ИТМО

Тренды искусственного интеллекта

# Что такое AI? Терминология и история






@SINECOR

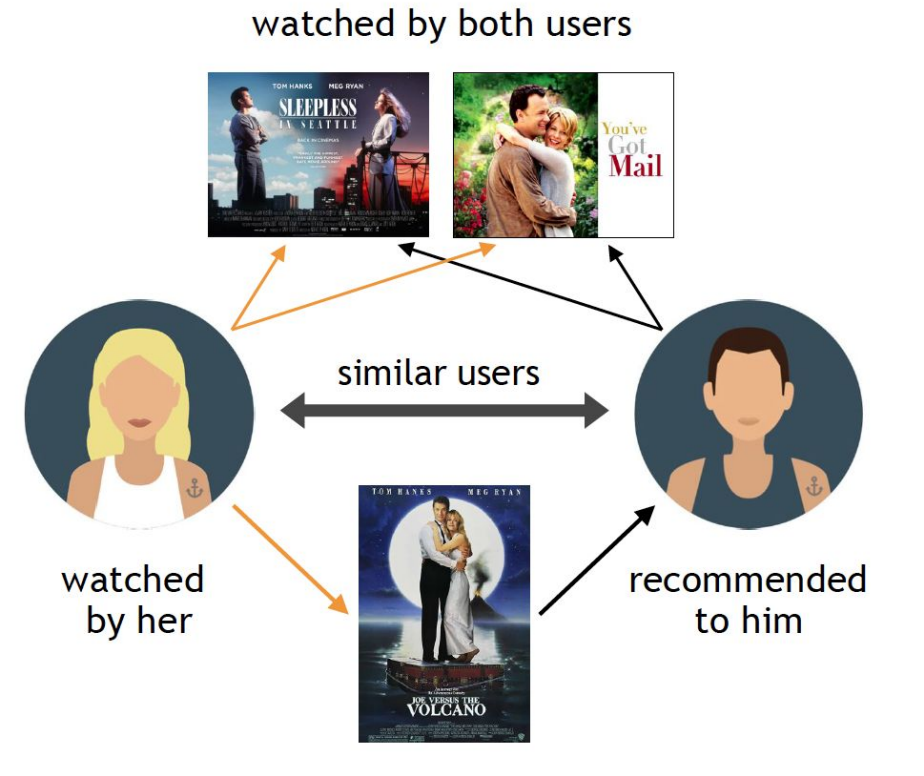
Сергей Николенко
21 октября 2026 г.

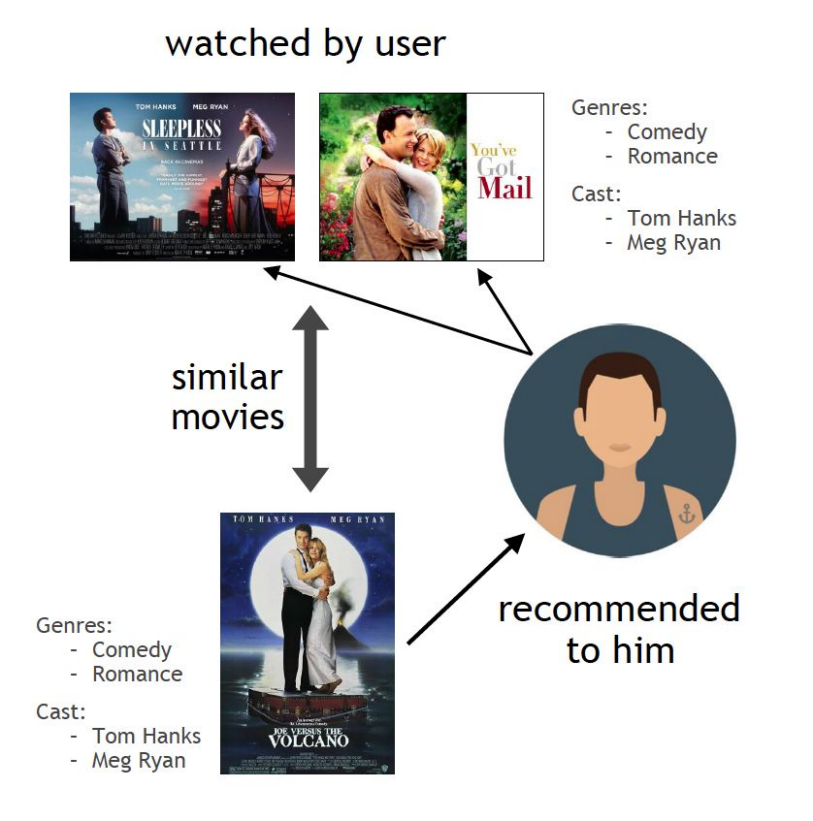
# Искусственный интеллект в нашей жизни



# Этот курс пятнадцать лет назад

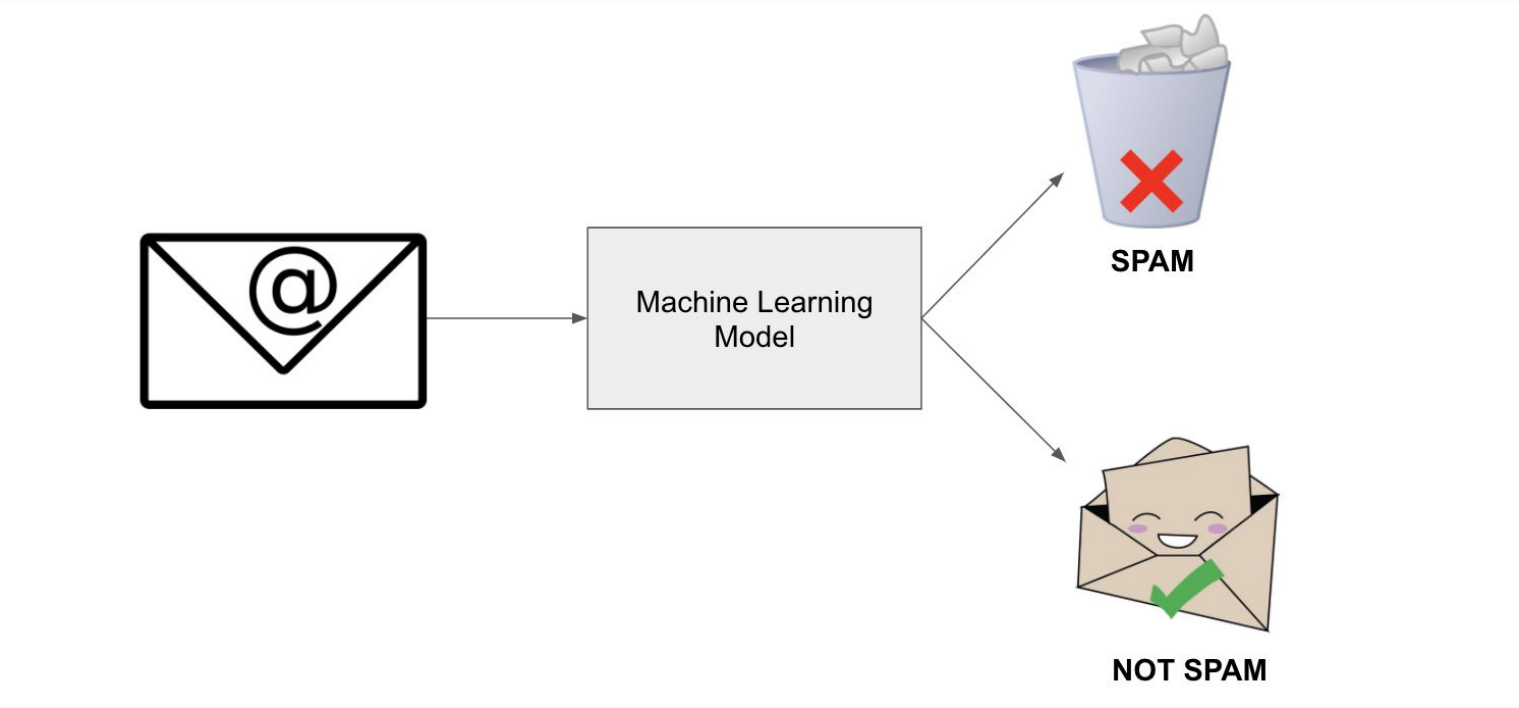
- С чего бы я начал такой обзорный вводный курс 15 лет назад?
- Наверное, с рекомендательных систем…



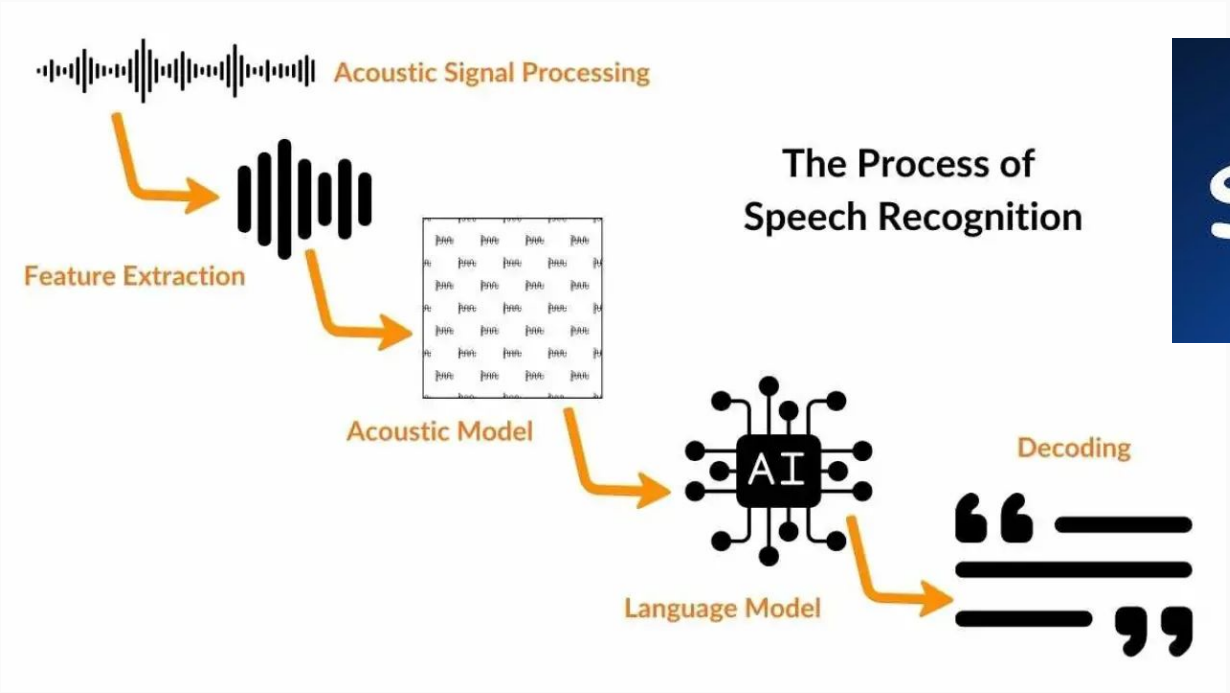
# Этот курс пятнадцать лет назад

- С чего бы я начал такой обзорный вводный курс 15 лет назад?
- …или спам-фильтров; но жизненных примеров было бы не так много, я бы говорил о том, что AI в вашей жизни присутствует незримо



# Этот курс десять лет назад

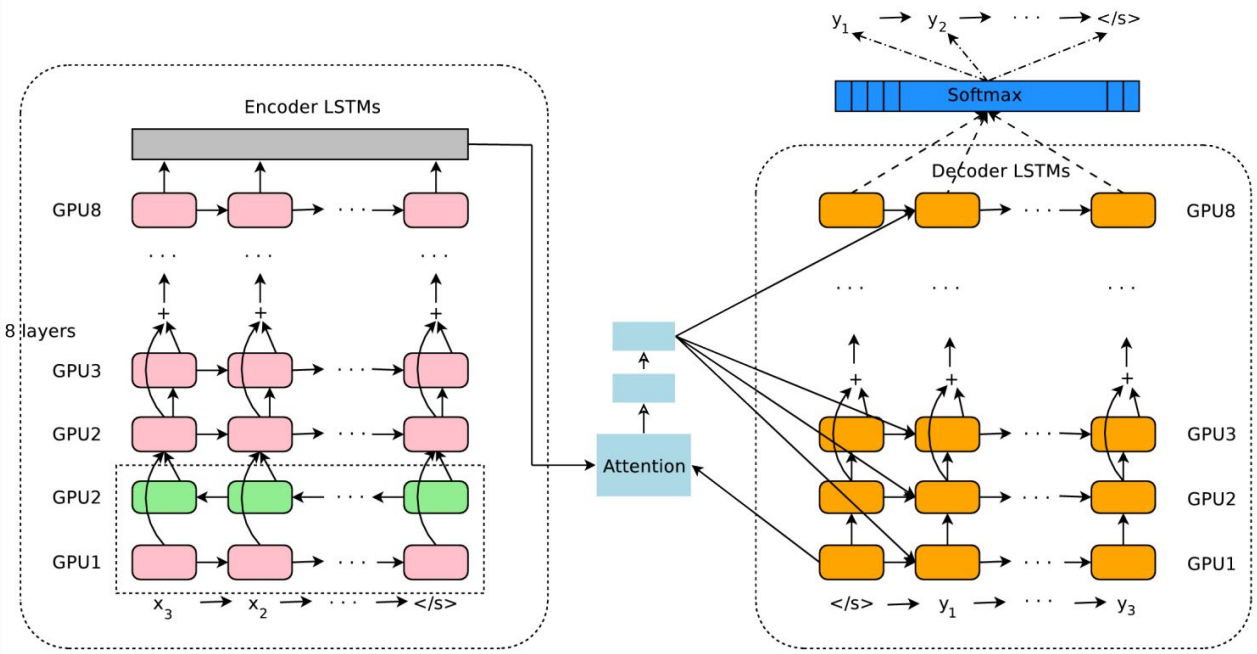
- С чего бы я начал такой обзорный вводный курс 10 лет назад?
- Да с того же самого, но ещё рассказал бы, какой скачок произошёл в распознавании речи — благодаря извлечению признаков глубокими нейронными сетями заработали голосовые помощники!






# Этот курс пять лет назад

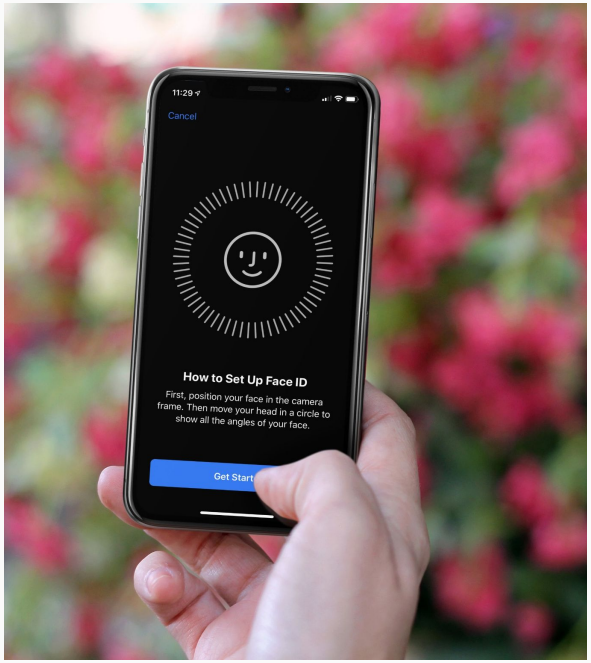
- С чего бы я начал такой обзорный вводный курс 5 лет назад?
- Снова с рекомендательных систем, но теперь я бы ещё мог рассказать о машинном переводе (Google Translate стал достаточно хорош во второй половине 2010-х)...

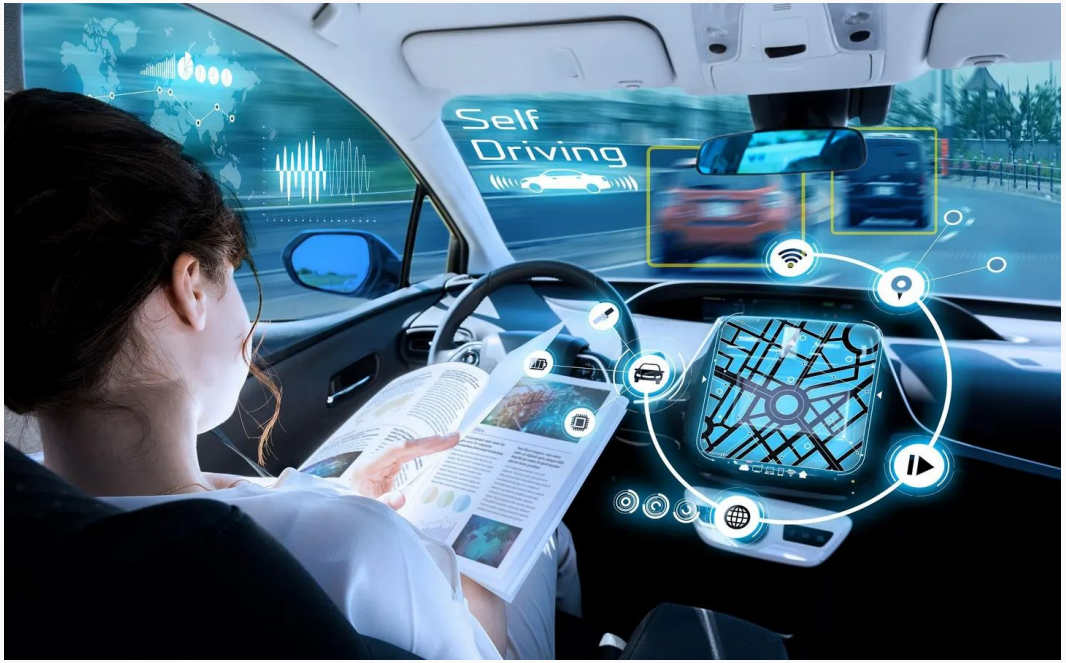





# Этот курс пять лет назад

- С чего бы я начал такой обзорный вводный курс 5 лет назад?
- ...об успехах компьютерного зрения, которое позволило запустить, например, Face ID и вовсю работало в беспилотных автомобилях



# Этот курс пять лет назад

- С чего бы я начал такой обзорный вводный курс 5 лет назад?
- …и, конечно, упомянул бы недавние громкие достижения в играх: система AlphaGo недавно обыграла Ли Седоля, AlphaZero научилась играть в шахматы, го и сёги с нуля, OpenAI Five справилась с Dota 2…








# Этот курс пять лет назад

- С чего бы я начал такой обзорн
  вводный курс 5 лет назад?
- …и, конечно, упомяну
  громкие достиж
  AlphaGo не
  AlphaZe
  и с

**Всё это были бы важные примеры, которые во многом определяли нашу жизнь и пять, и десять лет назад. Но оставались во многом невидимы для “обычного пользователя” .**



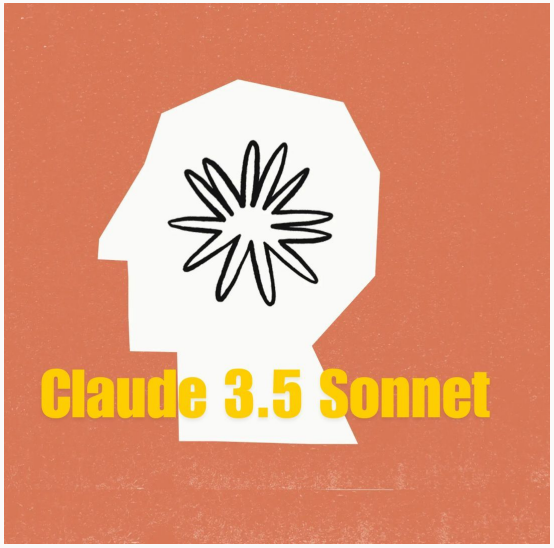




# Этот курс

- А с чего начинать курс сегодня? Кажется, вопрос не стоит…





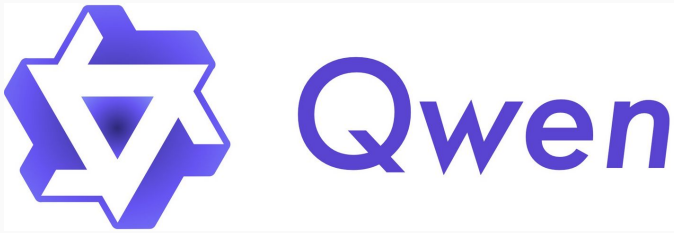










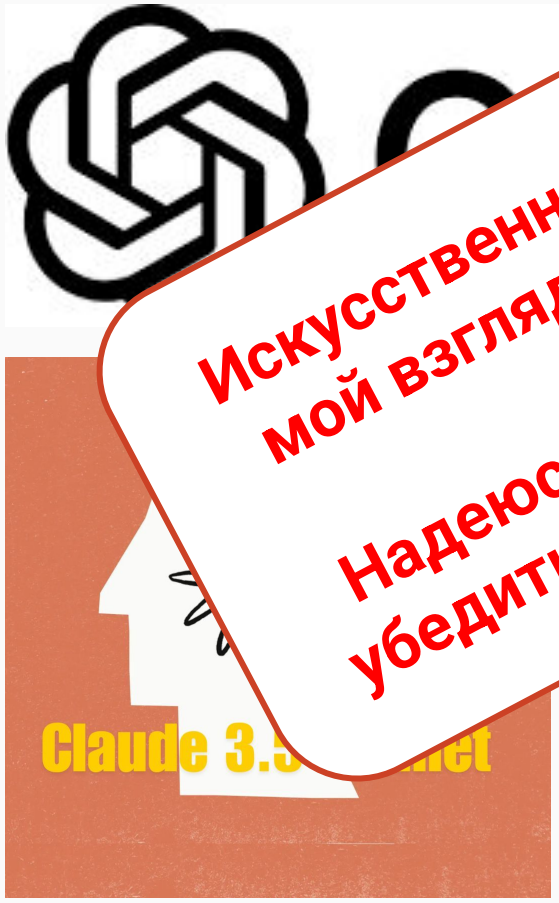



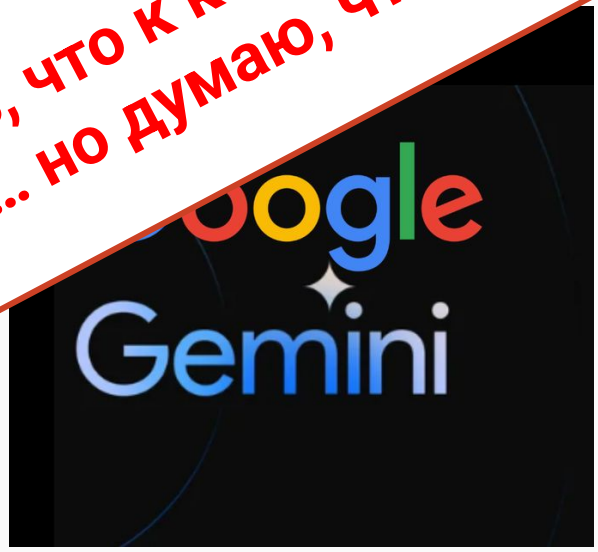
# Этот курс

- А с чего начинать курс сегод
  стоит…

Искусственный интеллект — самая горячая и, на мой взгляд, самая важная тема в мире сейчас.

Надеюсь, что к концу курса я смогу вас в этом убедить… но думаю, что это будет ещё не скоро.

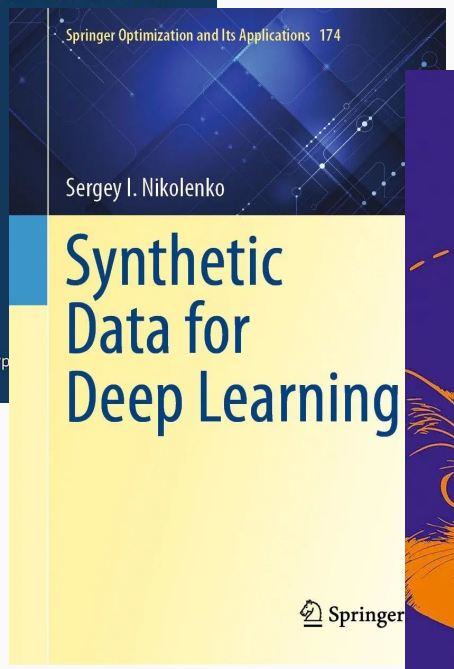


# Немного обо мне

- Поэтому начну с апелляции к авторитету. :)









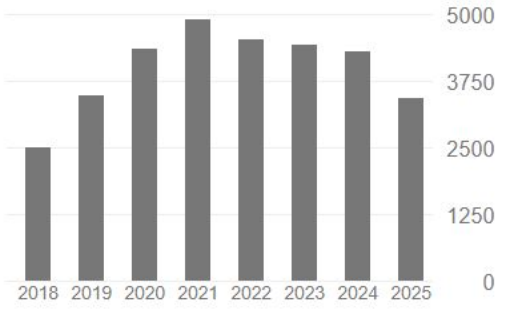
Sergey Nikolenko

Steklov Institute of Mathematics at St. Petersburg, Russia
Verified email at logic.pdmi.ras.ru - Homepage

Machine Learning Theoretical Computer Scie… Networking

Cited by VIEW ALL

| | All | Since 2020 |
|---|---|---|
| Citations | 37428 | 26067 |
| h-index | 42 | 34 |
| i10-index | 137 | 87 |





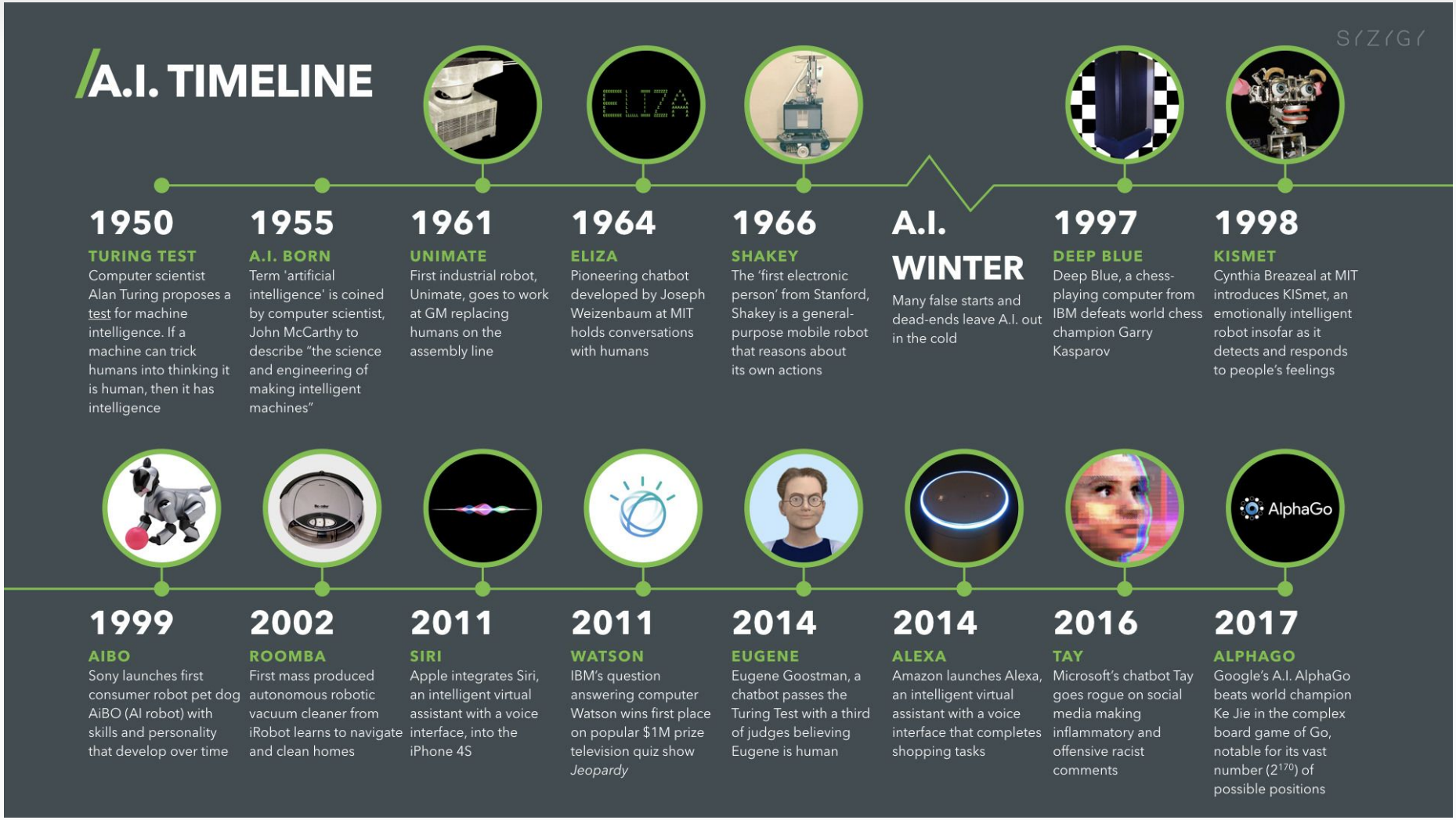

@SINECOR

Прогресс ускоряется...



