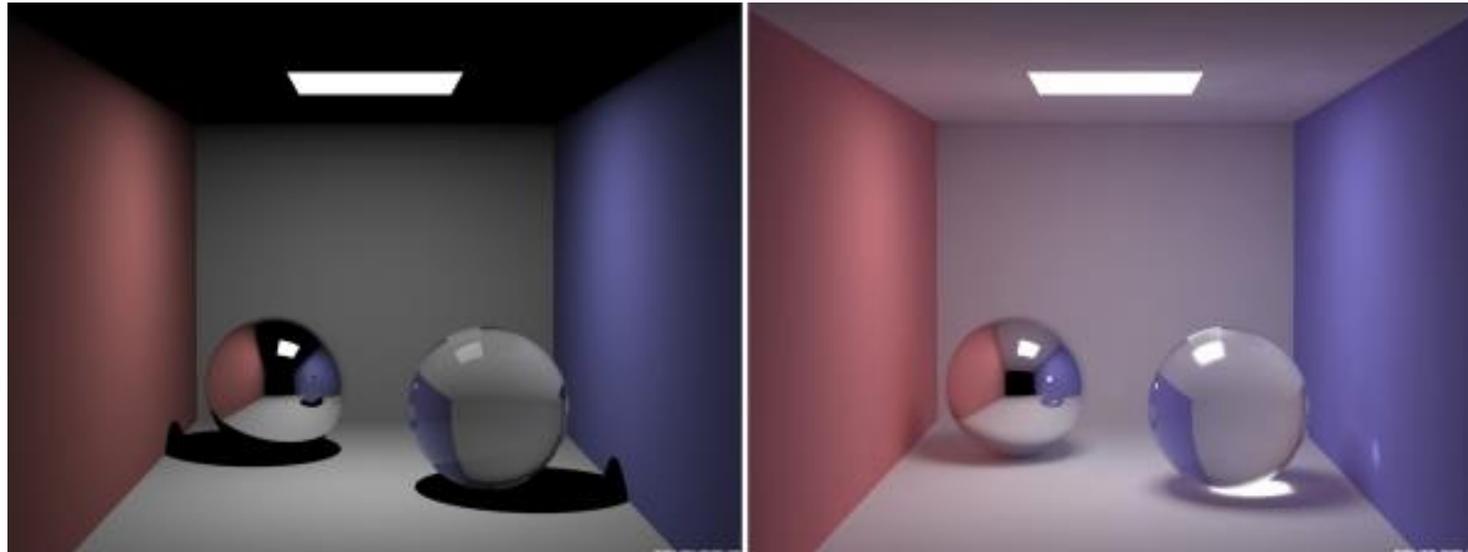
Текстуры и тени (отражение в зеркале)