# AI timelines

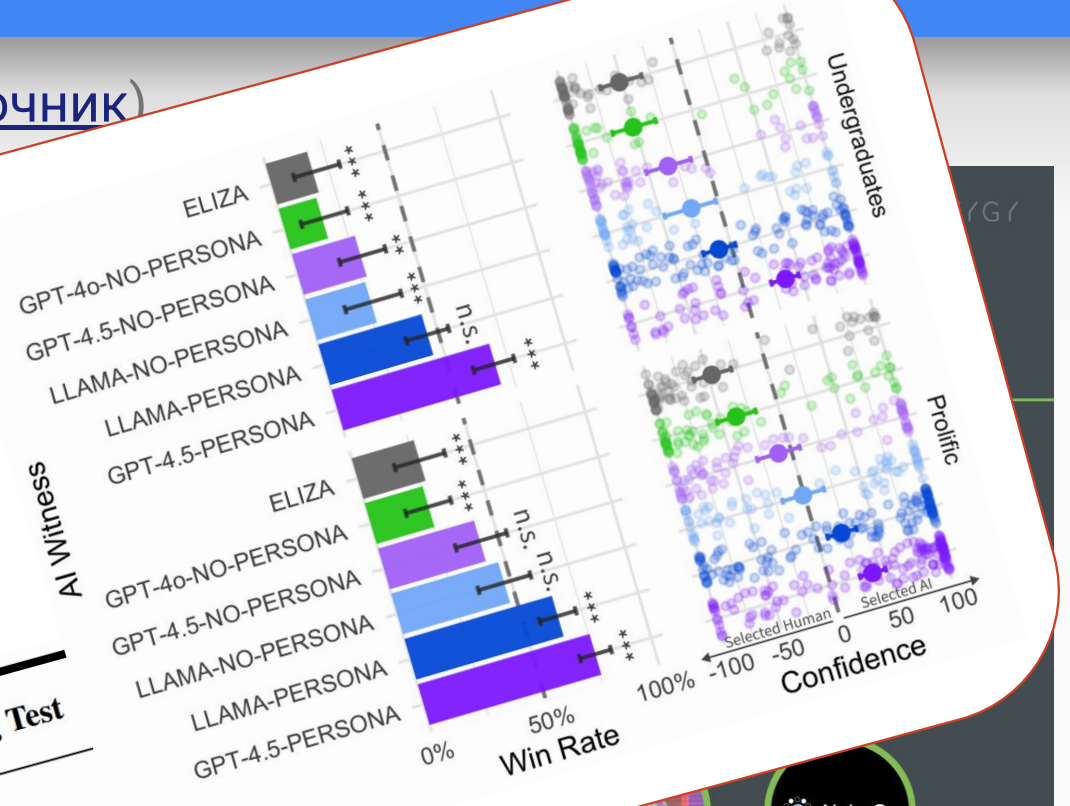
- Обычный AI timeline (источник)



# AI timelines

- Обычный AI timeline (источник)

**Jones, Bergen (Mar 31, 2025): кстати, тест Тьюринга наконец-то прошли, но об этом позже...**



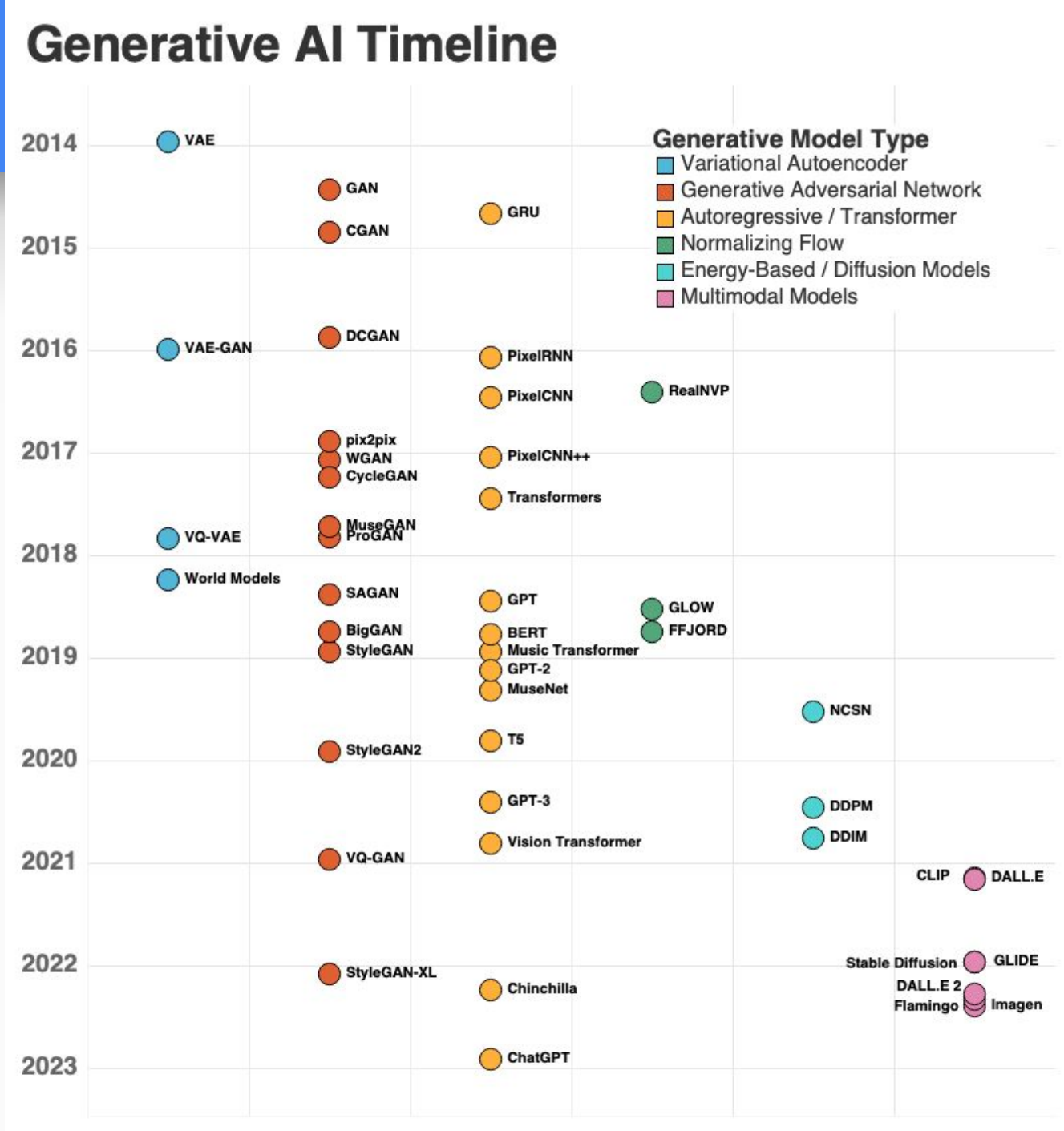

**Large Language Models Pass the Turing Test**


Cameron R. Jones
Department of Cognitive Science
UC San Diego
San Diego, CA 92119
cameron@ucsd.edu

Benjamin K. Bergen
Department of Cognitive Science
UC San Diego
San Diego, CA 92119
bkbergen@ucsd.edu

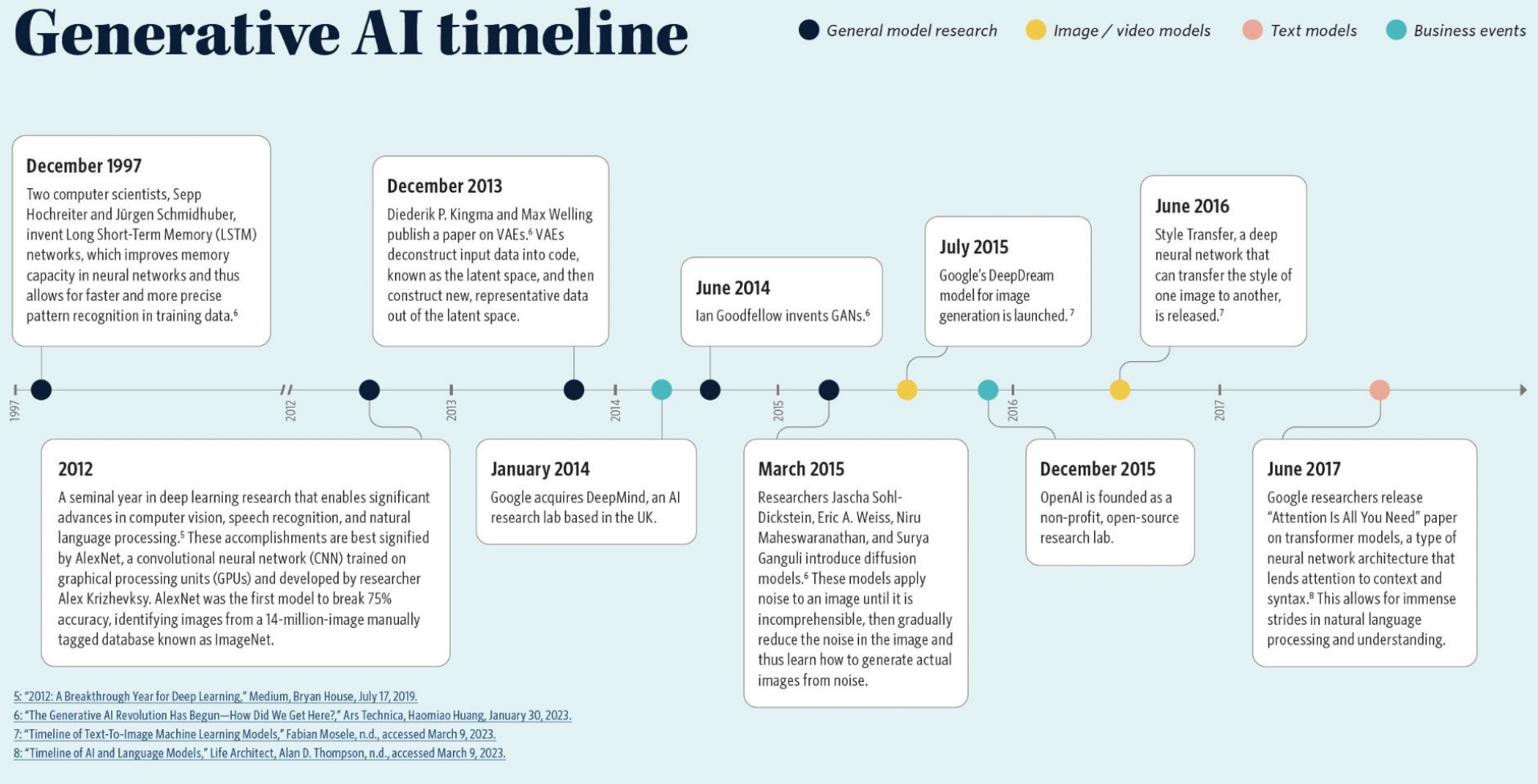
# AI timelines

- Generative AI timeline: вот более детально, здесь отмечены многие важные модели
- [Источник]



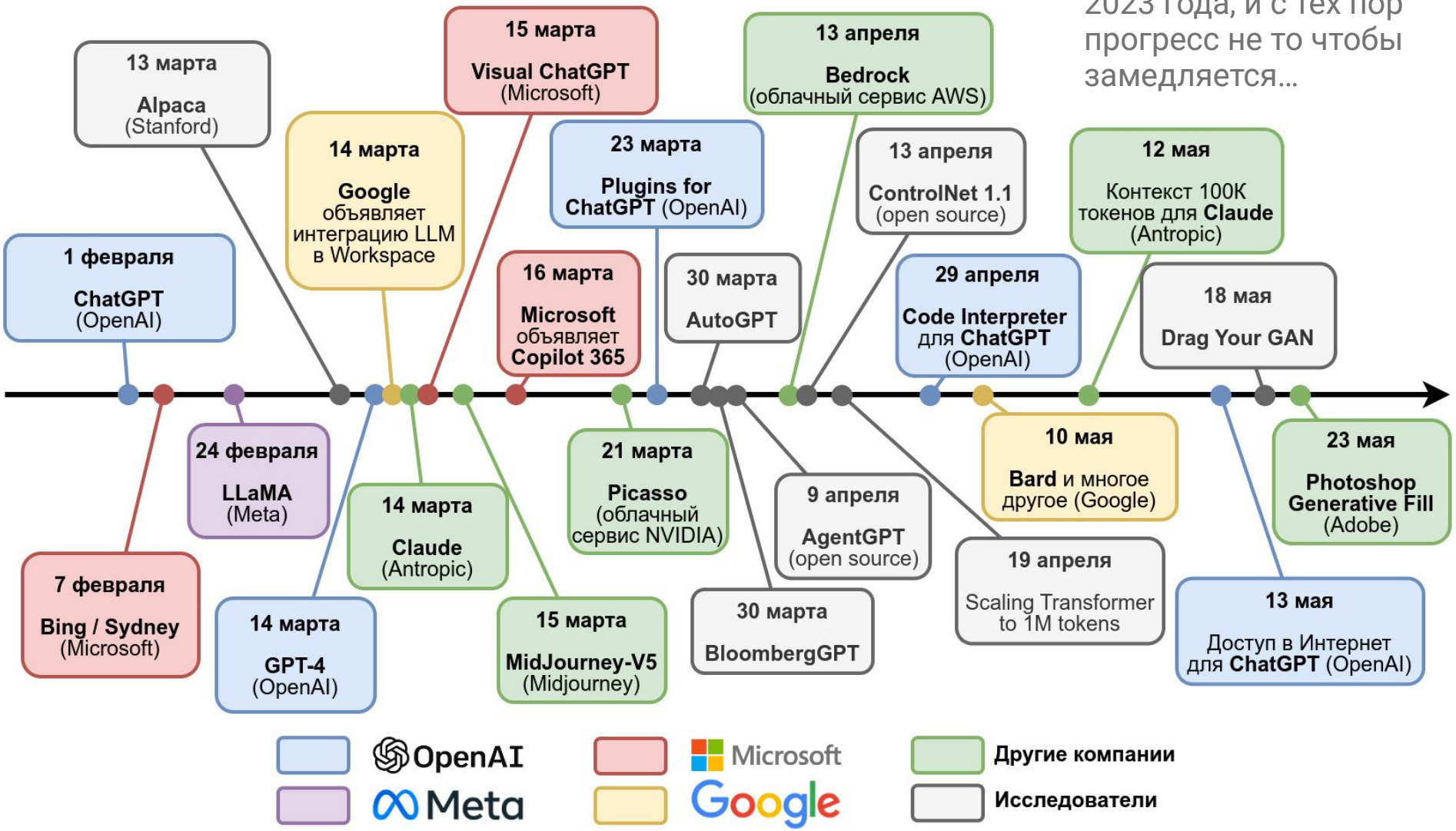
# AI timelines

- Источник



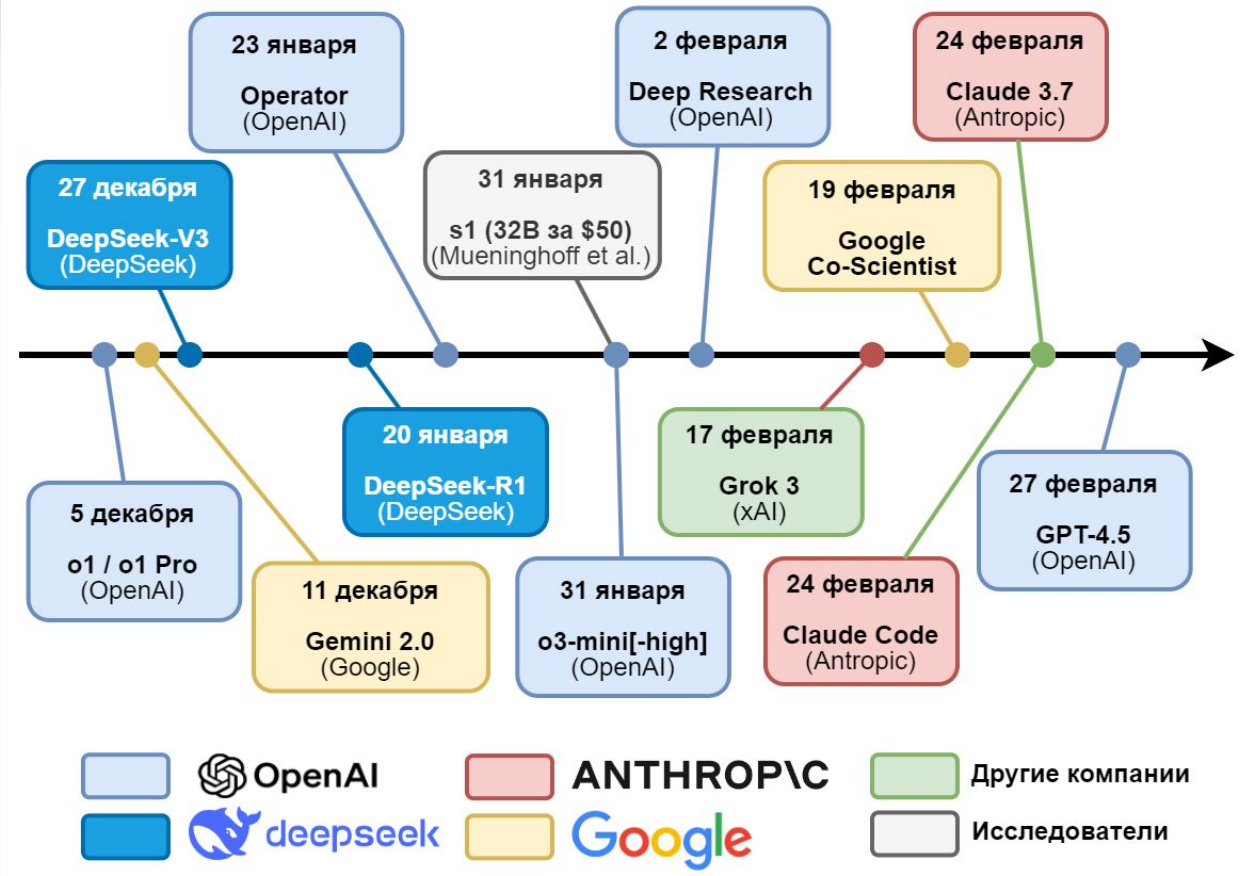
# Развитие AI в эпоху LLM

- А вот AI timeline весны 2023 года, и с тех пор прогресс не то чтобы замедляется...



# Например, в начале 2025 года

- 22 января: DeepSeek-R1
- 31 января: *s1* (Muenninghoff et al., 2025)
- 2 февраля: OpenAI Deep Research
- 17 февраля: Grok 3
- 19 февраля: Google Co-Scientist на основе Gemini 2.0 (11 декабря 2024)
- 24 февраля: Claude 3.7 Sonnet (hybrid reasoning Claude)
- 27 февраля: GPT-4.5



# А ускоряется…

**August 1, 2026**

1. **High-dimensional sphere packing.** New upper bounds on sphere-packing density down to the Cohn–Elkies threshold.
2. **Binary and spherical codes.** Exponentially improved bounds on the maximum size of binary codes at any prescribed minimum distance, with analogous results for high-dimensional spherical codes.
3. **Non-sofic groups.** A construction establishing the existence of non-sofic groups, addressing a central open question in group theory.
4. **Connes's rigidity conjecture.** Disproof of a longstanding conjecture that certain groups are uniquely determined by their von Neumann algebras.
5. **Arithmetic circuit complexity.** New lower bounds for computing the permanent using arithmetic circuits and formulas, including an arithmetic-formula lower bound of order $n^4/\log n$.
6. **Quantum parallel repetition.** An exponential parallel repetition theorem for general two-player quantum games, extending a foundational principle from classical complexity theory.
7. **Closest vector problem.** Polynomial-factor hardness of approximation for the closest vector problem, a foundational lattice question related to post-quantum cryptography.
8. **Ehrhart's volume conjecture.** Determining, in every dimension, the maximum possible volume of a convex body whose centroid is its only interior lattice point.
9. **Multicolor Ramsey numbers.** A superexponential lower bound for multicolor triangle Ramsey numbers, resolving Erdős problem 183.
10. **Extremal number conjectures.** Results on the compactness and degeneracy conjectures in extremal graph theory, resolving Erdős problems 146 and 180.

**August 10, 2026**

MORE THAN TWO THIRDS OF THE ZEROS OF THE RIEMANN ZETA FUNCTION LIE ON THE CRITICAL LINE

CLAUDE

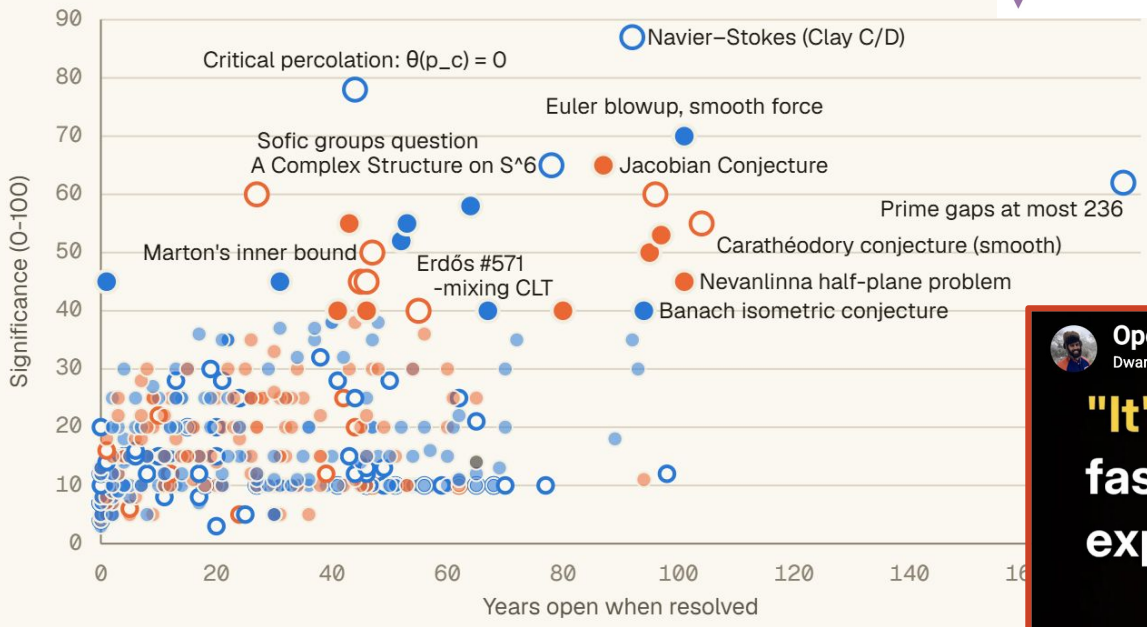
**September 8, 2026**

On the Navier–Stokes Millennium Prize Problem

Significance vs. age at resolution

● Disproved ● Prove

AI-estimated problem weight before the solve, 0-100 (Riemann = 100). Hollow points are claimed solutions still under review. Click




131 entries are partial results or variants, which have no age at resolution. 145 of the remaining 590 lack a posed year or a score.



# А ускоряется…

August 1, 2026

1. **High-dimensional sphere packing.** New upper bounds on sphere-packing density down to the Cohn–Elkies threshold.
2. **Binary and spherical codes.** Exponentially improved bounds on the maximum size of binary codes at any prescribed minimum distance, with analogous results for high-dimensional spherical codes.
3. **Non-sofic groups.** A construction establishing the existence of non-sofic groups, addressing a central open question in group theory.
4. **Connes's rigidity conjecture.** Disproof of a longstanding conjecture that certain groups are uniquely determined by their von Neumann algebras.
5. **Arithmetic circuit complexity.** New lower bounds for computing the permanent using arithmetic circuits and formulas, including an arithmetic-formula lower bound of order $n^4/\log n$.
6. **Quantum parallel repetition.** An exponential parallel repetition theorem for general two-player quantum games, extending a foundational principle from classical complexity theory.
7. **Closest vector problem.** Polynomial-factor hardness of approximation for the closest vector problem, a foundational lattice question related to post-quantum cryptography.
8. **Ehrhart's volume conjecture.** Determining, in every dimension, the maximum possible volume of a convex body whose centroid is its only interior lattice point.
9. **Multicolor Ramsey numbers.** A superexponential lower bound for multicolor triangle Ramsey numbers, resolving Erdős problem 183.
10. **Extremal number conjectures.** Results on the compactness and degeneracy conjectures in extremal graph theory, resolving Erdős problems 146 and 180.

August 10, 2026

MORE THAN TWO THIRDS OF THE [illegible] OF THE RIEMANN ZETA FUNCTION [illegible] AL LINE

Significance vs. age at resolution

Disproved Prove

AI-estimated problem weight before the solve, 0-100 (Riemann = 100). Hollow points are claimed solutions still under review.




131 entries are partial results or variants, which have no age at resolution. 145 of the remaining 590 lack a posed year or a score.

October 6, 2026 Research Publication

## Sharing AI progress in mathematics

**Сильно ускоряется…**



# AGI? Сингулярность?

- Значит ли это, что создание AGI (artificial general intelligence, общего искусственного интеллекта человеческого уровня) уже близко?
- И если AGI на пороге, что это значит для человечества?
- Приведёт ли это к той самой технологической сингулярности?
- Это вопросы без ответов, и риски разработки AI мы обсудим не сегодня (но, надеюсь, обсудим!)

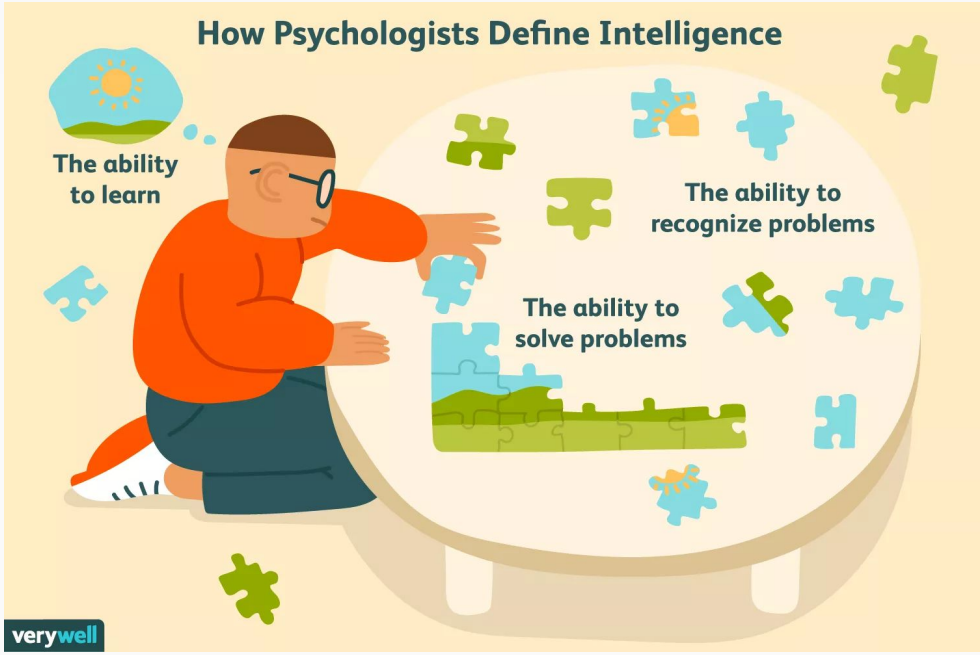


# Что такое искусственный интеллект?



# Что такое интеллект?

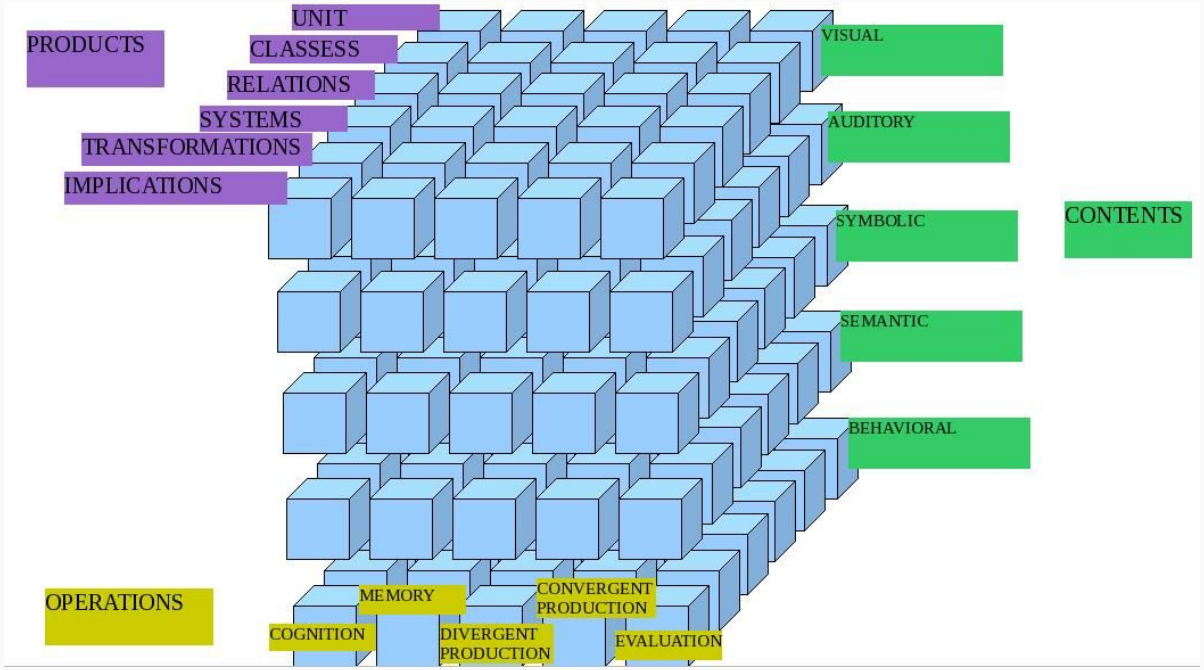
- Википедия: “Интеллект — качество психики, состоящее из способности осознавать новые ситуации, способности к обучению и запоминанию на основе опыта, пониманию и применению абстрактных концепций, и использованию своих знаний для управления окружающей человека средой. Общая способность к познанию и решению проблем, которая объединяет познавательные способности: ощущение, восприятие, память, представление, мышление, воображение”.



# Что такое интеллект?

- Wikipedia: “Intelligence has been defined in many ways: the capacity for abstraction, logic, understanding, self-awareness, learning, emotional knowledge, reasoning, planning, creativity, critical thinking, and problem-solving. It can be described as the ability to perceive or infer information and to retain it as knowledge to be applied to adaptive behaviors within an environment or context.”

- Britannica: “...mental quality that consists of the abilities to learn from experience, adapt to new situations, understand and handle abstract concepts, and **use knowledge to manipulate one’s environment**.”



# Что такое интеллект?

- В начале XX века Чарльз Спирмен обнаружил, что оценки школьников в разных тестах все были скоррелированы друг с другом
- Выделенный общий фактор он назвал **g** — general intelligence factor
- Фактор g почти наверняка существует, и хорошо наследуется, кстати, но это, конечно, очень сильное упрощение
- Интеллект — очень многомерная штука



# Что такое интеллект?

- В начале XX века Чарльз Спирмен обнаружил, что оценки школьников в разных тестах все были скоррелированы друг с другом
- Выделенный об
  фактор он
  genera
- Ф
  н
  хо
  кста
  очен
  упрощ
- Интелле очень многомерная штука

**Короче говоря, интеллект – дело тёмное.**
**Но как мы тогда можем говорить об**
**“искусственном интеллекте”?**



# Что такое искусственный интеллект?

- Есть масса определений искусственного интеллекта:
  - Википедия: искусственный интеллект — свойство интеллектуальных систем выполнять творческие функции, которые традиционно считаются прерогативой человека
  - Wikipedia: Artificial intelligence (AI) is the capability of computational systems to perform tasks typically associated with human intelligence, such as learning, reasoning, problem-solving, perception, and decision-making. It is a field of research in computer science that develops and studies methods and software that enable machines to perceive their environment and use learning and intelligence to take actions that maximize their chances of achieving defined goals.
- Видите проблему?



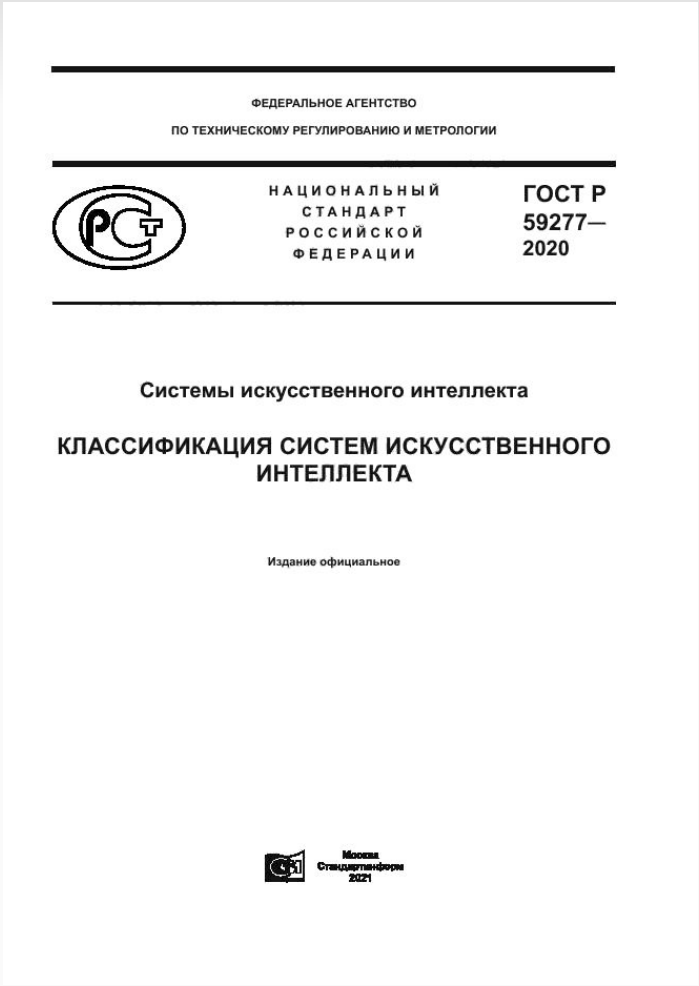
# Что такое искусственный интеллект?

- Всмотримся:
  - Wikipedia: **Artificial intelligence (AI) is the capability of computational systems** to perform tasks typically associated with human intelligence, such as learning, reasoning, problem-solving, perception, and decision-making. **It is a field of research in computer science** that develops and studies methods and software…
- Это очень неприятное смешение: в термине “AI” всё время путают науку и её результат, причём под результатом тоже каждый понимает своё
- Представьте, что школьный учебник физики назывался бы “Большой адронный коллайдер” или, ещё точнее, “Холодный термояд”...



# Что такое искусственный интеллект?

- Есть даже официальное определение, ГОСТ Р 59277-2020 «Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта»; здесь со стороны результата
- П3.18: Искусственный интеллект (artificial intelligence): Комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение, поиск решений без заранее заданного алгоритма и достижение инсайта) и получать при выполнении конкретных практически значимых задач обработки данных результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека.



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 59277— 2020

Системы искусственного интеллекта

КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2021

# Что такое искусственный интеллект

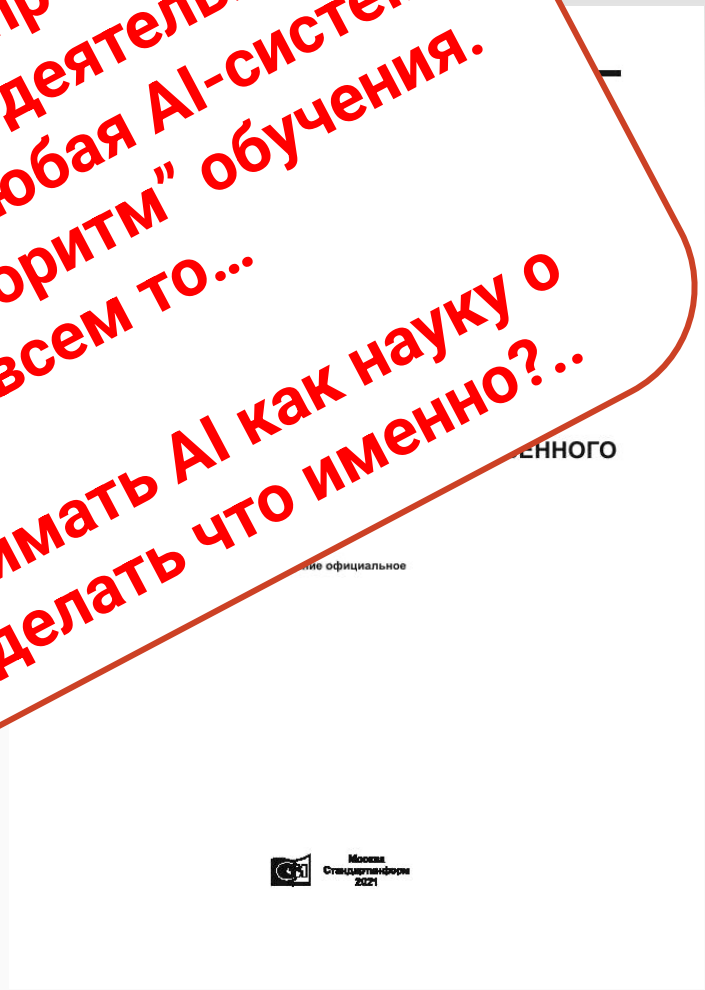
- Есть даже официальное определен
  ГОСТ Р 59277-2020 «Системы
  искусственного интеллек
  Классификация сист
  интеллекта»; з
- П3.18: И
  int
  за
  ин
  конк
  обраб
  сопоста
  результа
  деятельно

задач

ум, с

ектуальной

ловека.




**Но ведь уже калькулятор легко превосходит “результаты интеллектуальной деятельности человека” в своей области? А любая AI-система имеет “заранее заданный алгоритм” обучения. Что-то опять не совсем то…**

**Мы, конечно, будем понимать AI как науку о том, как… хммм, как сделать что именно?..**

# Что такое искусственный интеллект?

- Интуитивно AI — это когда “компьютер начинает решать задачи, сейчас подвластные только людям” (цитата из Дартмутского семинара, о нём позже)
- Странное определение, правда? Выходит, что оно всё время смещается?
- No true Scotsman во весь рост (и мы это много раз увидим в истории AI)...
- Что это значит в реальности?

A PROPOSAL FOR THE

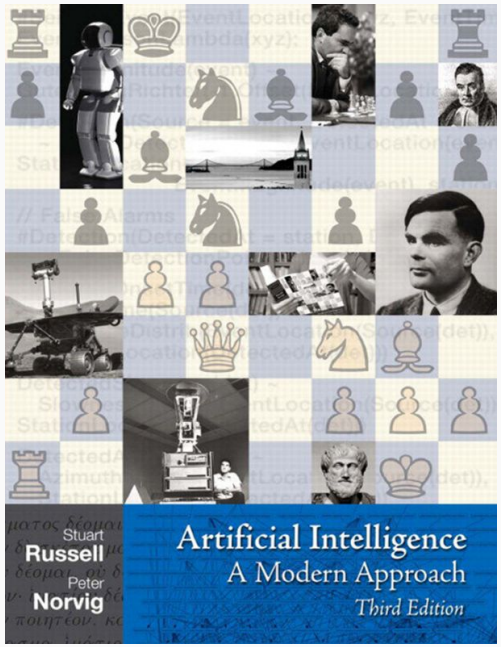
DARTMOUTH SUMMER RESEARCH PROJECT

ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

J. McCarthy, Dartmouth College
M. L. Minsky, Harvard University
N. Rochester, I. B. M. Corporation
C. E. Shannon, Bell Telephone Laboratories



# Что такое искусственный интеллект?

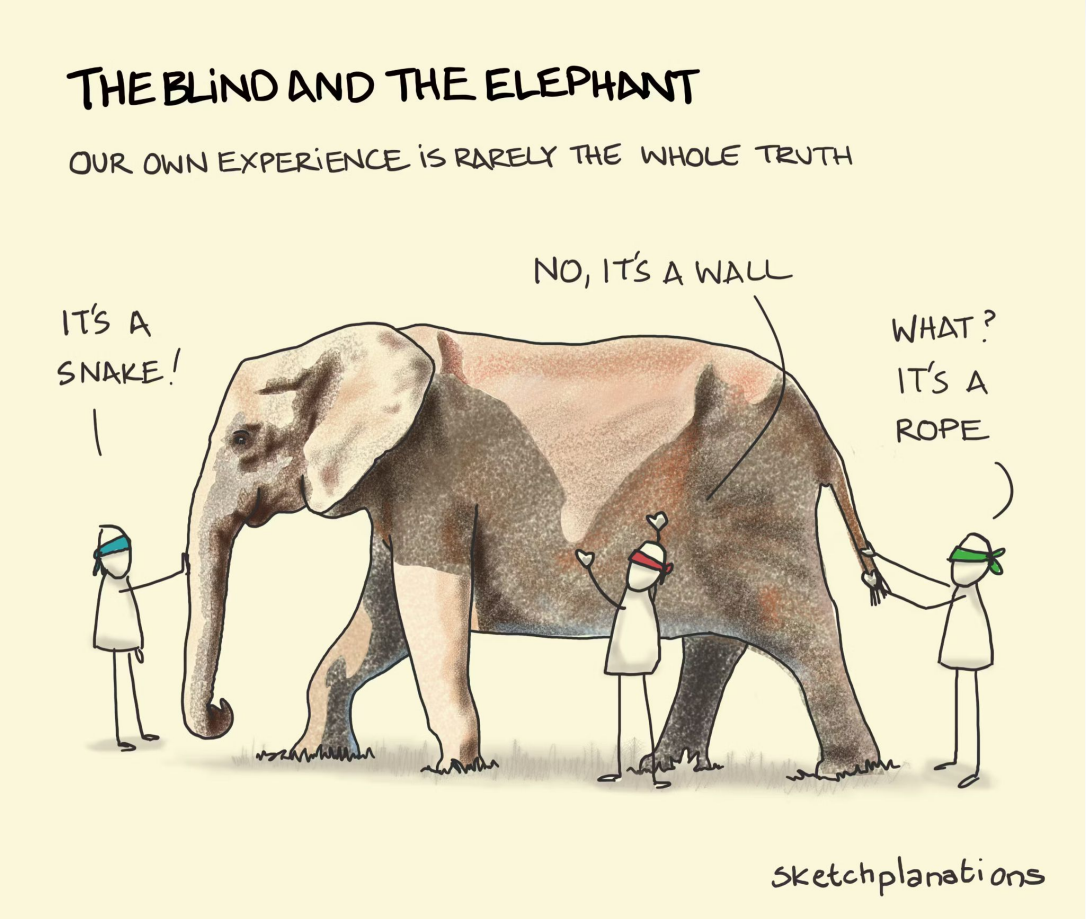



| **Thinking Humanly** | **Thinking Rationally** |
|---|---|
| "The exciting new effort to make computers think . . . *machines with minds*, in the full and literal sense." (Haugeland, 1985)<br><br>"[The automation of] activities that we associate with human thinking, activities such as decision-making, problem solving, learning . . ." (Bellman, 1978) | "The study of mental faculties through the use of computational models." (Charniak and McDermott, 1985)<br><br>"The study of the computations that make it possible to perceive, reason, and act." (Winston, 1992) |
| **Acting Humanly** | **Acting Rationally** |
| "The art of creating machines that perform functions that require intelligence when performed by people." (Kurzweil, 1990)<br><br>"The study of how to make computers do things at which, at the moment, people are better." (Rich and Knight, 1991) | "Computational Intelligence is the study of the design of intelligent agents." (Poole *et al.*, 1998)<br><br>"AI . . . is concerned with intelligent behavior in artifacts." (Nilsson, 1998) |

**Figure 1.1** Some definitions of artificial intelligence, organized into four categories.

# Что такое искусственный интеллект?

- Дать определение, которое всем понравится, вряд ли получится
- Но можно описать слона по частям
- Дальше я попробую рассказать о том, из чего состоит искусственный интеллект (как наука!), с разных сторон, по разным типам классификации

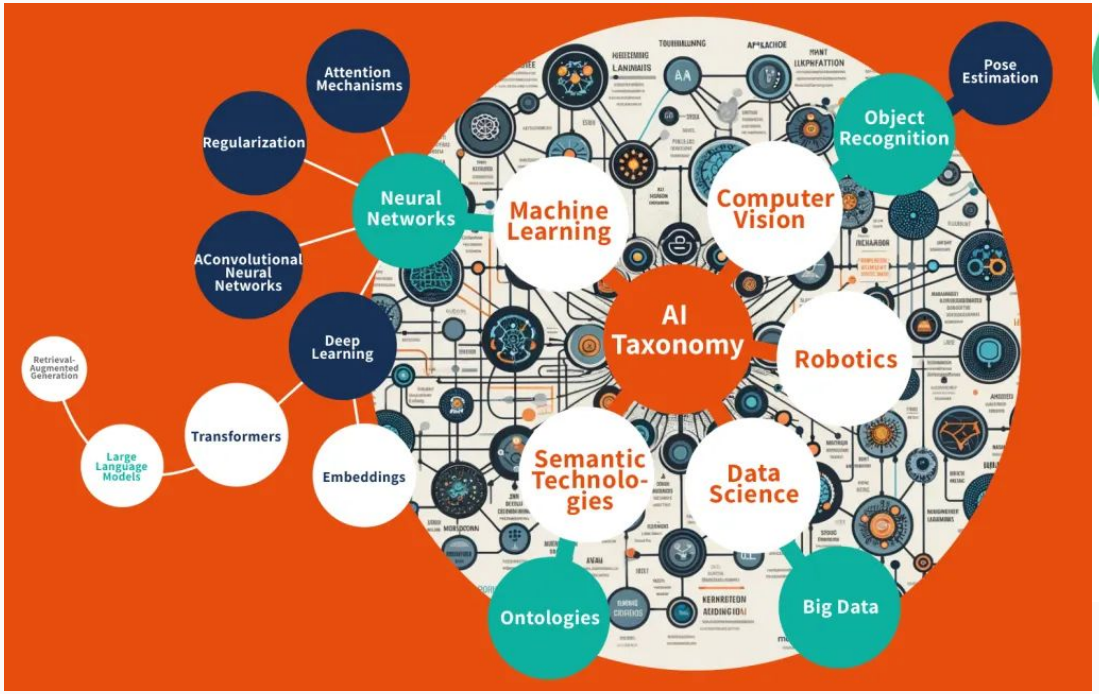


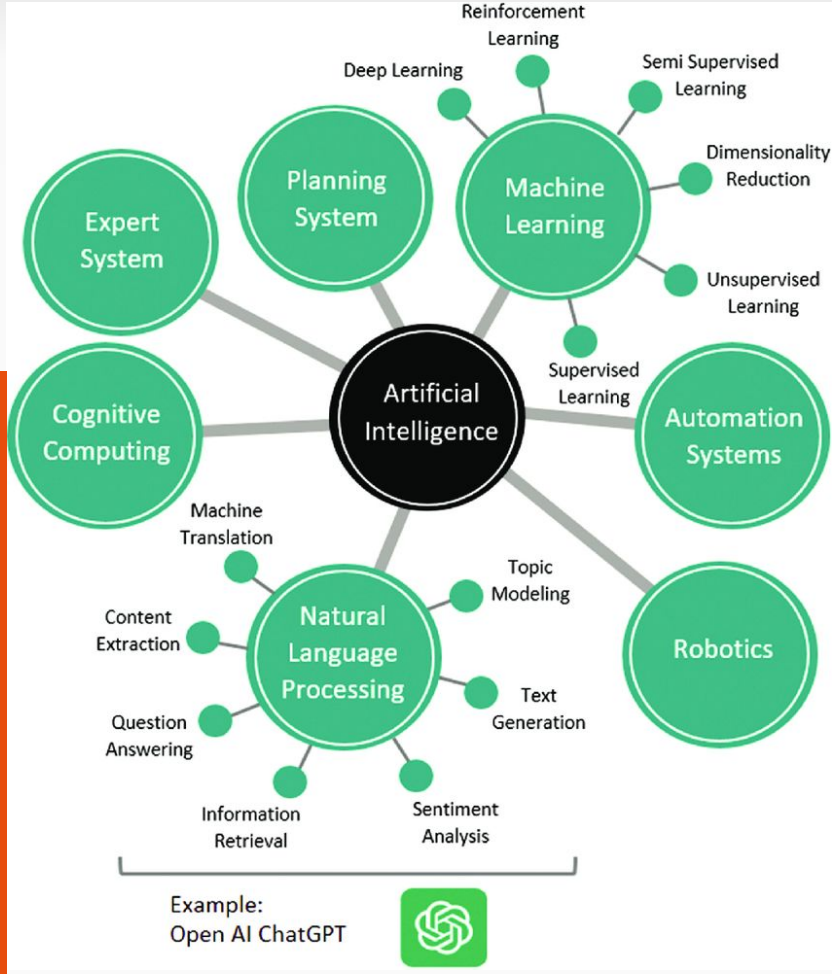
# Методы искусственного интеллекта



# На что делится искусственный интеллект?

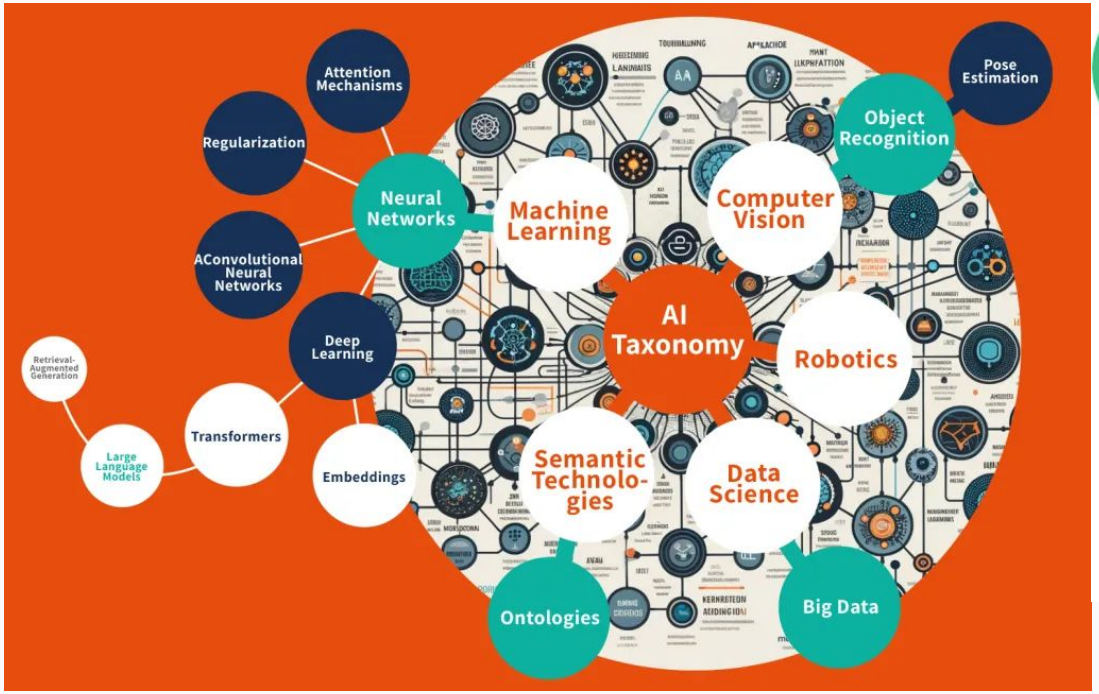
- Даже в хороших источниках можно встретить очень странные картинки “структуры искусственного интеллекта” вроде вот таких

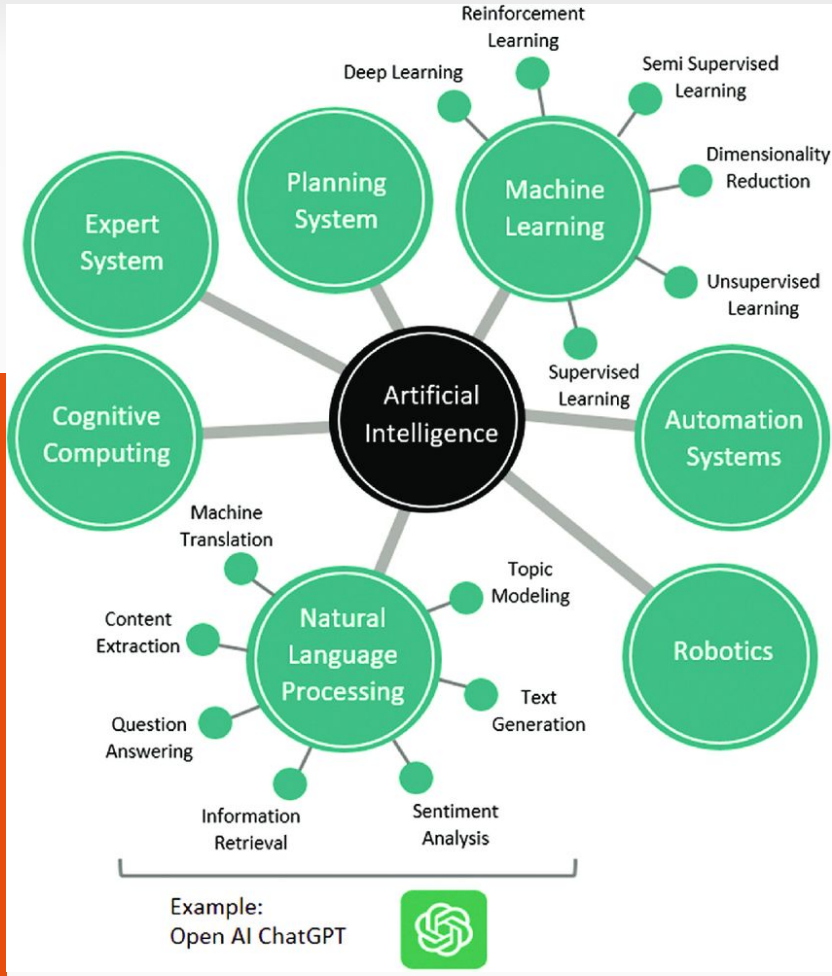


# На что делится искусственный интеллект?

- Такие картинки смешивают постановки задач (“computer vision”) и методы их решения (“neural networks”), и получается ерунда: NLP и computer vision стоят отдельно от machine learning, хотя без обучения никак невозможны…