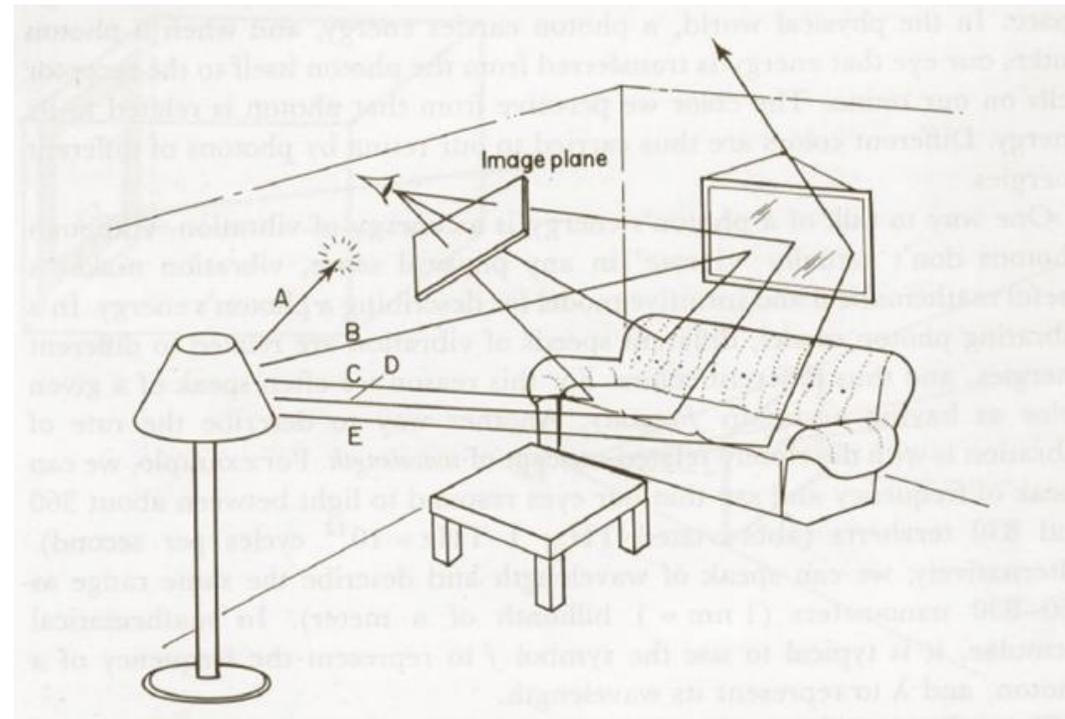
Real Time vs Real Image

- Быстро
- Имитирует реальность

- Медленно
- Очень похоже на реальность



Сцена для объяснения действия алгоритма Ray-Tracing



Ray-casting - Arthur Appel - 1968 г

Ray-tracing - Turner Whitted - 1979 г

Классический Ray Tracing

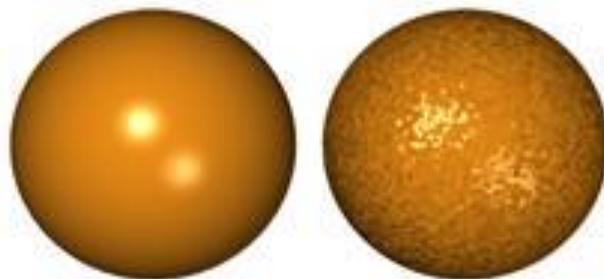


Результат работы Radiosity algorithm

Goral, Torrance, Greenberg и Battaile в 1984 году