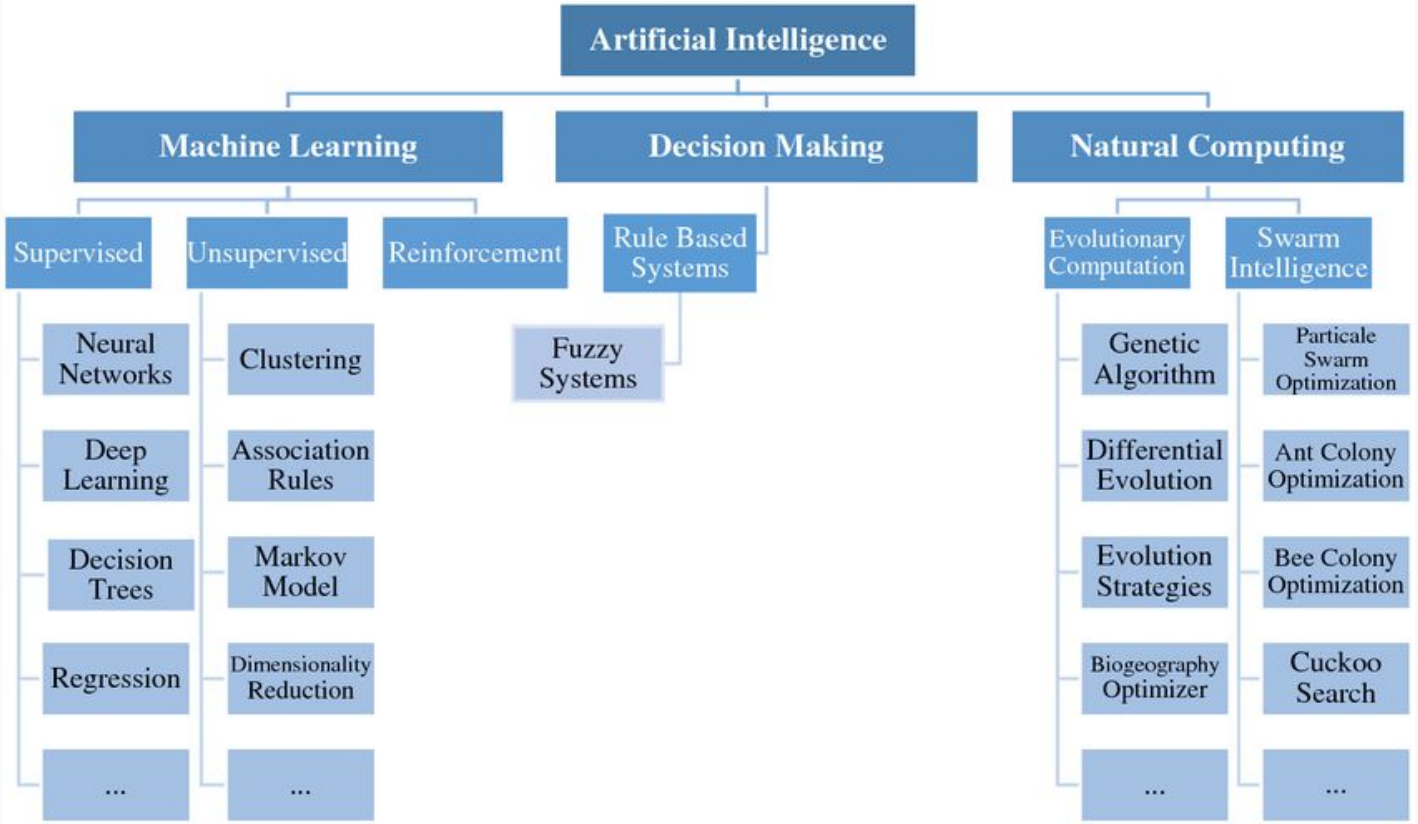



- Давайте не делать таких ошибок…

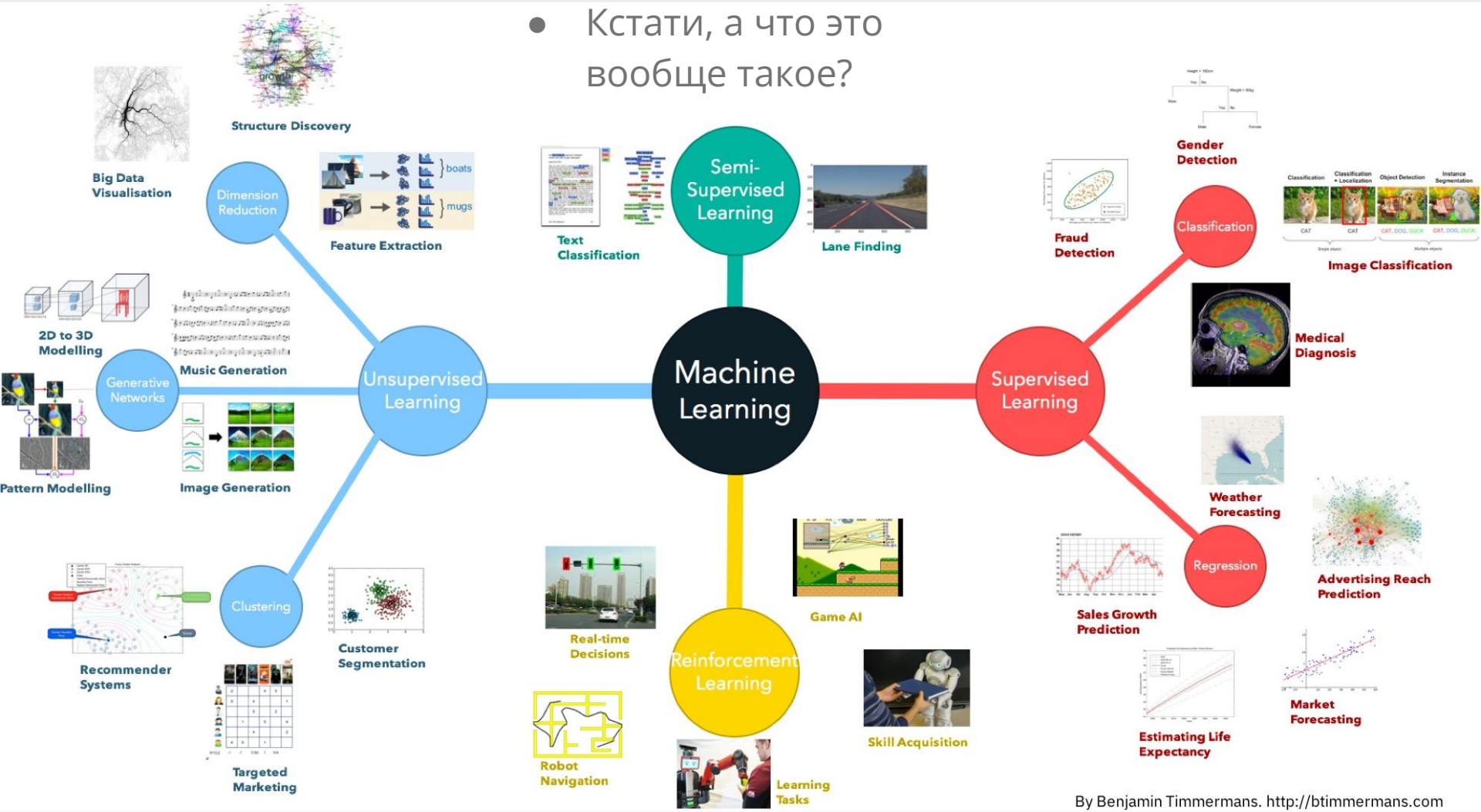
# На что делится искусственный интеллект?

- Вот более разумная общая классификация **методов** AI
- Здесь видно, что машинное обучение — лишь часть искусственного интеллекта… но большая часть, и начиная с 1990-х всё больше фактически единственная



# На что делится искусственный интеллект?

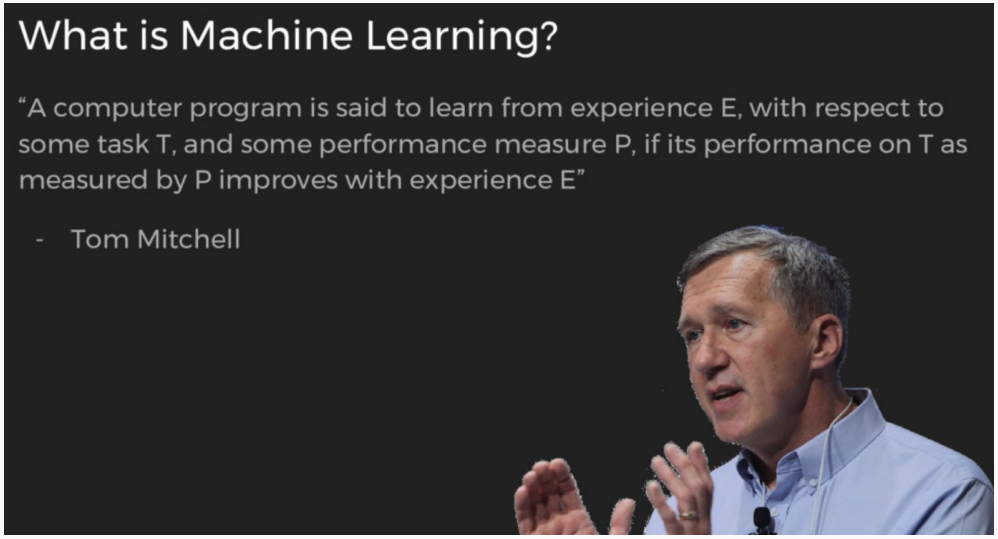
- Внутри машинного обучения, конечно, тоже много интересного
- Кстати, а что это вообще такое?



# На что делится искусственный интеллект?

- Что значит “машина обучается”?

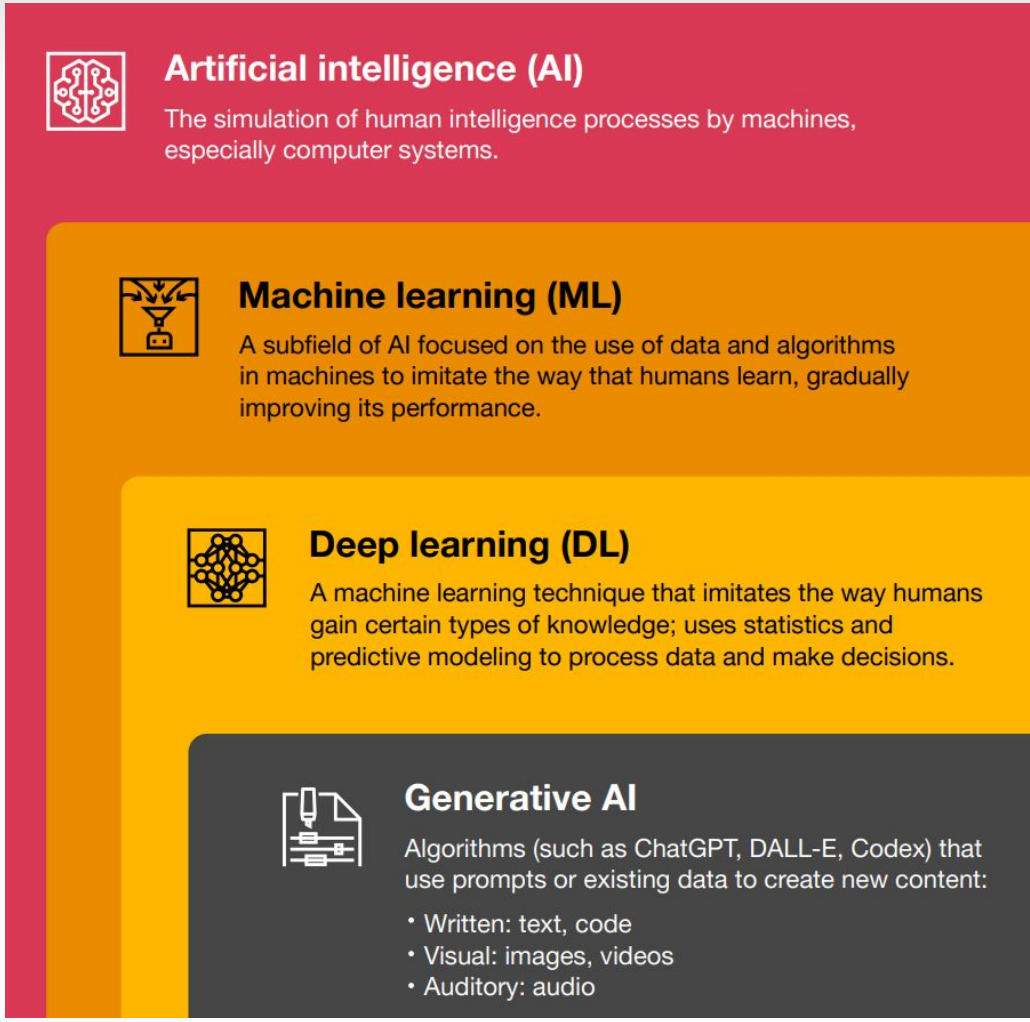
- **Mitchell (1997)**: Компьютерная программа обучается по мере накопления опыта относительно некоторого класса задач $T$ и целевой функции $P$, если качество решения этих задач (относительно $P$) улучшается с получением нового опыта.




- Определение слишком общее, конечно, но хорошее!

# На что делится искусственный интеллект?

- В современных курсах AI вы уже вряд ли встретите что-то кроме машинного обучения
- **Deep learning** (глубокое обучение) — подраздел ML, связанный с нейросетями
- **Generative AI** — это модели, у которых на выходе сложные данные вроде текстов или картинок; они не обязаны быть нейросетями или вообще обучаемыми моделями, но иначе не получается...



# На что делится искусственный интеллект?



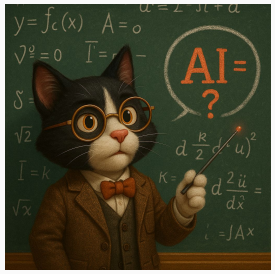









A distinguished black and white cat professor in tweeds, standing at a chalkboard...




**Artificial intelligence (AI)**

The simulation of human intelligence processes by machines, especially computer systems.

**Machine learning (ML)**

A subfield of AI focused on the use of data and algorithms in machines to imitate the way that humans learn, gradually improving its performance.

**Deep learning (DL)**

A machine learning technique that imitates the way humans gain certain types of knowledge; uses statistics and predictive modeling to process data and make decisions.

**Generative AI**

Algorithms (such as ChatGPT, DALL-E, Codex) that use prompts or existing data to create new content:

- Written: text, code
- Visual: images, videos
- Auditory: audio

# На что делится искусственный интеллект?



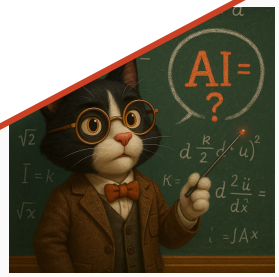






**Но это только методы. Какие ещё есть размерности, по которым разумно классифицировать AI на разделы?**

A distin
black an
cat profes
tweeds, sta
at a chalkboard...



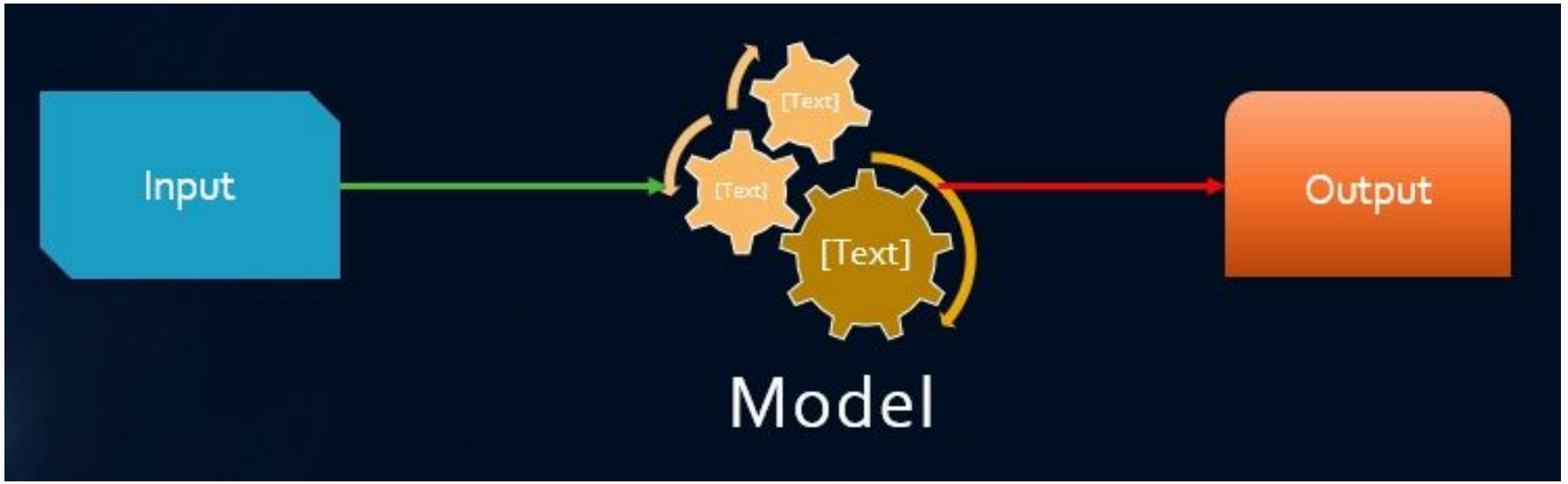



# Данные и их модальности в искусственном интеллекте



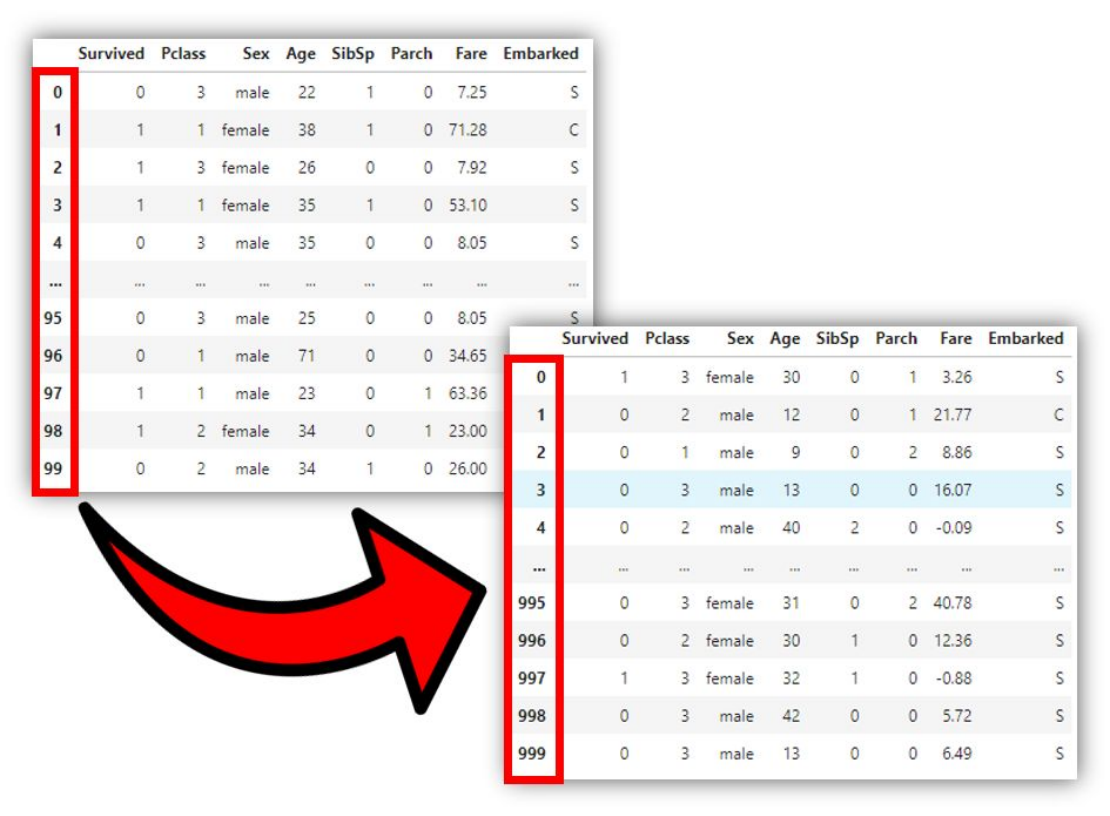
# Данные в искусственном интеллекте

- AI — это системы, которые перерабатывают **данные**
- Есть даже термин “наука о данных” (**data science**)
- Исследователи строят **модели**, которые принимают на вход некоторые данные и **предсказывают** то, что нам нужно
- Какие бывают данные? Какие у них бывают **модальности**?



# Данные в искусственном интеллекте

- **Табличные данные**: признаков не очень много, они могут быть численные или категориальные, и нужно на их основе что-нибудь предсказать
- Например, система, оценивающая вероятность возврата кредита, получает на вход некоторый набор параметров самого кредита и человека, который на этот кредит претендует

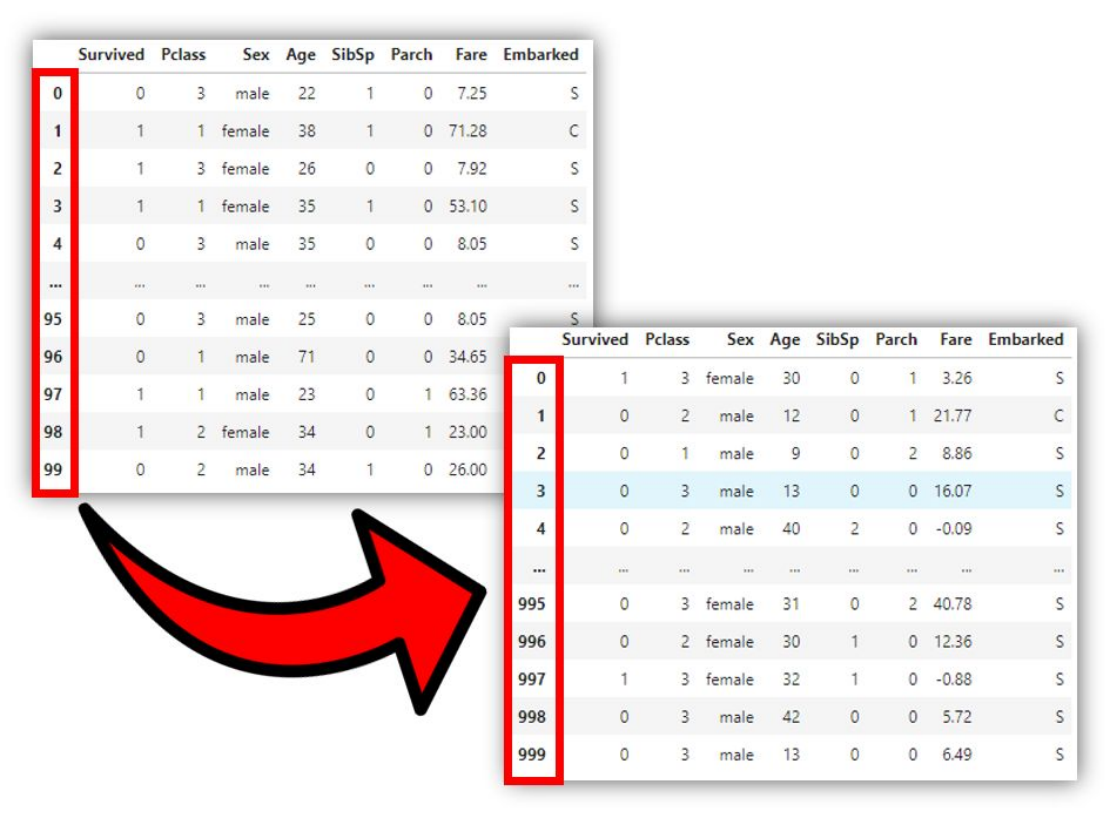


| | Survived | Pclass | Sex | Age | SibSp | Parch | Fare | Embarked |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 3 | male | 22 | 1 | 0 | 7.25 | S |
| 1 | 1 | 1 | female | 38 | 1 | 0 | 71.28 | C |
| 2 | 1 | 3 | female | 26 | 0 | 0 | 7.92 | S |
| 3 | 1 | 1 | female | 35 | 1 | 0 | 53.10 | S |
| 4 | 0 | 3 | male | 35 | 0 | 0 | 8.05 | S |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 95 | 0 | 3 | male | 25 | 0 | 0 | 8.05 | S |
| 96 | 0 | 1 | male | 71 | 0 | 0 | 34.65 | |
| 97 | 1 | 1 | male | 23 | 0 | 1 | 63.36 | |
| 98 | 1 | 2 | female | 34 | 0 | 1 | 23.00 | |
| 99 | 0 | 2 | male | 34 | 1 | 0 | 26.00 | |

| | Survived | Pclass | Sex | Age | SibSp | Parch | Fare | Embarked |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 3 | female | 30 | 0 | 1 | 3.26 | S |
| 1 | 0 | 2 | male | 12 | 0 | 1 | 21.77 | C |
| 2 | 0 | 1 | male | 9 | 0 | 2 | 8.86 | S |
| 3 | 0 | 3 | male | 13 | 0 | 0 | 16.07 | S |
| 4 | 0 | 2 | male | 40 | 2 | 0 | -0.09 | S |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 995 | 0 | 3 | female | 31 | 0 | 2 | 40.78 | S |
| 996 | 0 | 2 | female | 30 | 1 | 0 | 12.36 | S |
| 997 | 1 | 3 | female | 32 | 1 | 0 | -0.88 | S |
| 998 | 0 | 3 | male | 42 | 0 | 0 | 5.72 | S |
| 999 | 0 | 3 | male | 13 | 0 | 0 | 6.49 | S |

# Данные в искусственном интеллекте

- **Табличные данные**: с одной стороны, признаки за нас уже кто-то извлёк и свёл в табличку, это более простая ситуация
- С другой стороны, такие данные почти всегда требуют некоторой предобработки, и кроме того часто будут иметь разную природу, что создаёт дополнительные трудности
- Да и меньше таких данных будет обычно

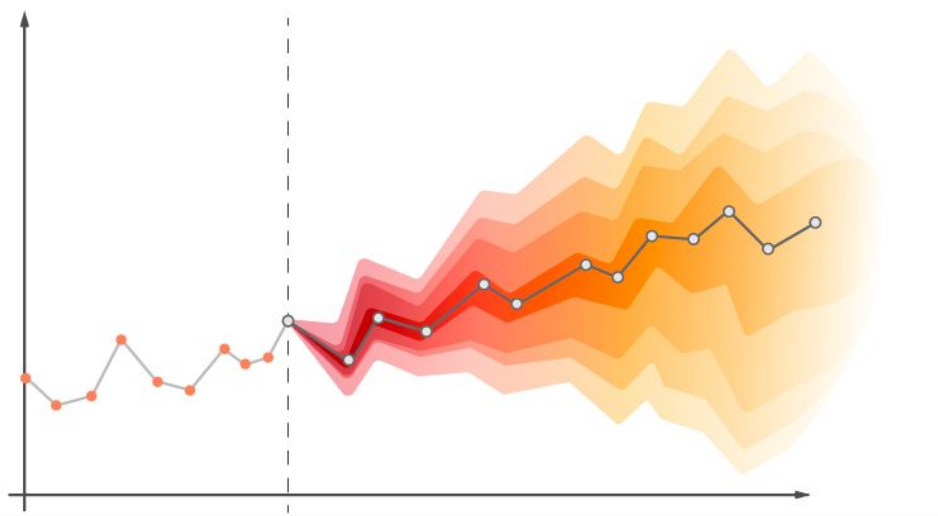


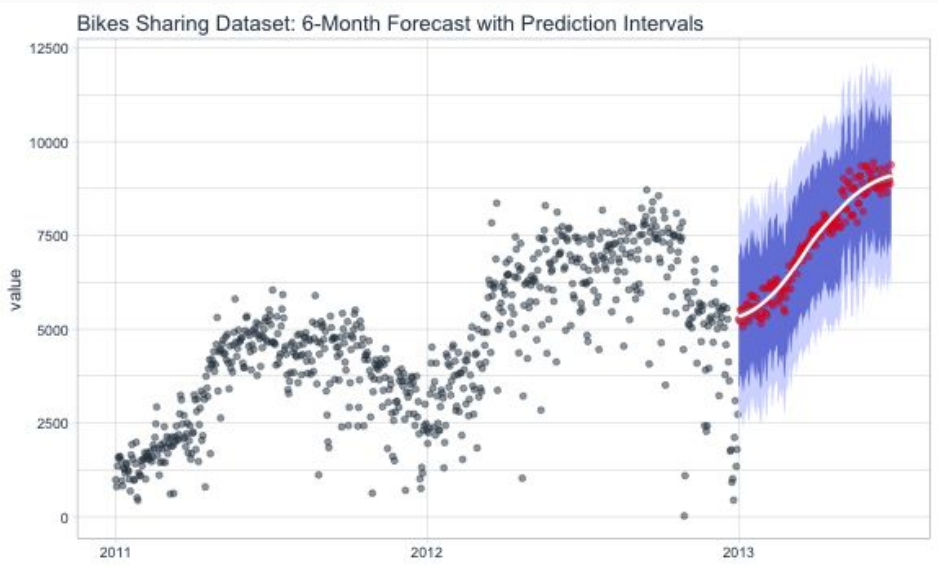
| | Survived | Pclass | Sex | Age | SibSp | Parch | Fare | Embarked |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 3 | male | 22 | 1 | 0 | 7.25 | S |
| 1 | 1 | 1 | female | 38 | 1 | 0 | 71.28 | C |
| 2 | 1 | 3 | female | 26 | 0 | 0 | 7.92 | S |
| 3 | 1 | 1 | female | 35 | 1 | 0 | 53.10 | S |
| 4 | 0 | 3 | male | 35 | 0 | 0 | 8.05 | S |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 95 | 0 | 3 | male | 25 | 0 | 0 | 8.05 | S |
| 96 | 0 | 1 | male | 71 | 0 | 0 | 34.65 | |
| 97 | 1 | 1 | male | 23 | 0 | 1 | 63.36 | |
| 98 | 1 | 2 | female | 34 | 0 | 1 | 23.00 | |
| 99 | 0 | 2 | male | 34 | 1 | 0 | 26.00 | |

| | Survived | Pclass | Sex | Age | SibSp | Parch | Fare | Embarked |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 3 | female | 30 | 0 | 1 | 3.26 | S |
| 1 | 0 | 2 | male | 12 | 0 | 1 | 21.77 | C |
| 2 | 0 | 1 | male | 9 | 0 | 2 | 8.86 | S |
| 3 | 0 | 3 | male | 13 | 0 | 0 | 16.07 | S |
| 4 | 0 | 2 | male | 40 | 2 | 0 | -0.09 | S |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 995 | 0 | 3 | female | 31 | 0 | 2 | 40.78 | S |
| 996 | 0 | 2 | female | 30 | 1 | 0 | 12.36 | S |
| 997 | 1 | 3 | female | 32 | 1 | 0 | -0.88 | S |
| 998 | 0 | 3 | male | 42 | 0 | 0 | 5.72 | S |
| 999 | 0 | 3 | male | 13 | 0 | 0 | 6.49 | S |