Различный мэппинг



Bump mapping

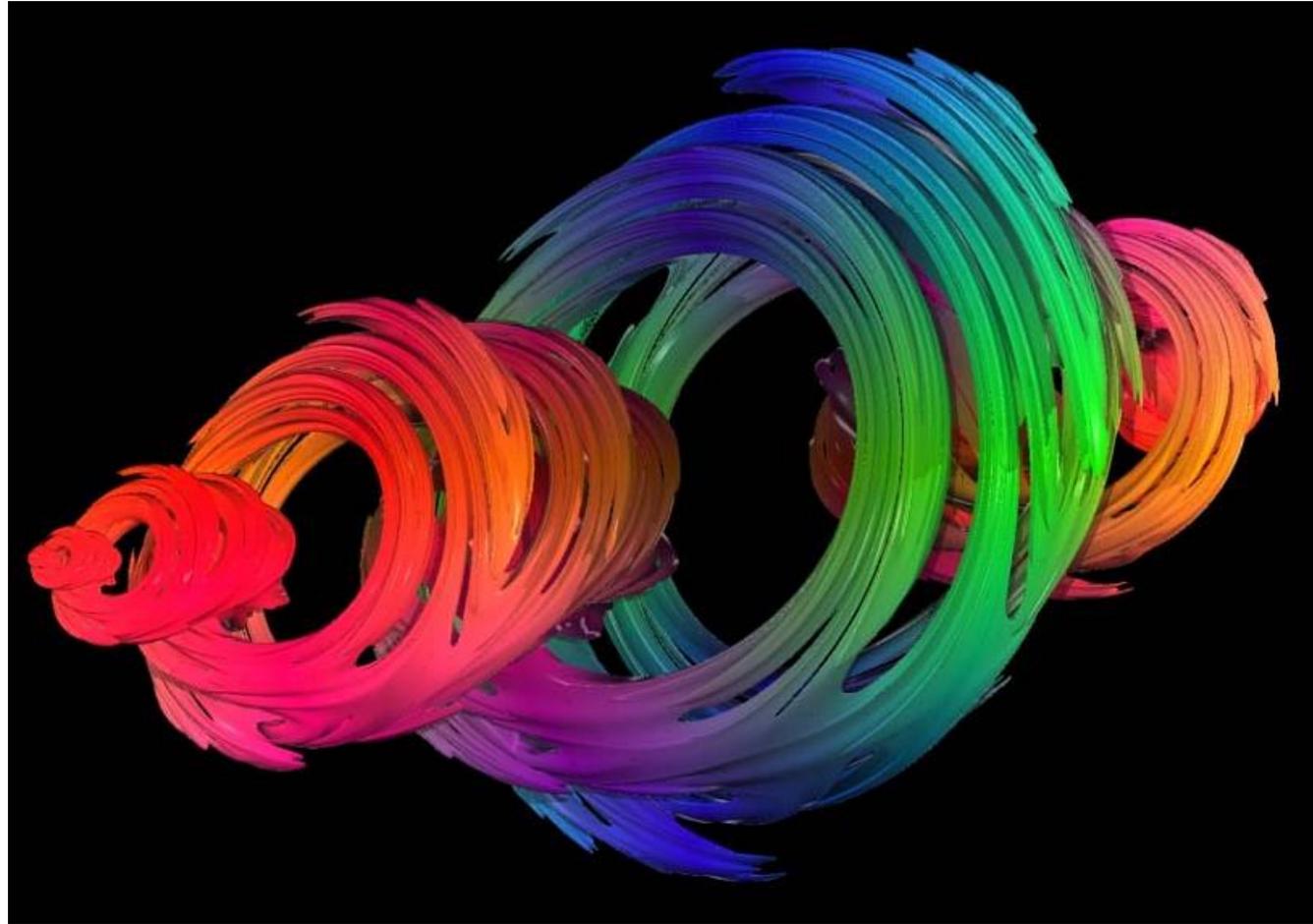
Возможности шейдеров DirectX 10 в игре Crysis



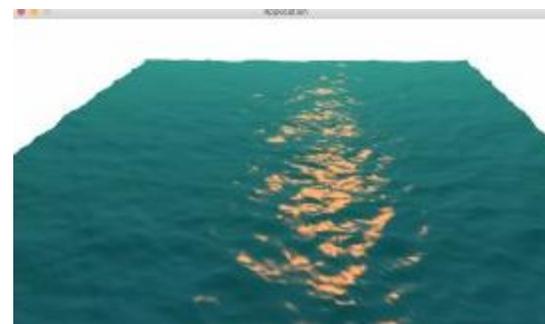
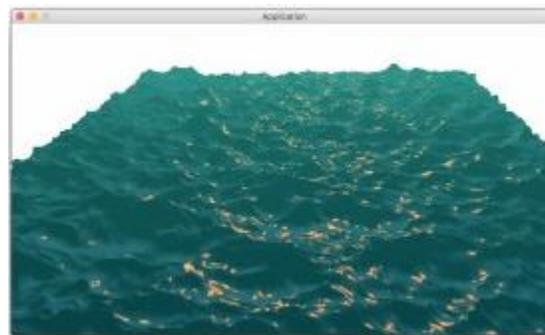
Визуализация водных поверхностей на основе растеризации с картами нормалей



Визуализация неявно заданных поверхностей на основе трассировки лучей (Ray Tracing).
3D фрактал Джулия с тенями