# Данные в искусственном интеллекте

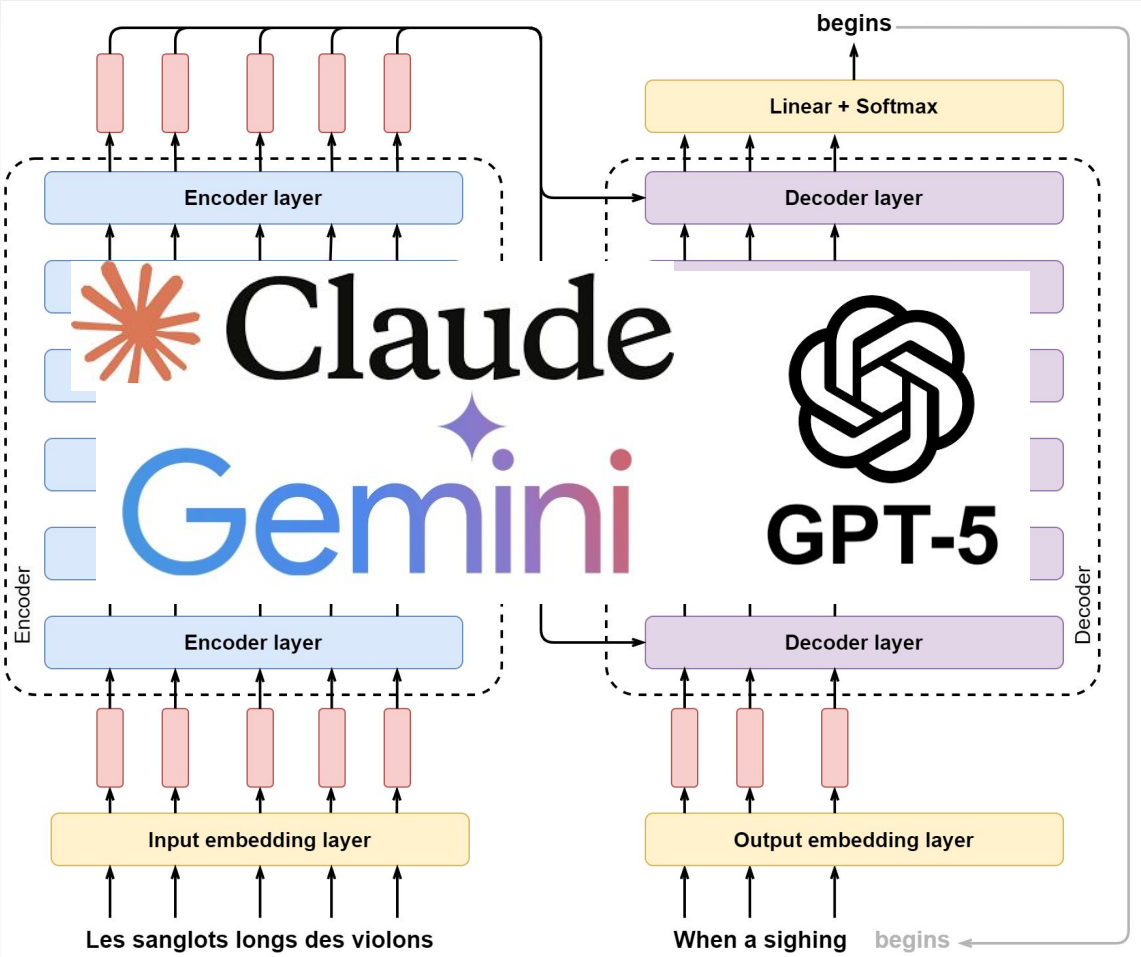
- **Последовательности**: данные представляют собой последовательности или чисел, или дискретных токенов
- Например, **анализ временных рядов** (это вообще во многом отдельная наука: там и спектральные методы, и много чего другого)
- Какие ещё примеры последовательностей вы знаете?





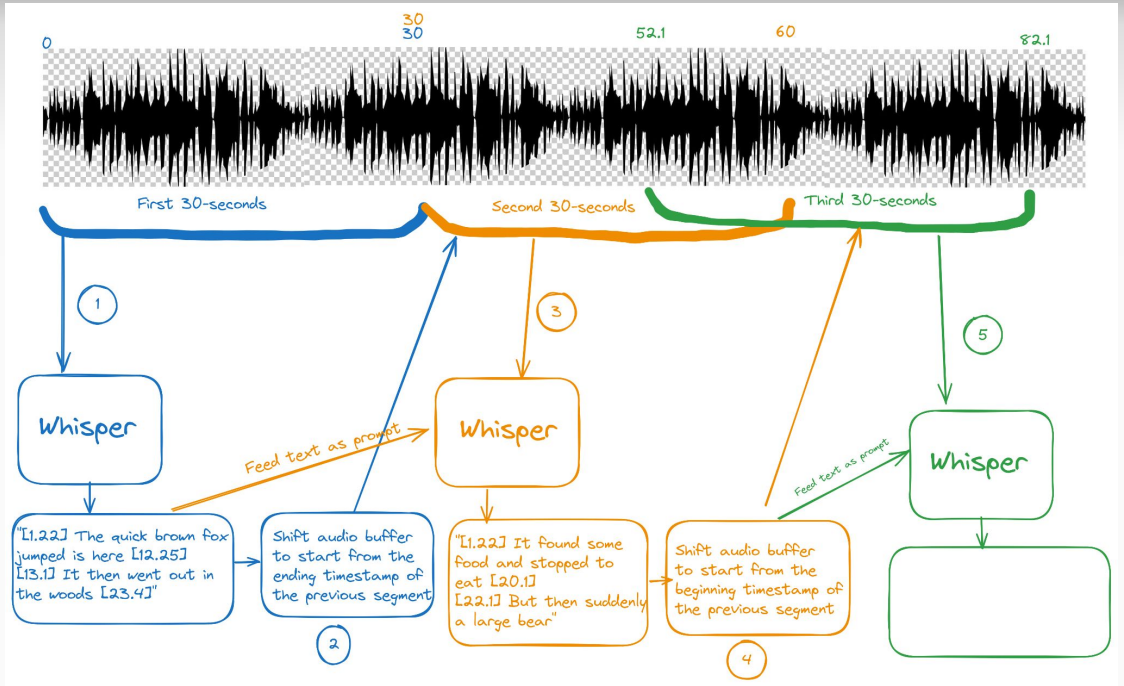
# Данные в искусственном интеллекте

- Конечно же, **текст**: это последовательность слов (или букв, или других каких-то дискретных токенов)
- Например, архитектура трансформера, которая произвела на свет революцию больших языковых моделей, предназначена именно для обработки последовательностей



# Данные в искусственном интеллекте

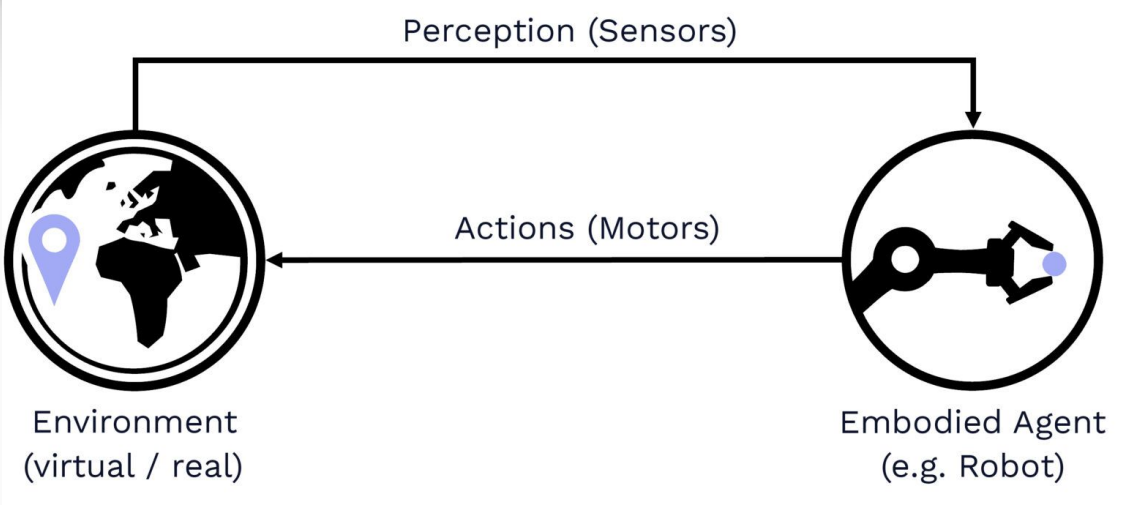
- **Звук** — это тоже последовательность, на этот раз отсчётов-амплитуд; здесь распознавание и синтез речи, синтез музыки и так далее
- Здесь долгое время доминировали специализированные методы, связанные со спектральным анализом, но в последнее время всё это тоже сплошные end-to-end нейросети…

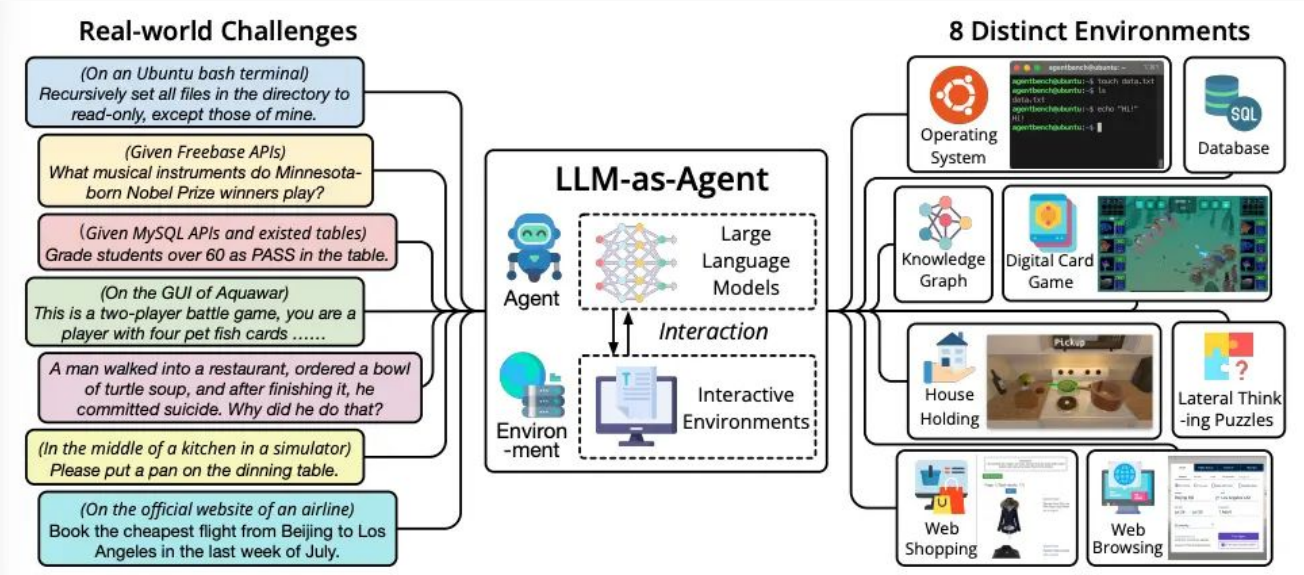





# Данные в искусственном интеллекте

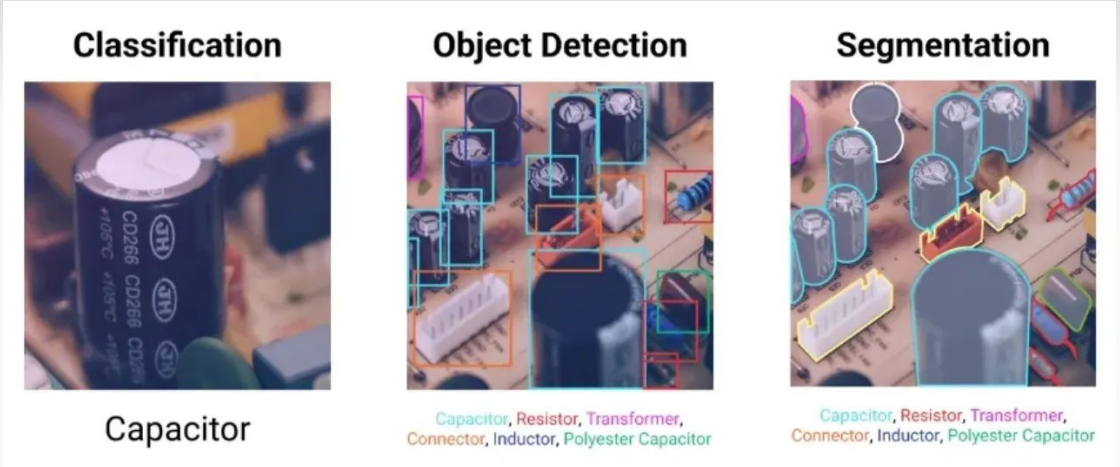
- Или, например, последовательность **действий** у агента или робота
- У них, конечно, может быть возможность совершать несколько разнь действий зараз, - здесь последова тельности могут быть многомерными

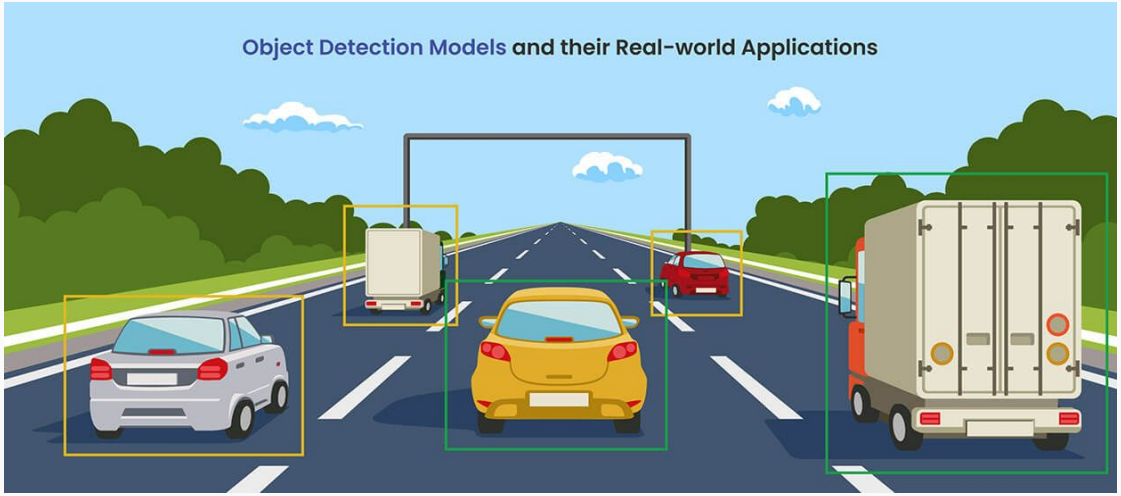


# Данные в искусственном интеллекте

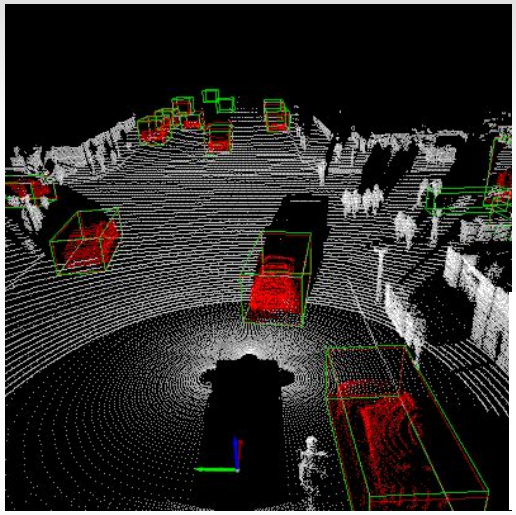
- Переходим в **2D**; здесь главный пример — это, конечно, **картинки**, от классификации изображений до сложных задач компьютерного зрения: распознавание объектов, сегментация…
- Кстати, сколько чисел в обычной фотографии?

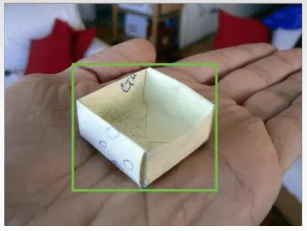


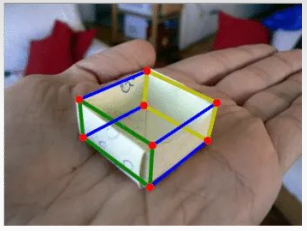



# Данные в искусственном интеллекте

- В **3D** появляются как собственно **3D-изображения** (лидары, ToF-камеры), так и **видео**, где третья координата — это время
- Разумеется, видео обычно рассматривают как последовательность картинок, и методы получаются соответствующие (но немного другие!)











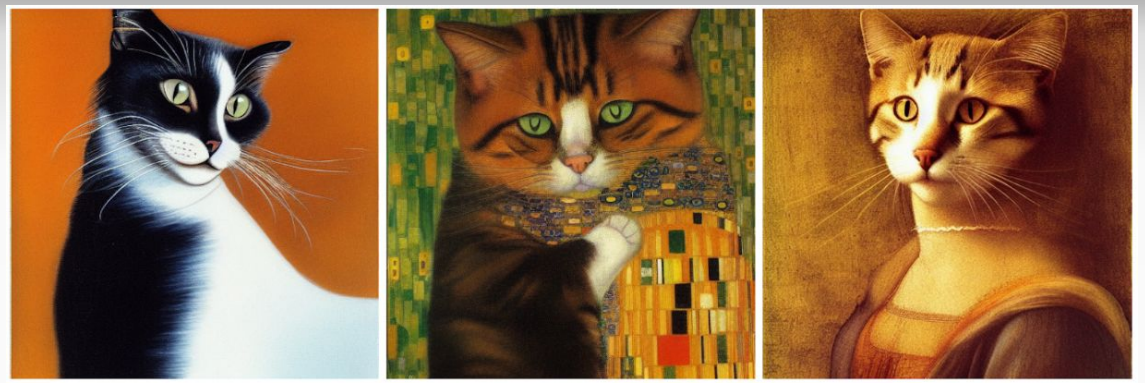
Video Classifier

| Class | Score |
|---|---|
| Swing Dancing | 0.52 |
| Salsa Dancing | 0.39 |
| Holding hands | 0.03 |
| Walking | 0.01 |
| ... | ... |

# Данные в искусственном интеллекте

- **Мультимодальные** модели объединяют несколько модальностей
- Например, видео часто бывает со звуком
- Или, например, text-to-image модели, которые рисуют картинки по текстовому запросу
- У них, как вы знаете, тоже большой прогресс за последние годы

Январь 2023



Ноябрь 2024



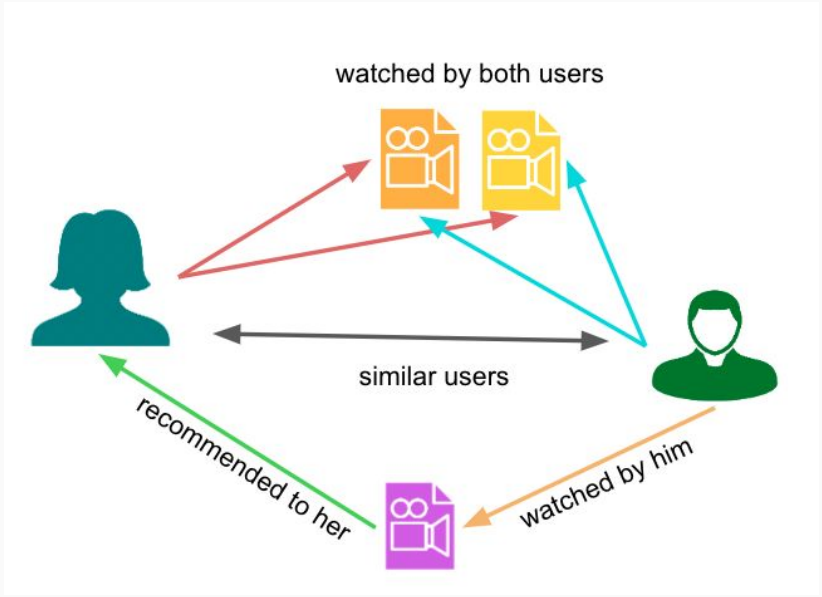
Октябрь 2025



# Данные в искусственном интеллекте

- Это очень грубая классификация, многое протекло сквозь пальцы
- Например, **medical imaging** — это иногда не совсем то же самое, что обычные картинки
- А **рекомендательные системы** — не совсем то же самое, что анализ табличных данных в целом
- Но в общем так



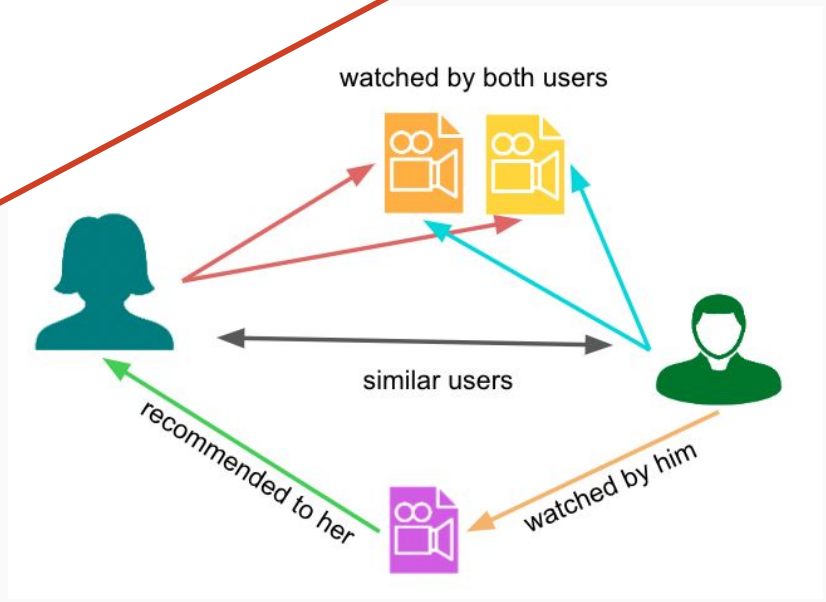


# Данные в искусственном интеллекте

- Это очень грубая классификация, многое протекло сквозь пальцы
- Например, **medical imaging** — это и
  не совсем
  самое
  ко
- т
  ан
  дан м
- Но в общем так



**Но и типы данных — это тоже ещё не всё...**

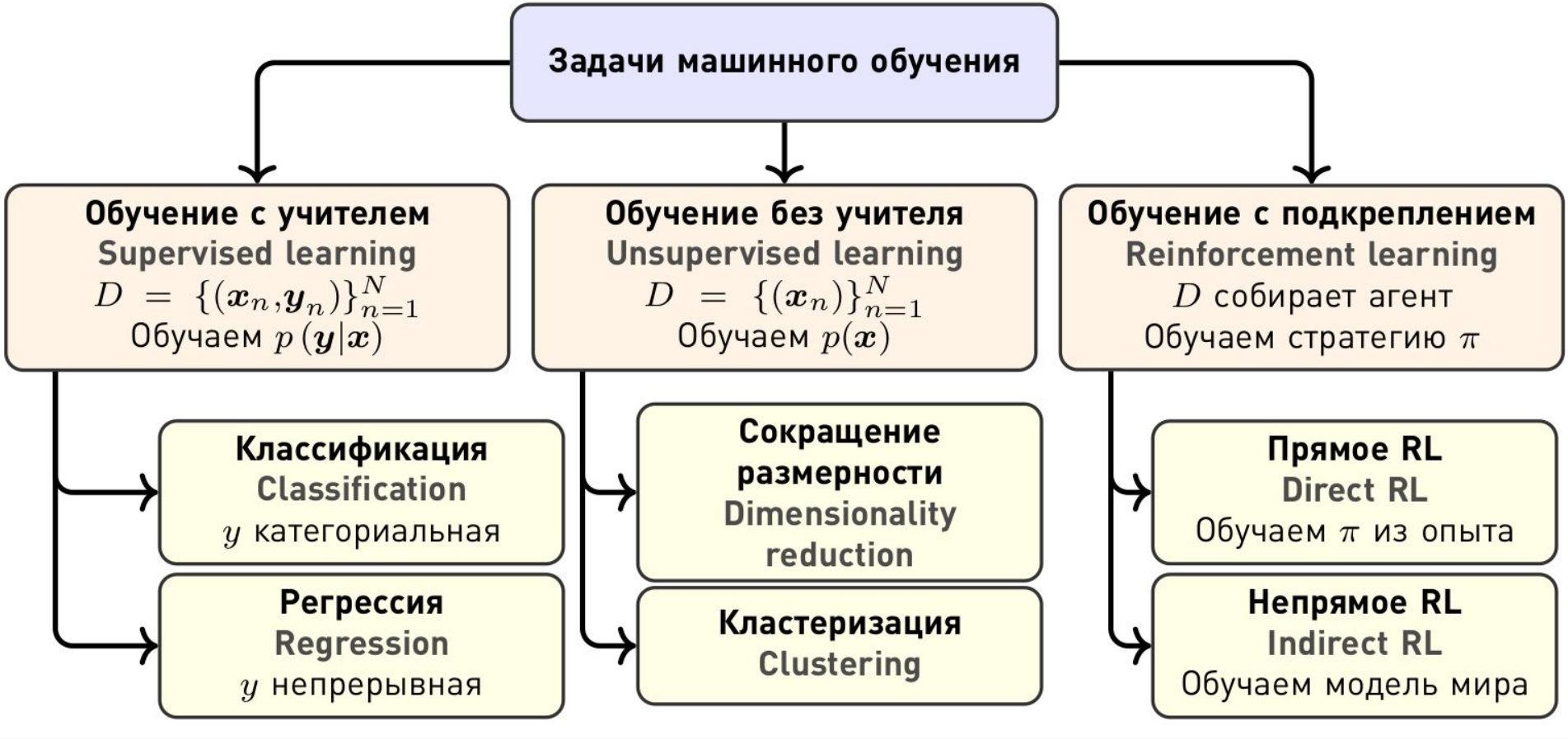


# Постановки задач в машинном обучении



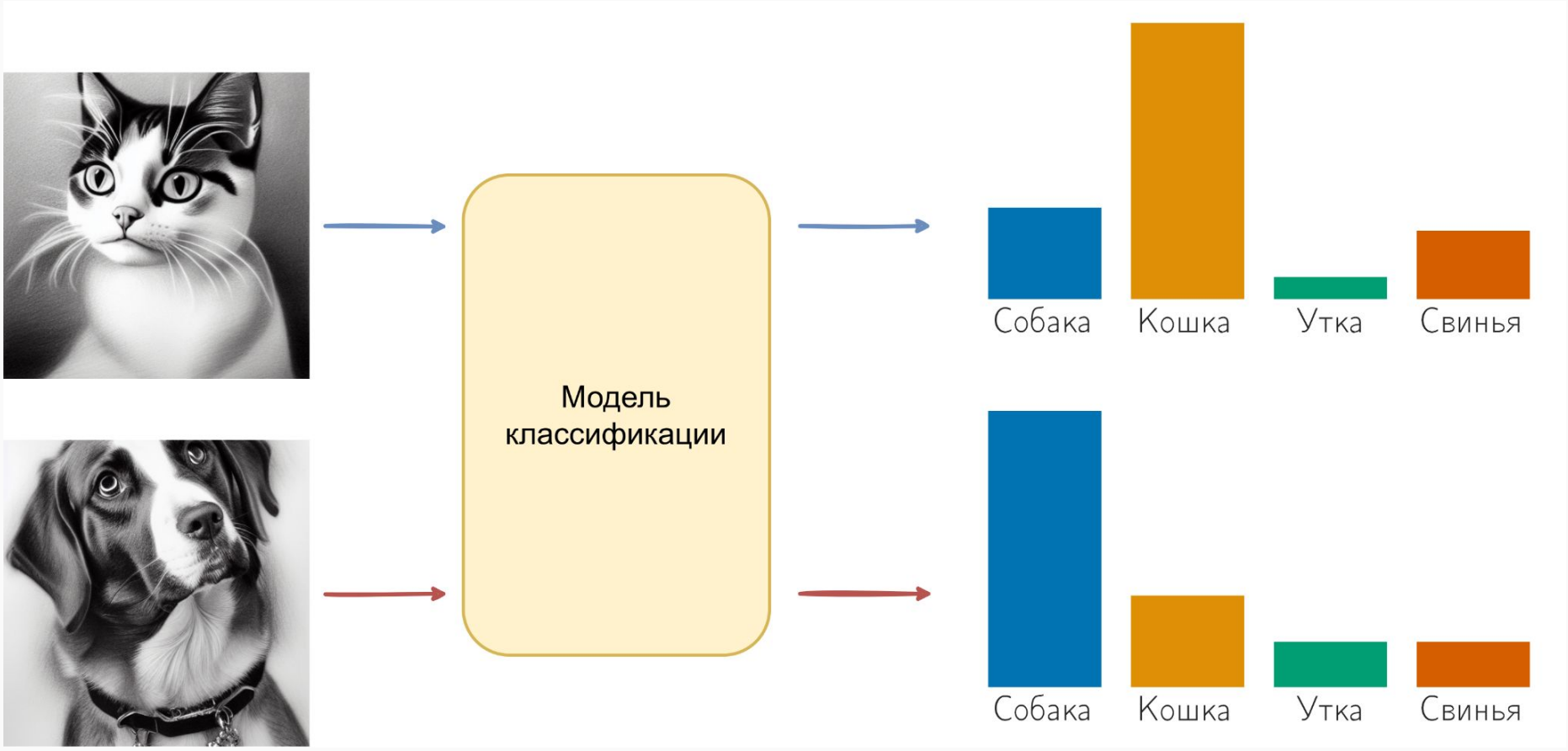
# Виды постановок задач

- На этой классификации давайте остановимся поподробнее...



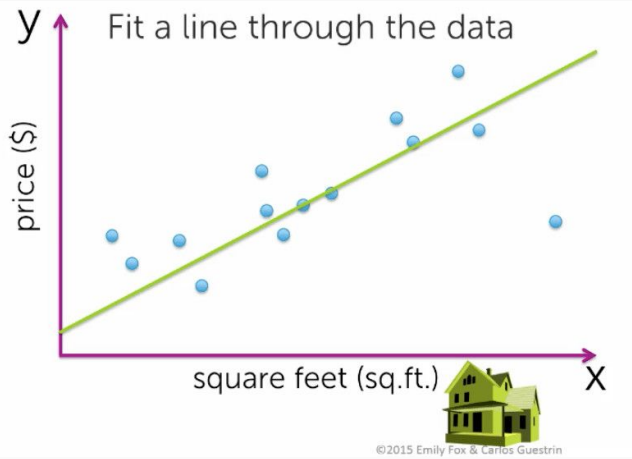
# Обучение с учителем

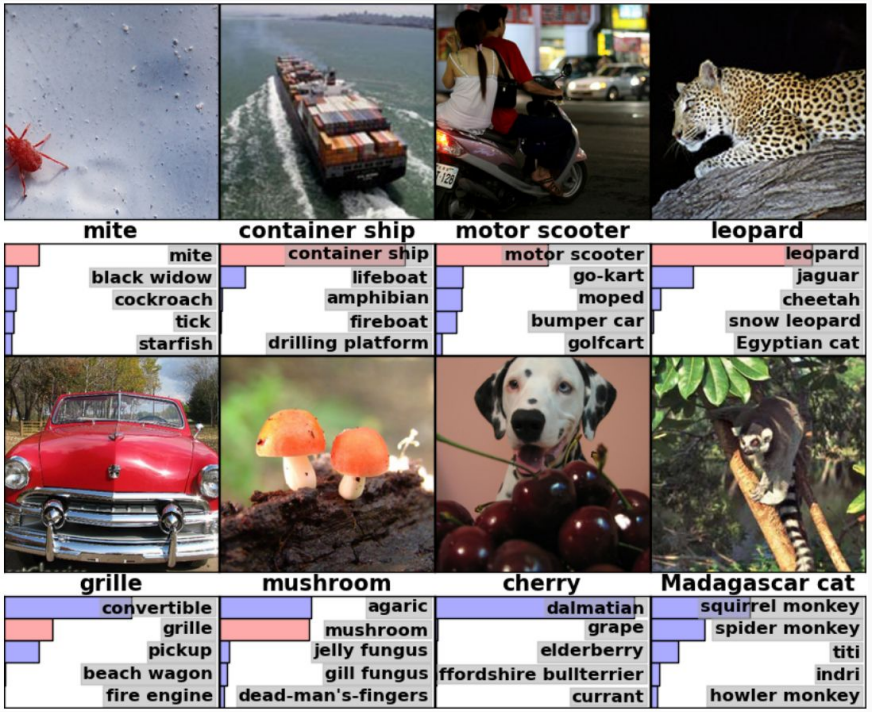
- **Обучение с учителем** (**supervised learning**): когда в данных есть и входы **x**, и выходы **y**, и задача в том, чтобы предсказать выход **y** для нового входа **x**, то есть обучить функцию **y**=f(**x**)

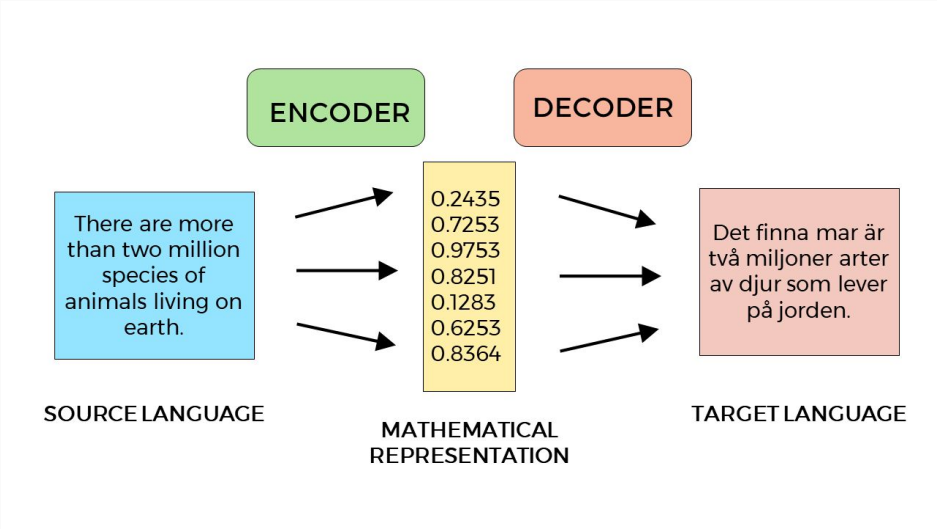


# Обучение с учителем

- Примеры задач обучения с учителем:

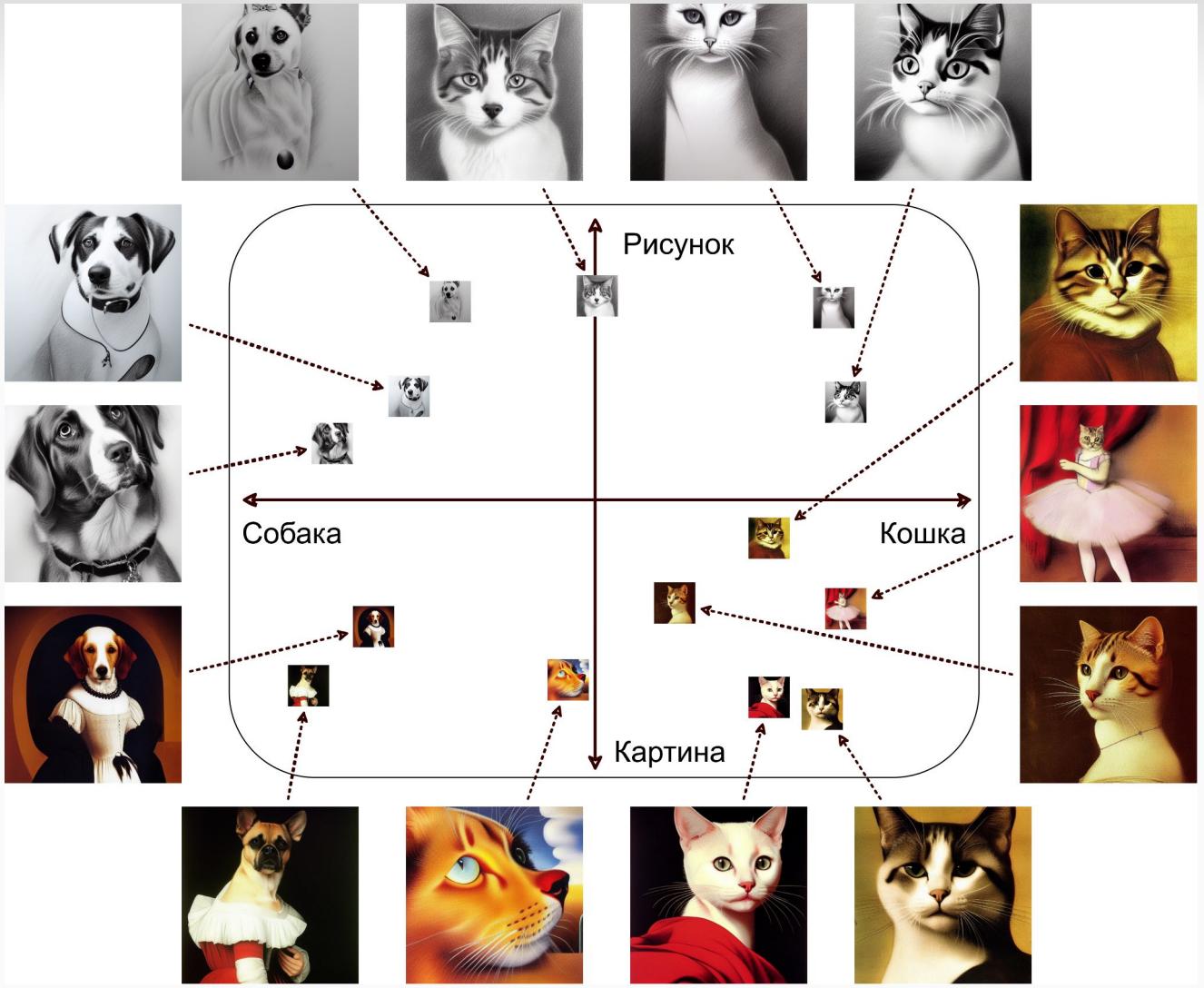


# Обучение без учителя

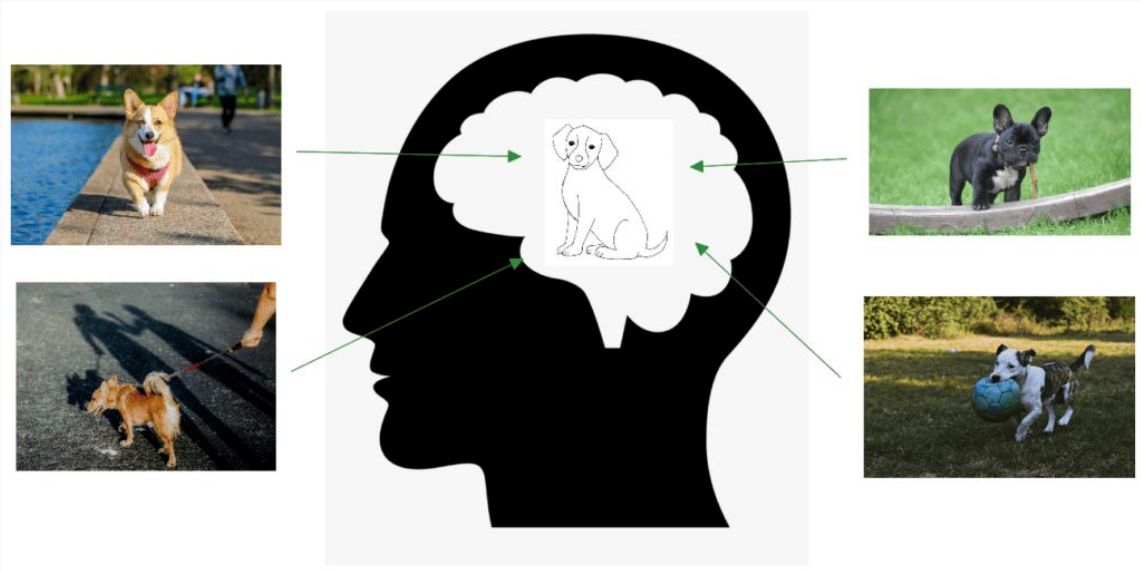
- **Обучение без учителя** (**unsupervised learning**): когда в данных есть только входы **x**, и задача в том, чтобы…
- А в чём задача, собственно?

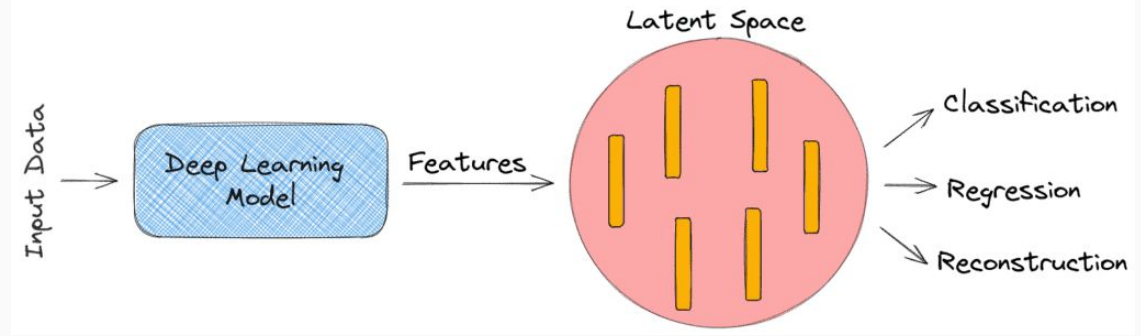


# Обучение без учителя

- Обычно — в **сокращении размерности**
- Самый радикальный пример — **кластеризация**

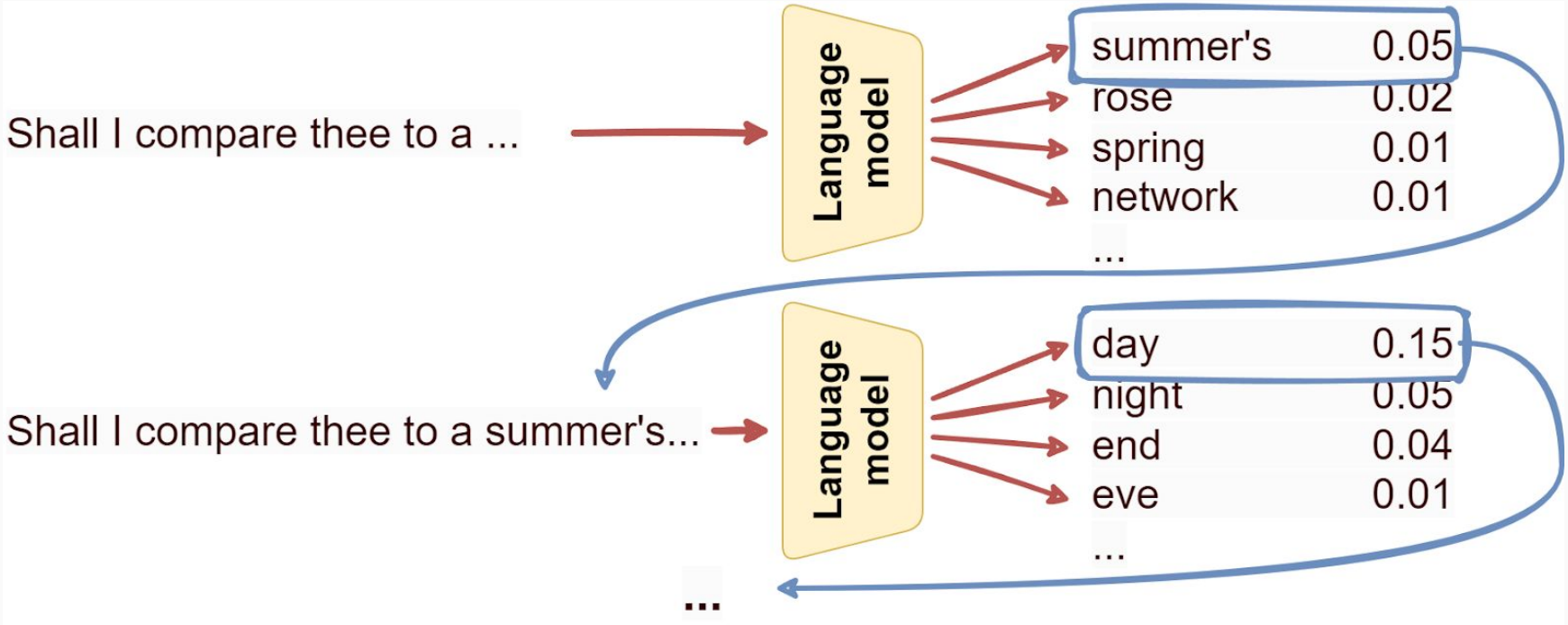




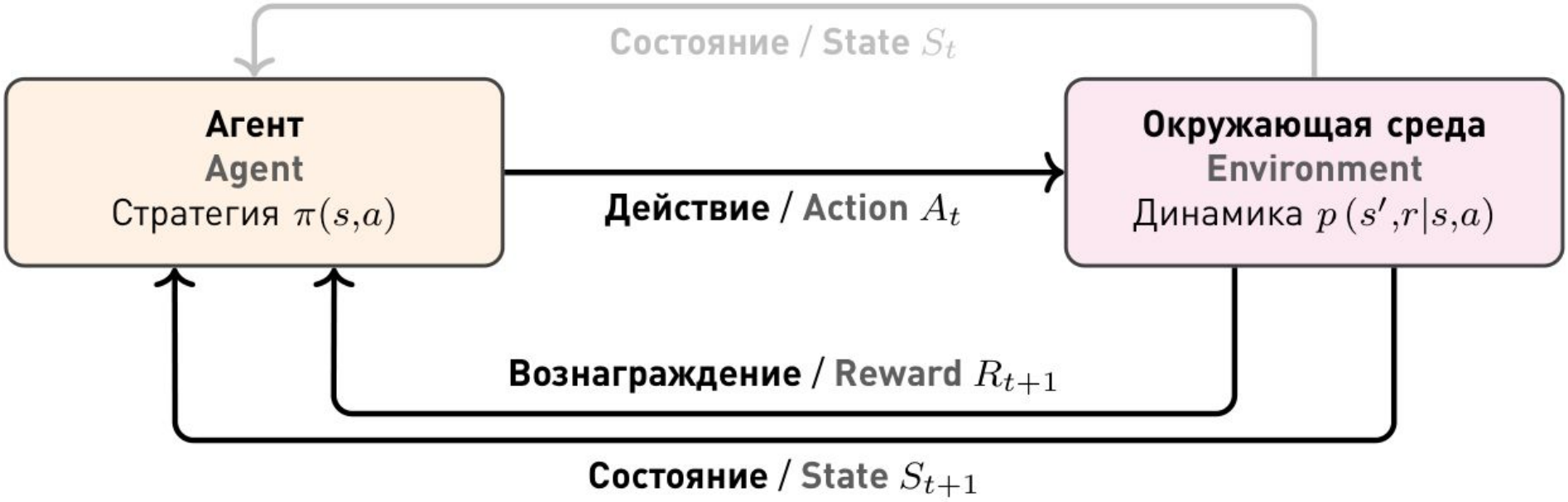
# Когда учитель появляется сам собой

- Важный подкласс обучения с учителем — **self-supervised learning**, когда выходы не нужно размечать
- Только так можно получить достаточно данных, чтобы обучать с учителем модели с миллиардами параметров
- Главный пример — **языковое моделирование** (**language modeling**)



# Обучение с подкреплением

- **Обучение с подкреплением** (**reinforcement learning**) – это раздел ML, в котором агент “живёт” в окружающей среде и собирает датасет для обучения по ходу дела
- Для этого нужно суметь реализовать окружающую среду, которая будет давать награду; например, результат партии в шахматы или корректность доказательства в математике



# Ранняя история искусственного интеллекта

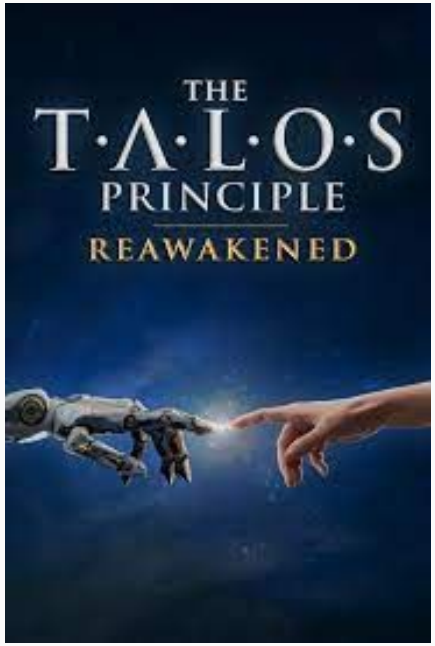


# Ранняя история

- Гефест создавал себе роботов-андроидов, например гигантского человекоподобного робота Талоса
- Любопытно, что считалось простым, а что сложным тогда







# Ранняя история

- В авраамических религиях Бог создал человека по своему образу и подобию из глины, смешанной с разнообразными жидкостями
- Первыми были, видимо, шумеры, у которых бог Мардук сотворил человека из глины, смешанной со слюной и кровью

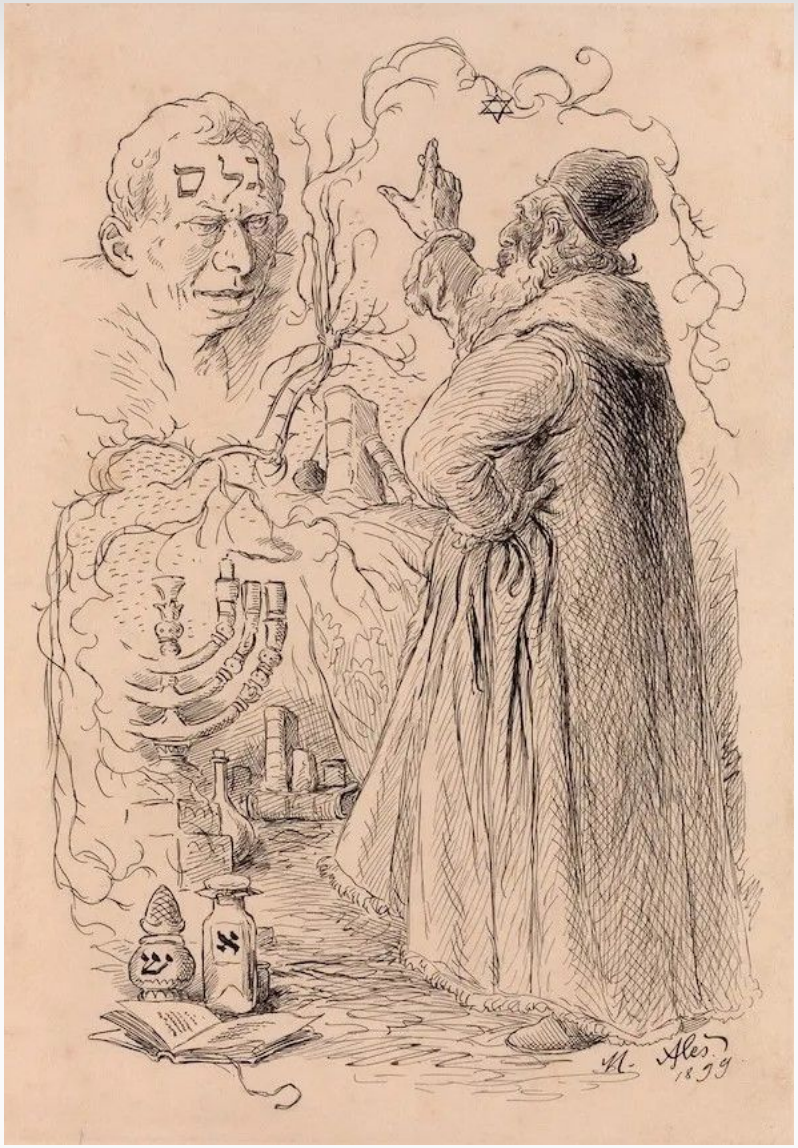




# Ранняя история

- В иудейской традиции особо мудрые раввины могли создавать и оживлять големов, искусственных людей
- Здесь тоже есть любопытная деталь

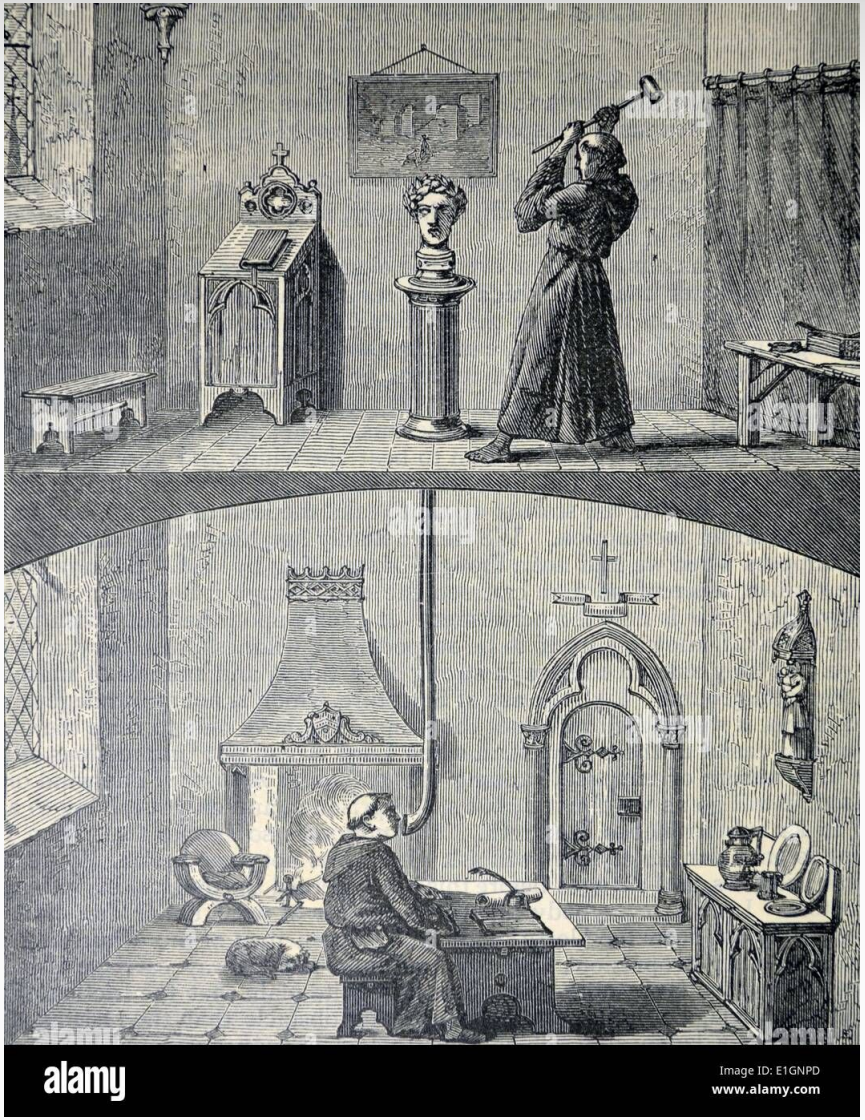




# Средние века

- Альберт Великий изготовил искусственную говорящую голову (чем очень расстроил Фому Аквинского)