Визуализация водной поверхности



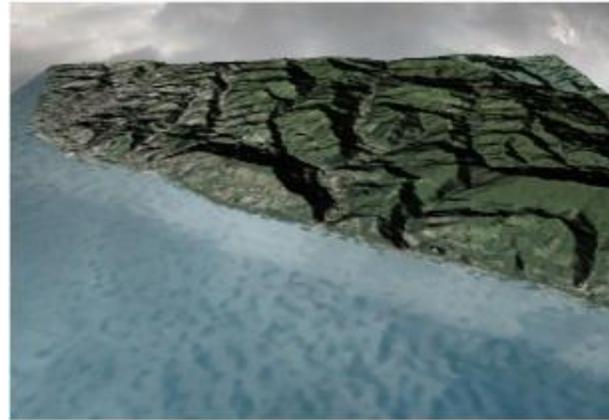
Автор: Ковтун Богдан

Генерация ландшафта



Автор: Поповская Влада

Генерация ландшафта по реальным картам



Автор: Поповская Влада



Автор: Нечушкин Дмитрий

Основные принципы

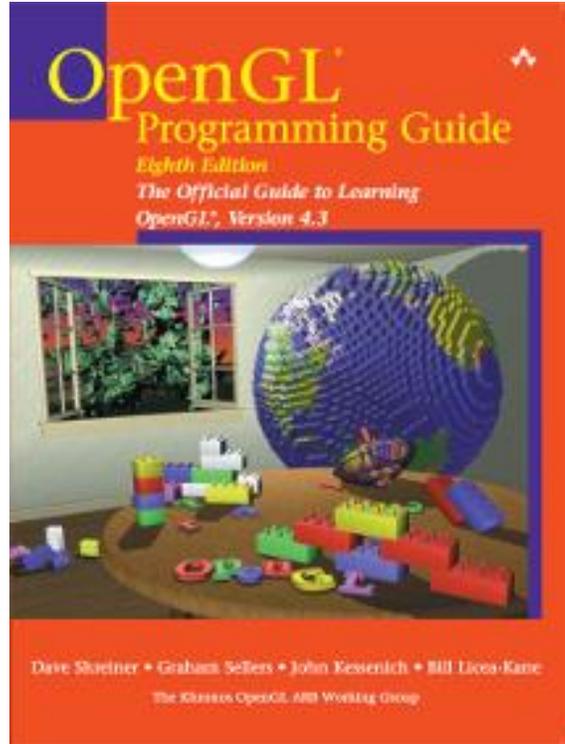
- Learning instead of Teaching
- (Не учить, а учиться)

- Learning by Doing
- (Учиться, делая)

Основная литература

1. *Роджерс Д., Адамс Дж.* Математические основы компьютерной графики. М.: Машиностроение, 1980.
2. *Шикин Е.В., Боресков А.В.* Компьютерная графика. Динамика, реалистические изображения. /М.: Диалог-МИФИ, 1995.
3. *Шикин Е.В., Боресков А.В.* Компьютерная графика. Полигональные модели. /М.: Диалог-МИФИ, 2000.
4. *Майкл Ласло.* Вычислительная геометрия и компьютерная графика на C++. /М.: БИНОМ, 1997.
5. *FletcherDunn, IanParberry.* 3D Math Primer for Graphics and Game Development. 2011
6. *PeterShirley, SteveMarschner.* Fundamentals of Computer Graphics. 2009
7. STEVENJ.JANKE. MATHEMATICAL STRUCTURES FOR COMPUTER GRAPHICS. 2015

8-е издание OpenGL Programming Guide



Дополнительная литература

1. *Миллер*. DirectX 9 с управляемым кодом: Москв, Изд. дом «КомБук», 2005. 400 с
2. *Дональд Херн, М. Паулин Бейкер*. Компьютерная графика и стандарт OpenGL. //Спб.: Вильямс, 2004
3. *Френсис Хилл*. OpenGL. Программирование компьютерной графики. /Спб.: Питер, 2002
4. *Коичи Мацура, Роджер Ли*. WebGL: программирование трёхмерной графики. //М.: ДМК,2015
5. *Frank Klawonn*. Introduction to Computer Graphics. 2005
6. *Дэвид Вольф*. OpenGL 4. Язык шейдеров. Книга рецептов. Москв, ДМК Пресс, 2015. 368 с

Конференции

- [конференция Siggraph](#), проводится в США
- [конференции Eurographics](#), проводятся ассоциацией [Eurographics](#) ежегодно в странах Европы
- [конференция Графикон](#), проводится в России
- [CG-событие](#), проводится в России
- [CG Wave 2008](#), CG Wave, проводится в России