# Средние века

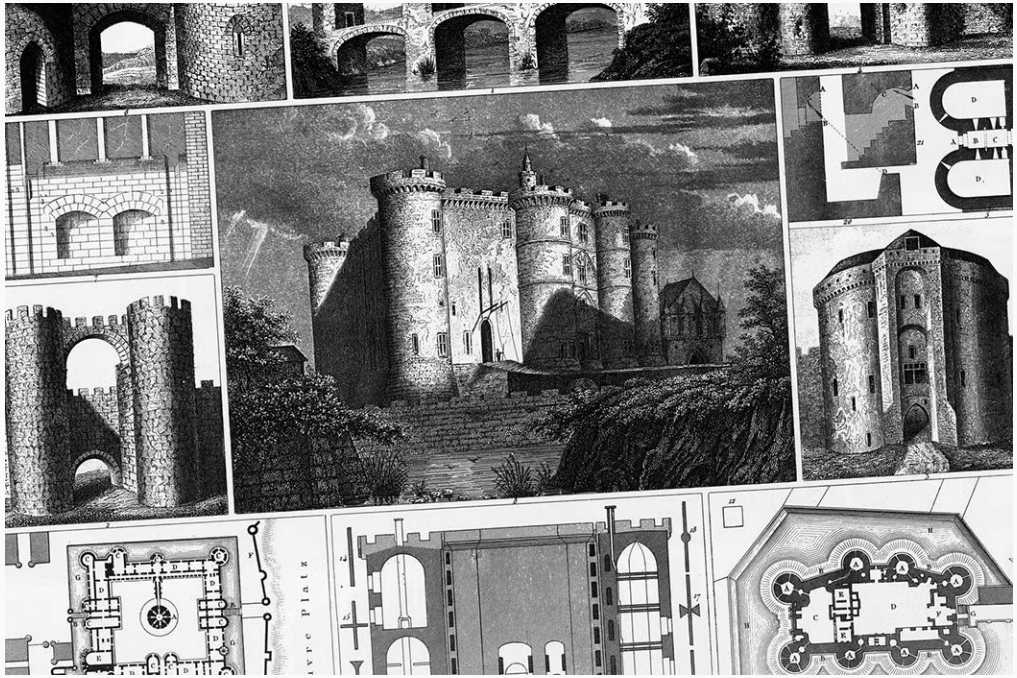
- Аль-Джазари (XII век) искусно создавал сложные автоматы, которые иногда имели форму животных и людей

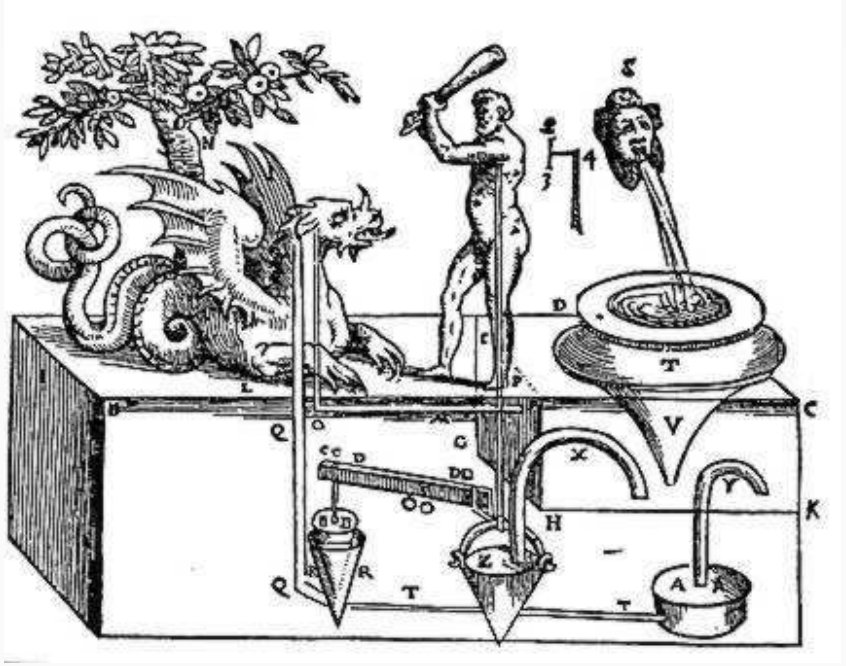




# Средние века

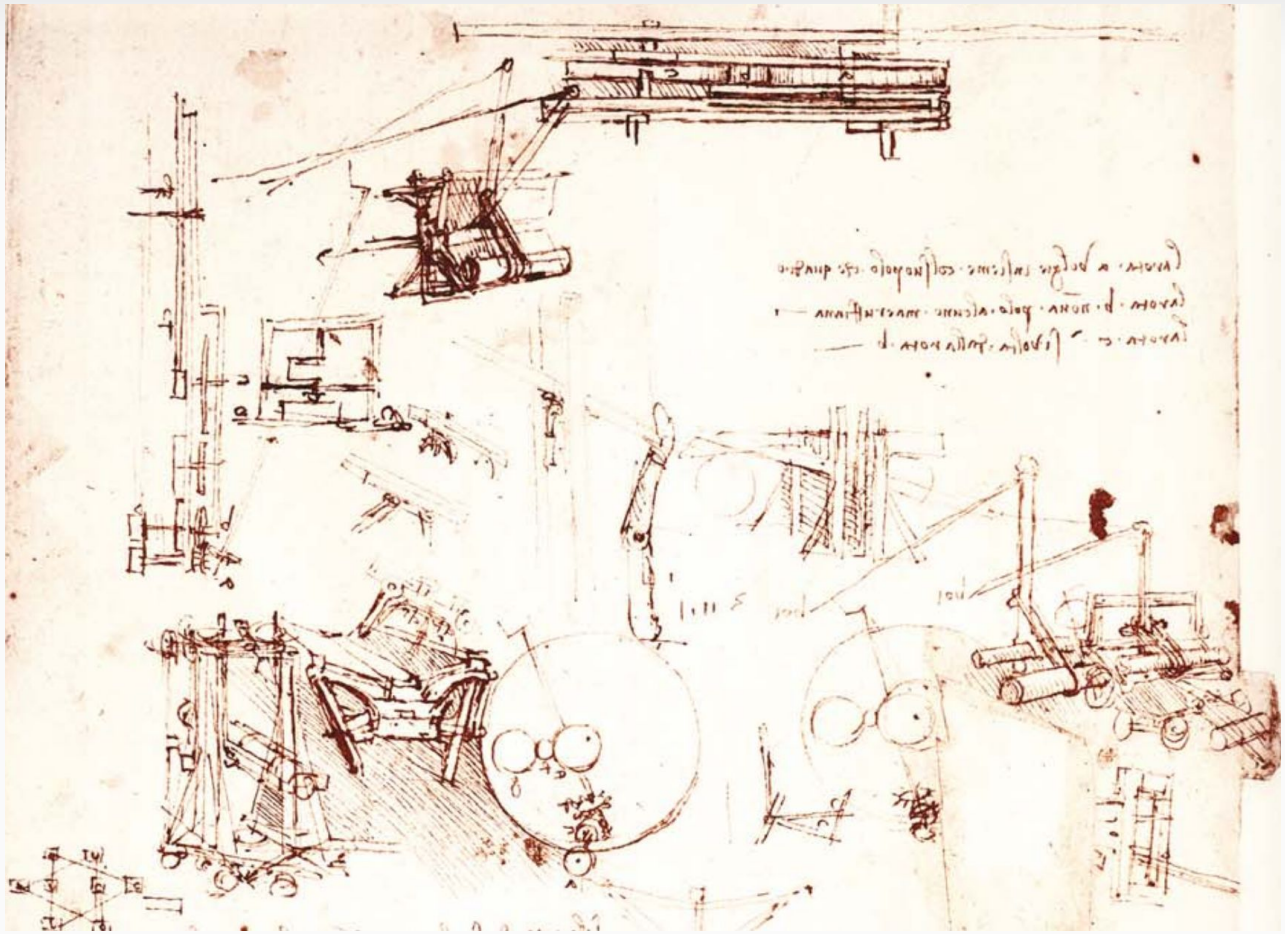
- В конце XIII века Роберт II д’Артуа привёз в свой замок Эден (Hesdin) итальянского рыцаря Рено Куанье, который создал сад с механическими диковинками





# Средние века

- Леонардо да Винчи придумал (но, видимо, так и не сделал) механического рыцаря, управляемого системой тросов



# Автоматоны Жаке-Дро

- Самые потрясающие автоматы такого рода — автоматоны Пьера Жаке-Дро (Jaquet Droz): “Музыкант Марианна”, “Рисовальщик Анри”, “Каллиграф Шарль”

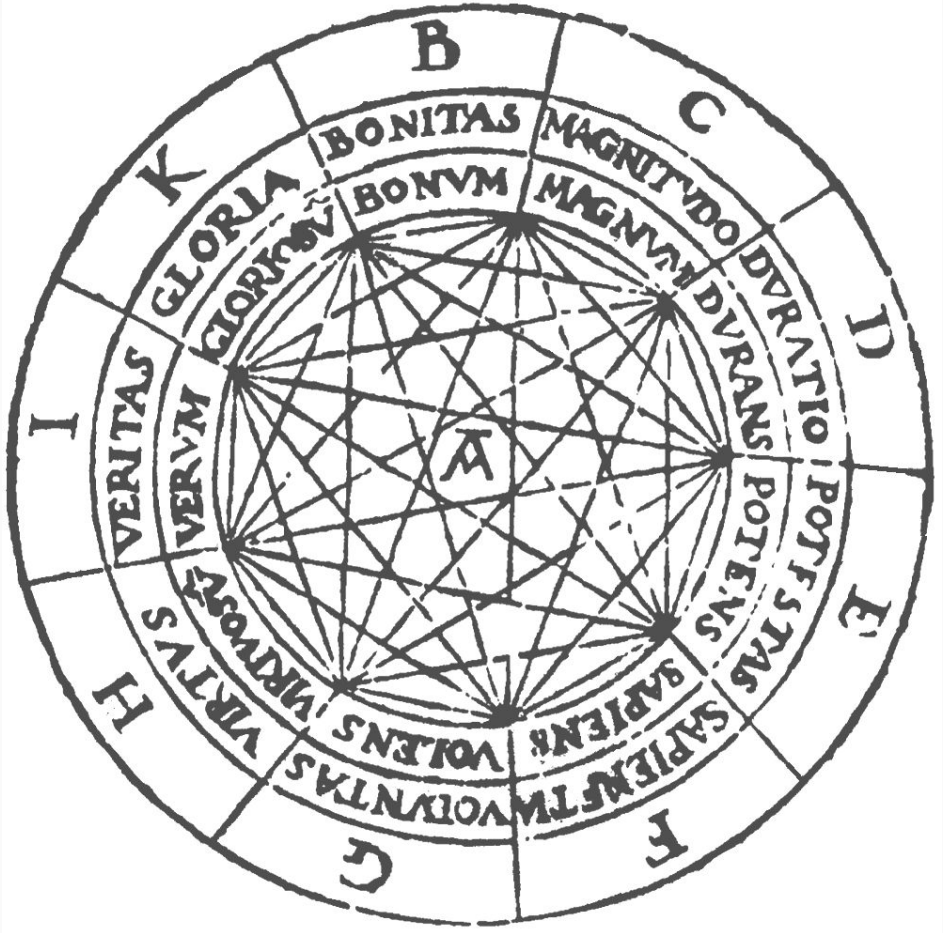




# А что же математика?

- Математика, конечно, отставала; вот логическая машина Раймунда Луллия, например



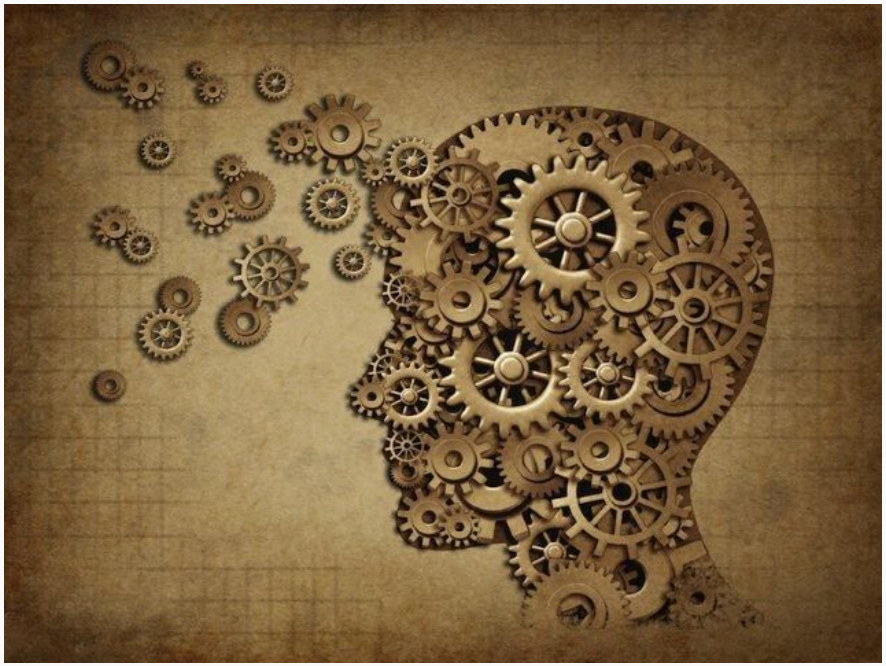


# Философия

- Мельница Лейбница — фактически китайская комната Джона Сёрла, но в XVII веке…

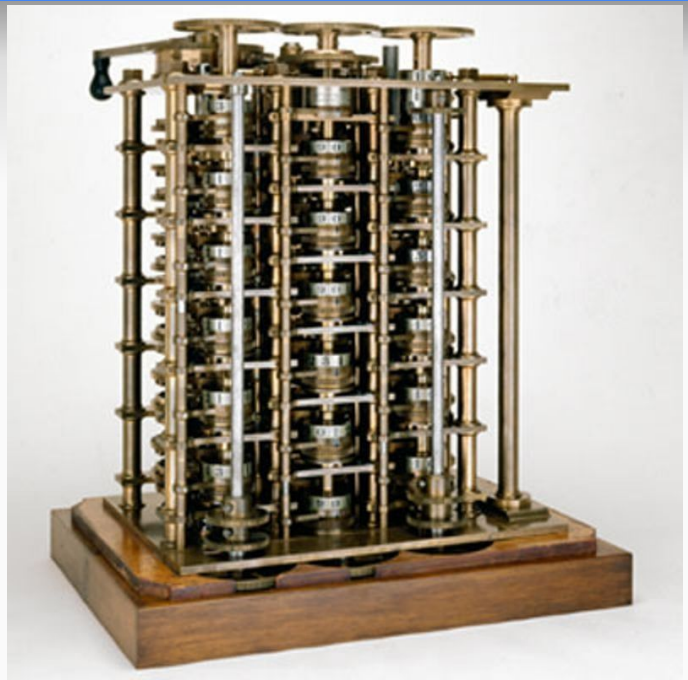


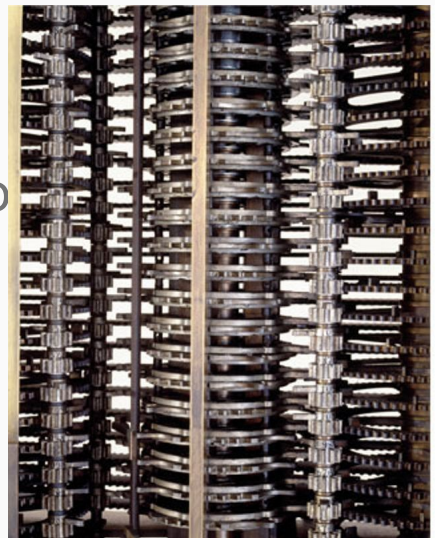




# Машины Чарльза Бэббиджа

- Чарльз Бэббидж придумал два типа машин
- **Difference Engines** — это калькуляторы на основе сложения, который мог вычислять таблицы полиномиальных функций и тому подобное; в 1832 он создал прототип части такой машины
- **Analytical Engine** — это уже программируемый компьютер, управляемый перфокартами; но построен был только маленький кусочек уже перед смертью Бэббиджа в 1871





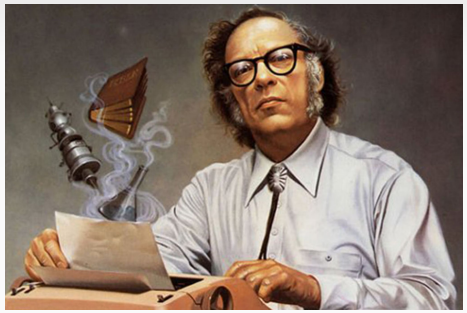


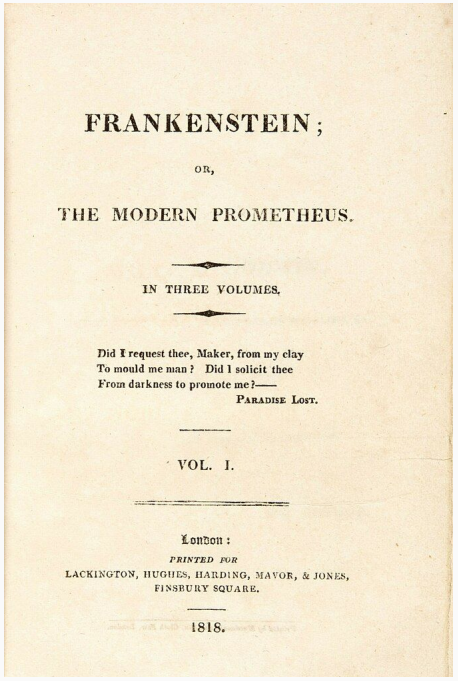
# Литература

- “Франкен-штейн, или Современный Прометей” Мэри Шелли, “R.U.R.” Карела Чапека, далее везде...
- Кстати, уже в этих произве-дениях возникает тема опасности AI



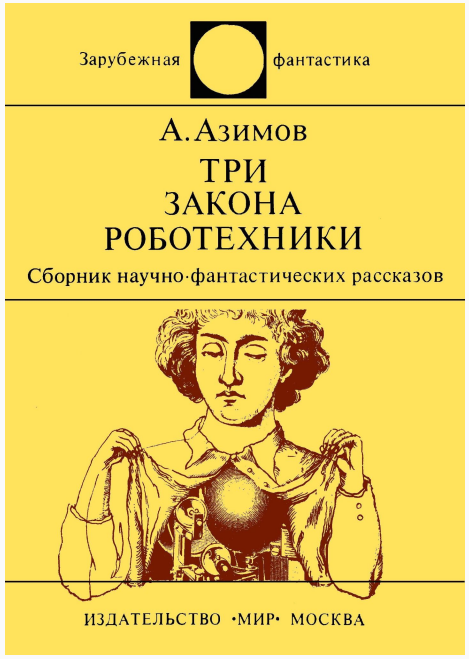










# Литература

- “Франкен-штейн, или Современный Прометей” Мэри Шелли, “R.U.R.” Карела Чапека, дале… в…
- Ко… эти… прои… дения, возник… тема опасности AI

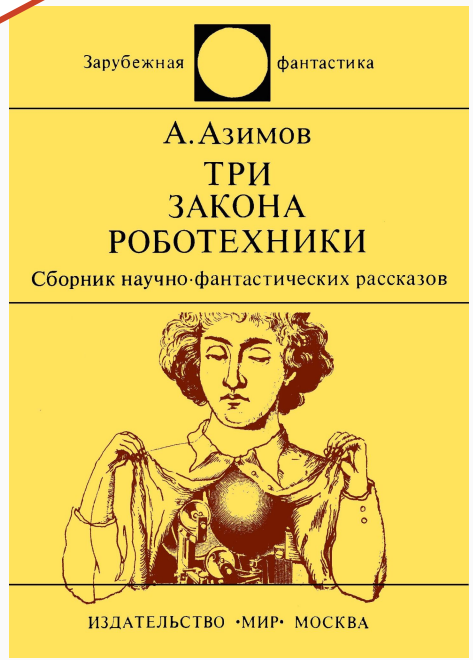
**Но хватит о далёкой истории и абстрактных идеях. Когда и как AI появился как наука?**









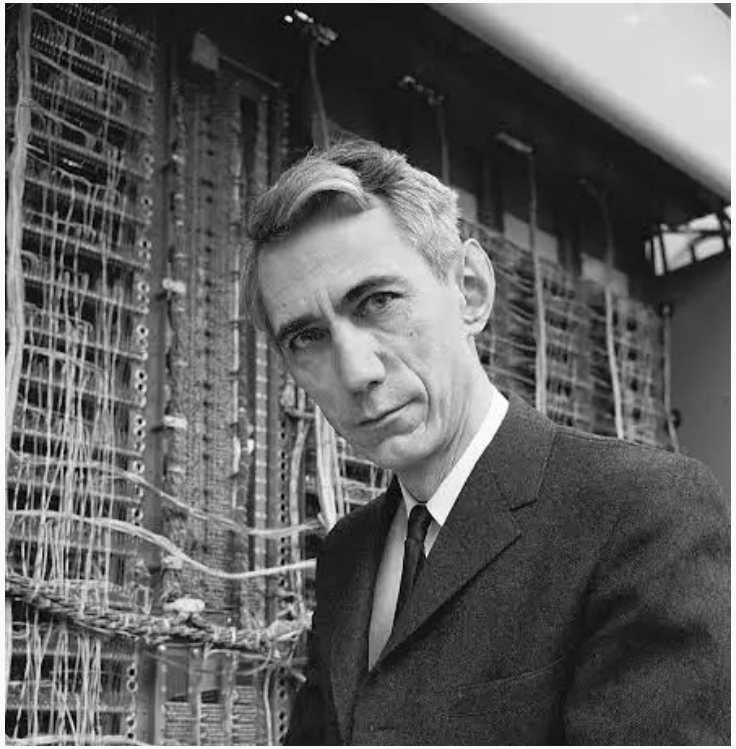


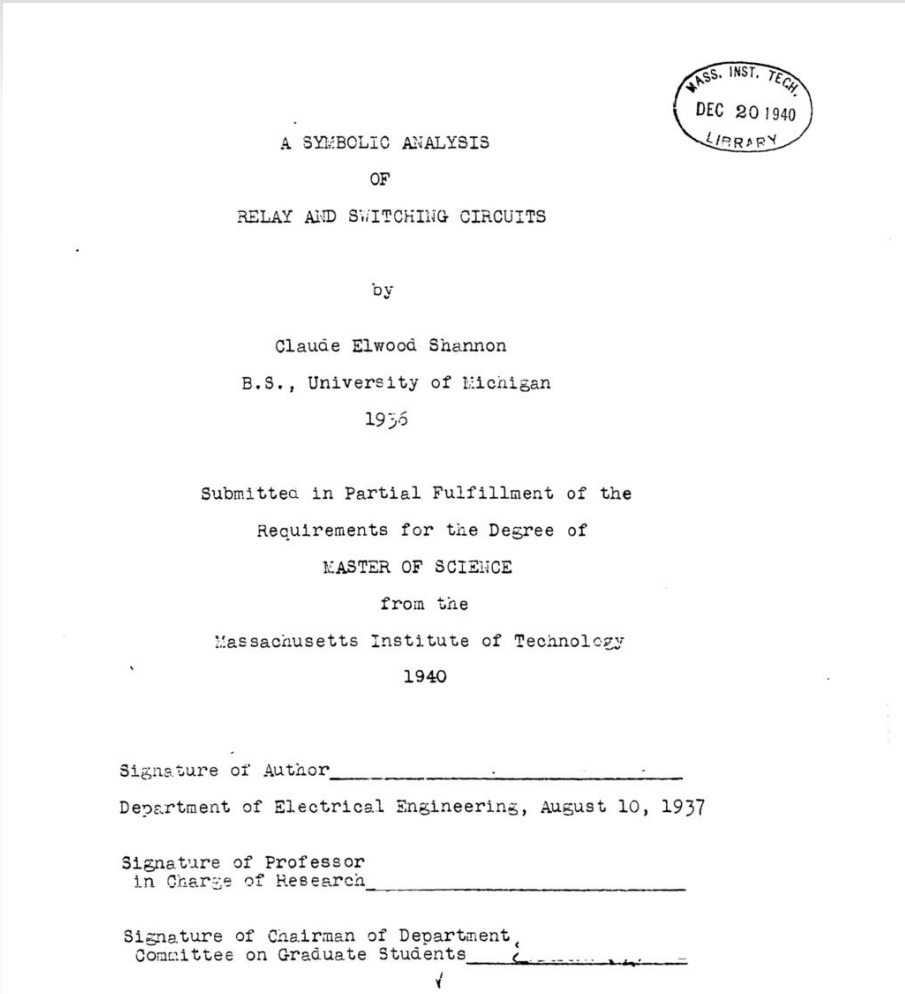
# Первые шаги AI как науки



# Первые шаги computer science

- Клод Шеннон: “A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits” (1936); пожалуй, лучшая магистерская диссертация в истории





MASS. INST. TECH. DEC 20 1940 LIBRARY

A SYMBOLIC ANALYSIS
OF
RELAY AND SWITCHING CIRCUITS

by

Claude Elwood Shannon
B.S., University of Michigan
1936

Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree of
MASTER OF SCIENCE
from the
Massachusetts Institute of Technology
1940

Signature of Author_____
Department of Electrical Engineering, August 10, 1937

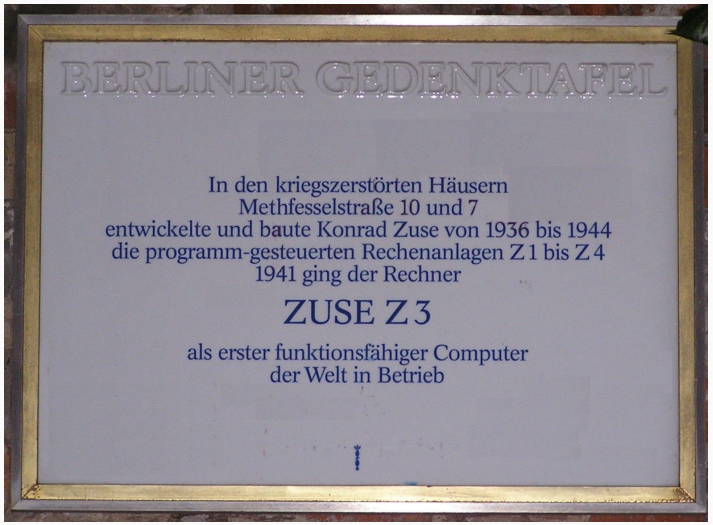
Signature of Professor
in Charge of Research_____

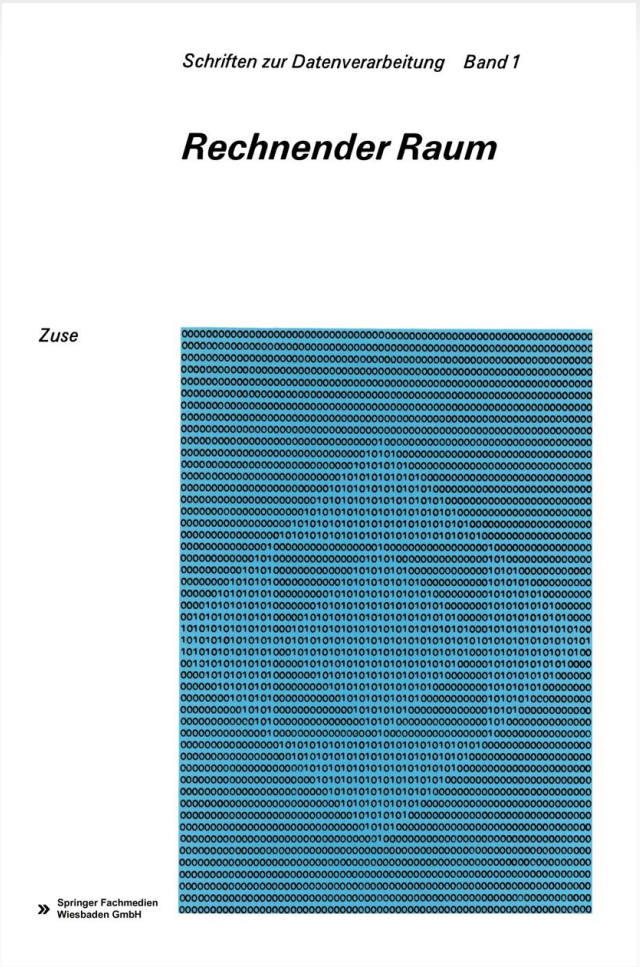
Signature of Chairman of Department
Committee on Graduate Students_____

# Первые шаги computer science

- Конрад Цузе: первый программируемый компьютер Z1 (1936), первый реально работавший компьютер Z3 (1941); все утеряны при бомбардировках Берлина
- Считал устройство Вселенной похожим на сеть компьютеров; Rechnender Raum — «Вычислительное пространство»

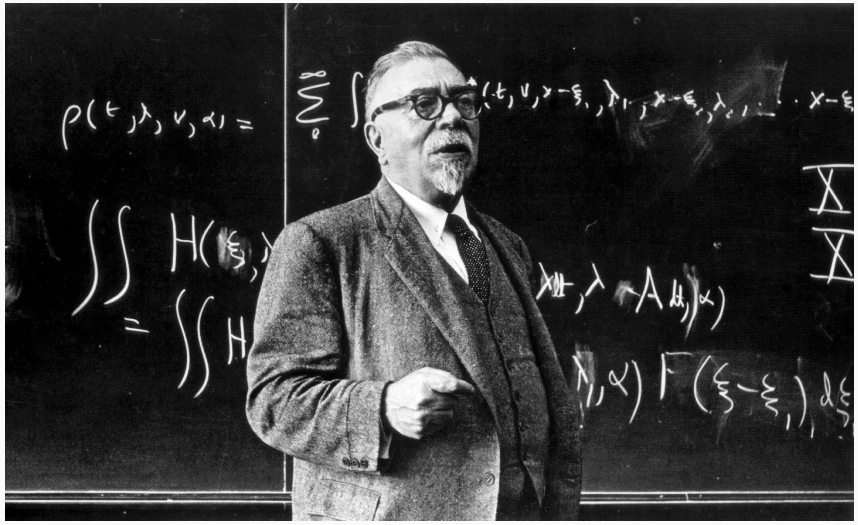


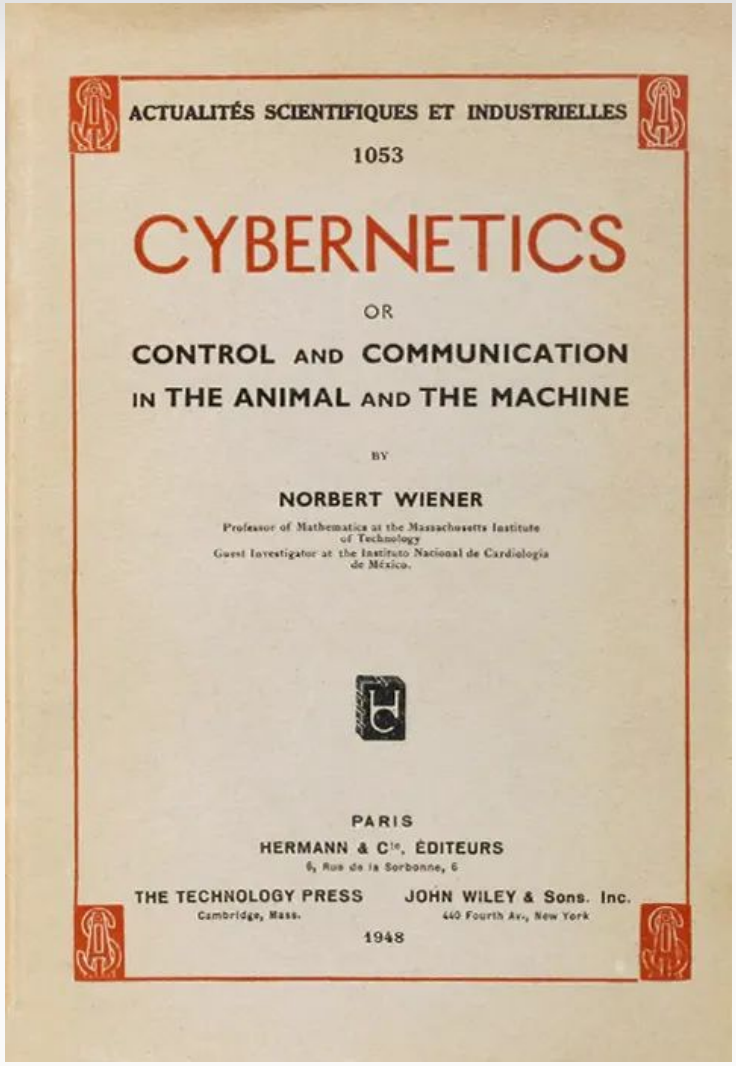


# Кибернетика Норберта Винера

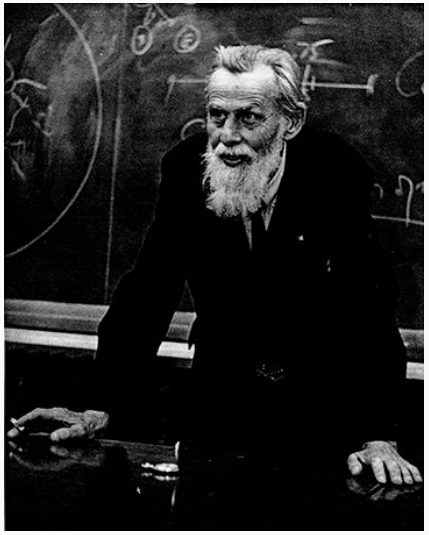
- Норберт Винер: среди прочего, основатель кибернетики
- Наука о саморегулирующихся организмах, и живых, и искусственных
- Заложил основы и искусственного интеллекта, и когнитивных наук, и аналоговых вычислений…

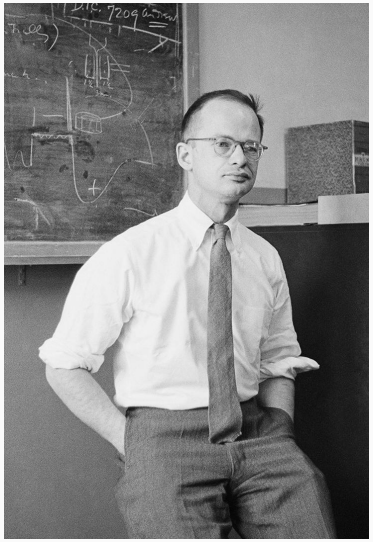


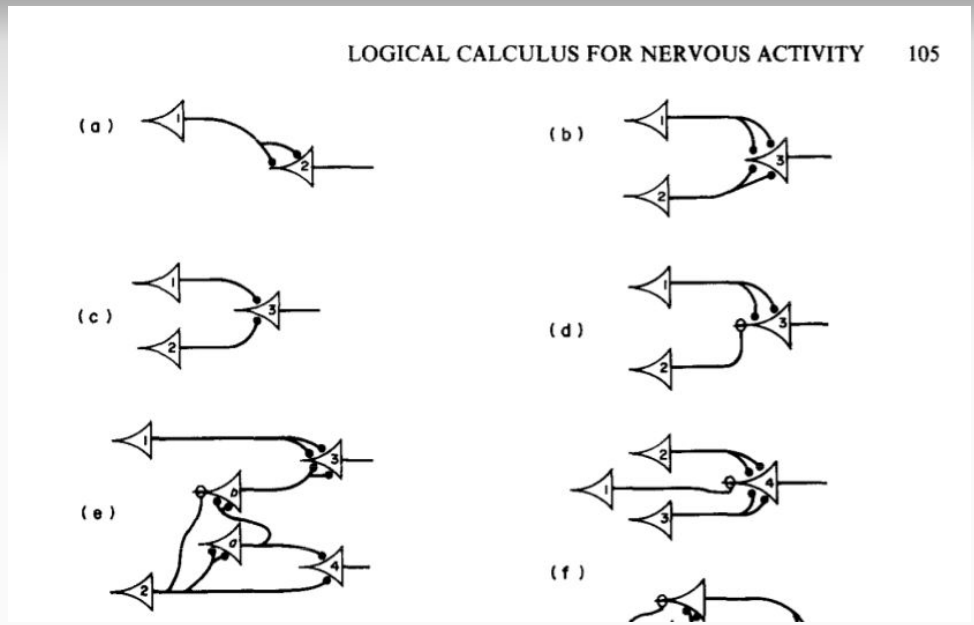


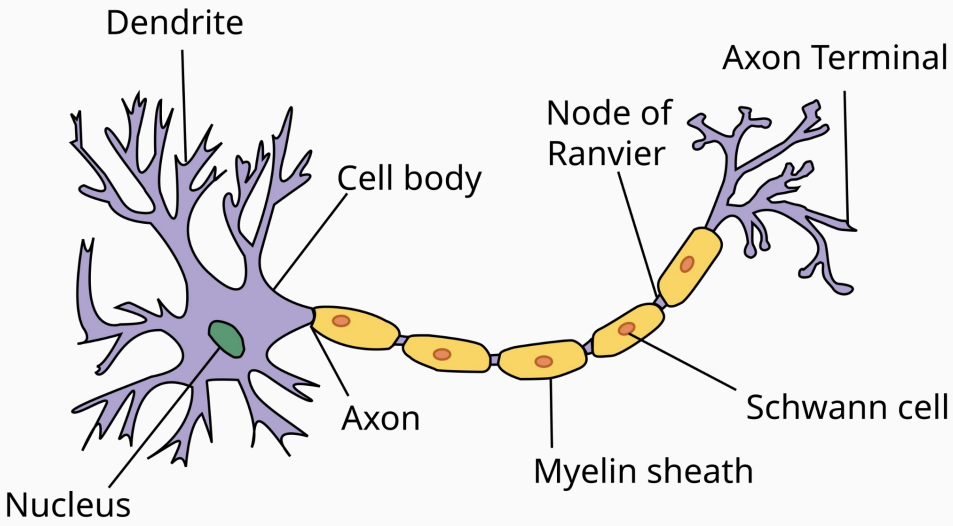
# Маккаллох и Питтс: модель нейрона

- McCulloch, Pitts (1943): первая математическая модель нейрона, очень похожая на современные (и на правду жизни)
- Работа со стороны математической логики, и это показательно



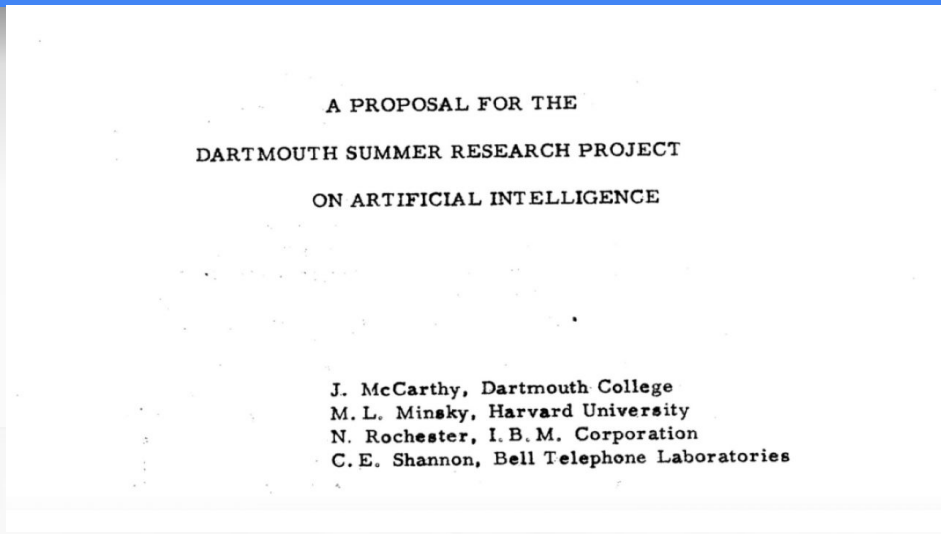




# Дартмутский семинар

- Дартмутский семинар (1956): самая амбициозная грантозаявка в истории информатики
- Джон Маккарти (John McCarthy), Марвин Мински (Marvin Minsky), Клод Шеннон (Claude Shennon), Натаниэль Рочестер (Nathaniel Rochester)



A PROPOSAL FOR THE

DARTMOUTH SUMMER RESEARCH PROJECT

ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

J. McCarthy, Dartmouth College
M. L. Minsky, Harvard University
N. Rochester, I. B. M. Corporation
C. E. Shannon, Bell Telephone Laboratories

A Proposal for the

DARTMOUTH SUMMER RESEARCH PROJECT ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

June 17 - Aug. 16

We propose that a 2 month, 10 man study of artificial intelligence be carried out during the summer of 1956 at Dartmouth College in Hanover, New Hampshire. The study is to proceed on the basis of the conjecture that every aspect of learning or any other feature of intelligence can in principle be so precisely described that a machine can be made to simulate it. An attempt will be made to find how to make machines use language, form abstractions and concepts, solve kinds of problems now reserved for humans, and improve themselves.

# Дартмутский семинар

- И эту заявку поддержали!
- Это был семинар, который заложил основы всего искусственного интеллекта как науки



DARTMOUTH COLLEGE
*Department of Mathematics & Astronomy*
HANOVER · NEW HAMPSHIRE

March,
1956

Mr. Ray Solomonoff
Technical Research Group
17 Union Square West
New York, New York

Dear Ray:

You are one of the people we should like to invite to the "Summer Research Project on Artificial Intelligence."

Terms: $1,200 - $900 of which will probably count as a fellowship and be tax free, plus traveling expenses.

Dates: June 18 to Aug. 17

Place: Hanover, N. H. (a cool place).

Can we count on you?

Best regards,

John

John McCarthy

JMcC:MA

J. McCarthy
M. Minsky
John Holland
R. Solomonoff
Julian Bigelow
} for all 2 months

Shannon
Rochester
Selfridge
McCulloch
Newell
Simon
McKay
} some of these for part of time.

# Перцептрон Розенблатта

- Первый перцептрон (Rosenblatt, 1958) распознавал цифры
- Это была первая реально работающая модель машинного обучения, действительно один искусственный нейрон с алгоритмом обучения на примерах

FIG. 1 — Organization of a biological brain. (Red areas indicate active cells, responding to the letter X.)

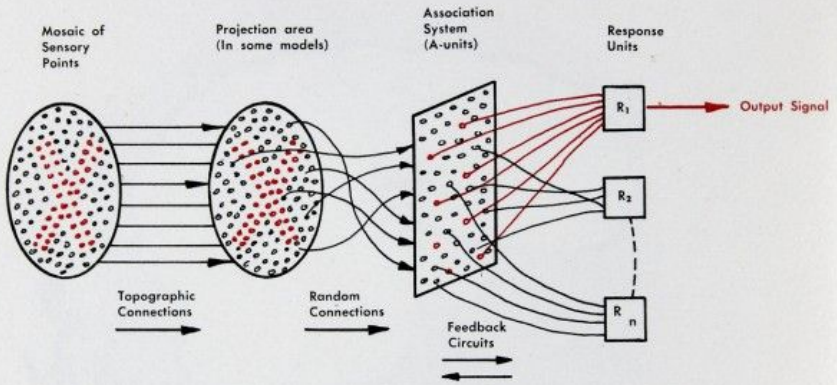
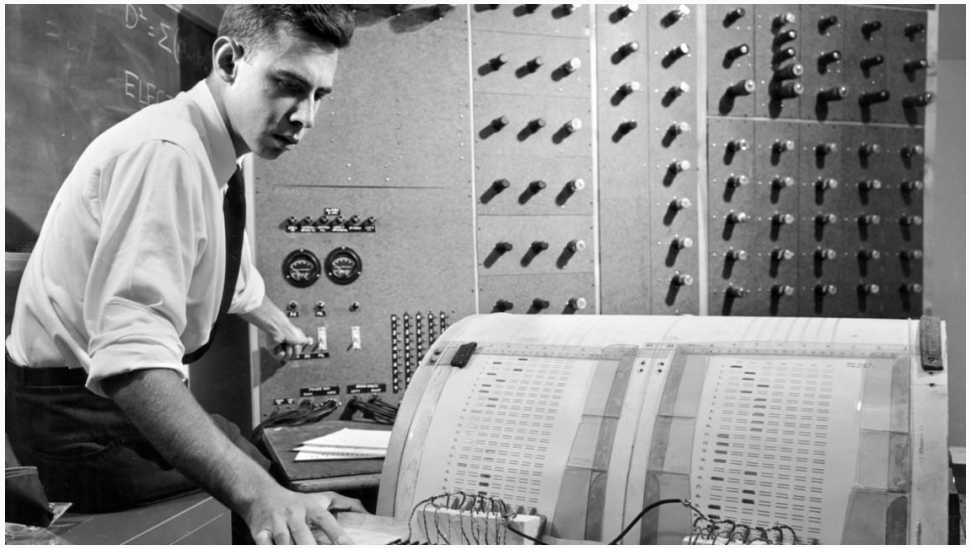
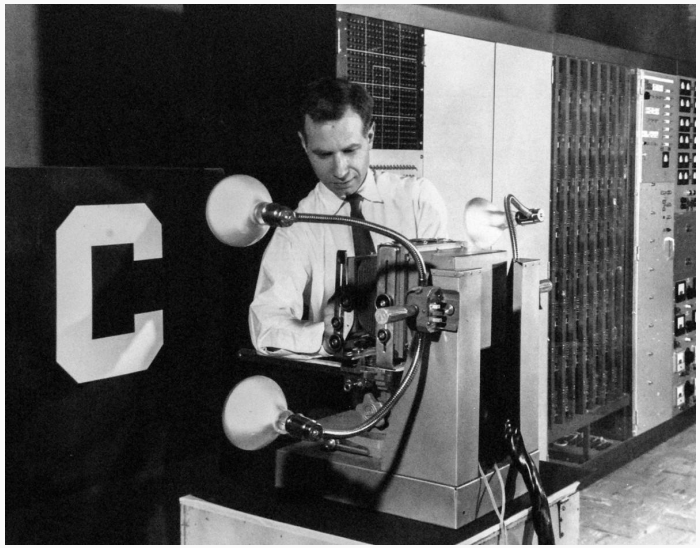


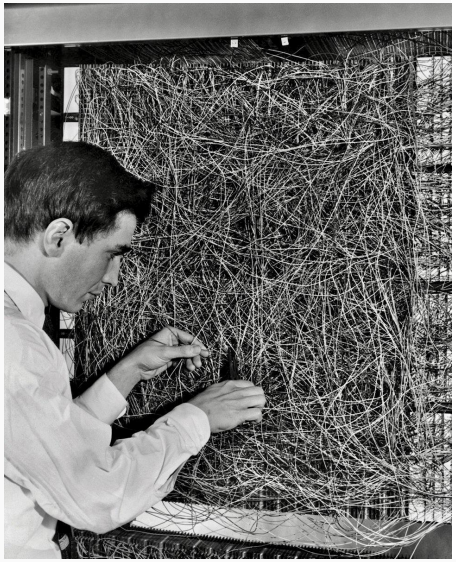

FIG. 2 — Organization of a perceptron.





# Перцептрон Розенблатта

- И люди в него очень даже верили!



## NEW NAVY DEVICE LEARNS BY DOING

**Psychologist Shows Embryo of Computer Designed to Read and Grow Wiser**

WASHINGTON, July 7 (UPI) —The Navy revealed the embryo of an electronic computer today that it expects will be able to walk, talk, see, write, reproduce itself and be conscious of its existence.

The embryo—the Weather Bureau's $2,000,000 "704" computer—learned to differentiate between right and left after fifty attempts in the Navy's demonstration for newsmen.

The service said it would use this principle to build the first of its Perceptron thinking machines that will be able to read and write. It is expected to be finished in about a year at a cost of $100,000.

Dr. Frank Rosenblatt, designer of the Perceptron, conducted the demonstration. He said the machine would be the first device to think as the human brain. As do human beings, Perceptron will make mistakes at first, but will grow wiser as it gains experience, he said.

Dr. Rosenblatt, a research psychologist at the Cornell Aeronautical Laboratory, Buffalo, said Perceptrons might be fired to the planets as mechanical space explorers.

**Without Human Controls**

The Navy said the perceptron would be the first non-living mechanism "capable of receiving, recognizing and identifying its surroundings without any human training or control."

The "brain" is designed to remember images and information it has perceived itself. Ordinary computers remember only what is fed into them on punch cards or magnetic tape.

Later Perceptrons will be able to recognize people and call out their names and instantly translate speech in one language to speech or writing in another language, it was predicted.

Mr. Rosenblatt said in principle it would be possible to build brains that could reproduce themselves on an assembly line and which would be conscious of their existence.

## 1958 New York Times...

In today's demonstration, the "704" was fed two cards, one with squares marked on the left side and the other with squares on the right side.

**Learns by Doing**

In the first fifty trials, the machine made no distinction between them. It then started registering a "Q" for the left squares and "O" for the right squares.

Dr. Rosenblatt said he could explain why the machine learned only in highly technical terms. But he said the computer had undergone a "self-induced change in the wiring diagram."

The first Perceptron will have about 1,000 electronic "association cells" receiving electrical impulses from an eye-like scanning device with 400 photo-cells. The human brain has 10,000,000,000 responsive cells, including 100,000,000 connections with the eyes.

# Чрезмерные ожидания

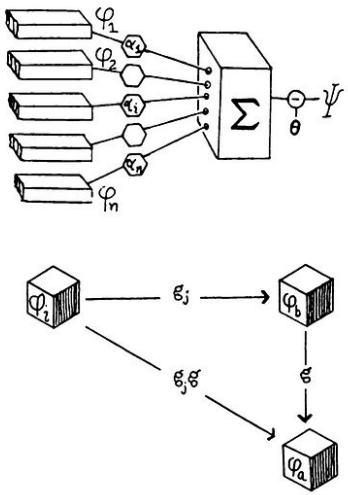
- После таких статей неудивительно, что люди ждали, что скоро будет AI-революция в обычной жизни
- Но её, как мы знаем, в 1960-е годы не случилось…
- Тогда по-настоящему решить сложные проблемы искусственного интеллекта было невозможно; но люди этого, конечно, не могли знать заранее

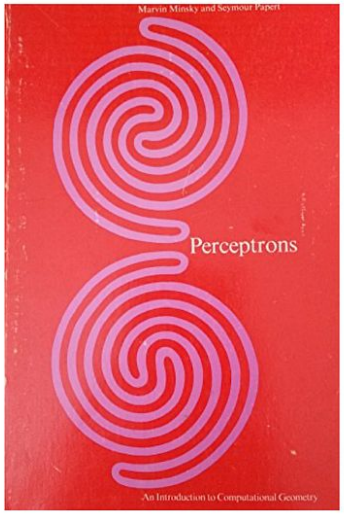


# Проблемы перцептронов

- Например, один перцептрон — это линейный классификатор, он может только гиперплоскость провести
- Люди это поняли и почему-то разочаровались… хотя вроде бы уже было ясно, что можно строить композиции перцептронов
- Но всё же это было одной из причин зимы искусственного интеллекта
- Minsky, Papert (1969): *Perceptrons*
- Вторая причина была ещё интереснее, но о ней чуть позже…








M. Minsky



S. Papert

# Алан Тьюринг: больше чем тест



# Алан Тьюринг



- Основатель теоретической информатики
- **1936**: работа, вводящая машины Тьюринга — универсальной машины; в самой работе это ещё применялось к неразрешимости Entscheidungsproblem: нет алгоритма, который может за конечное время решить, доказуемо ли утверждение

ON COMPUTABLE NUMBERS, WITH AN APPLICATION TO THE ENTSCHEIDUNGSPROBLEM

*By* A. M. Turing.

[Received 28 May, 1936.—Read 12 November, 1936.]

The "computable" numbers may be described briefly as the real numbers whose expressions as a decimal are calculable by finite means. Although the subject of this paper is ostensibly the computable *numbers*, it is almost equally easy to define and investigate computable functions of an integral variable or a real or computable variable, computable predicates, and so forth. The fundamental problems involved are, however, the same in each case, and I have chosen the computable numbers for explicit treatment as involving the least cumbrous technique. I hope shortly to give an account of the relations of the computable numbers, functions, and so forth to one another. This will include a development of the theory of functions of a real variable expressed in terms of computable numbers. According to my definition, a number is computable if its decimal can be written down by a machine.

# Алан Тьюринг



- Основатель теоретической информатики
- **1938**: кстати, через два года Тьюринг пошёл дальше и рассмотрел машины с оракулом, которые могут выйти за рамки вычислимости; это очень важная конструкция в сложности и логике сейчас

SYSTEMS OF LOGIC BASED ON ORDINALS†

*By* A. M. Turing.

[Received 31 May, 1938.—Read 16 June, 1938.]


Introduction ... 161
1. The conversion calculus. Gödel representations ... 162
2. Effective calculability. Abbreviation of treatment ... 166
3. Number-theoretic theorems ... 168
4. A type of problem which is not number-theoretic ... 172
5. Syntactical theorems as number-theoretic theorems ... 174
6. Logic formulae ... 174
7. Ordinals ... 178
8. Ordinal logics ... 189
9. Completeness questions ... 198
10. The continuum hypothesis. A digression ... 213
11. The purpose of ordinal logics ... 214
12. Gentzen type ordinal logics ... 217
Index of definitions ... 225
Bibliography ... 228

# Алан Тьюринг

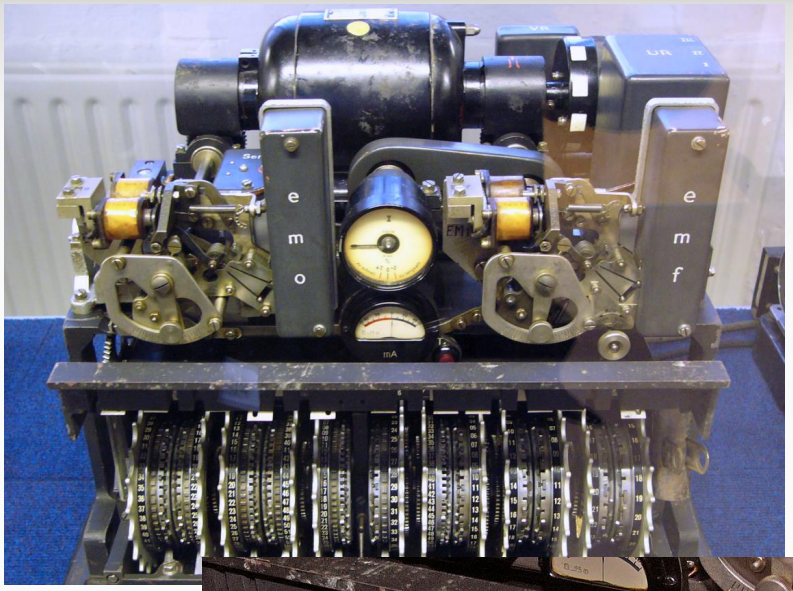
- Все знают, что Тьюринг разгадал секрет Enigma
- **1940**: Тьюринг вместе с Гордоном Велчманом создал The Bombe, машину для декодирования Enigma



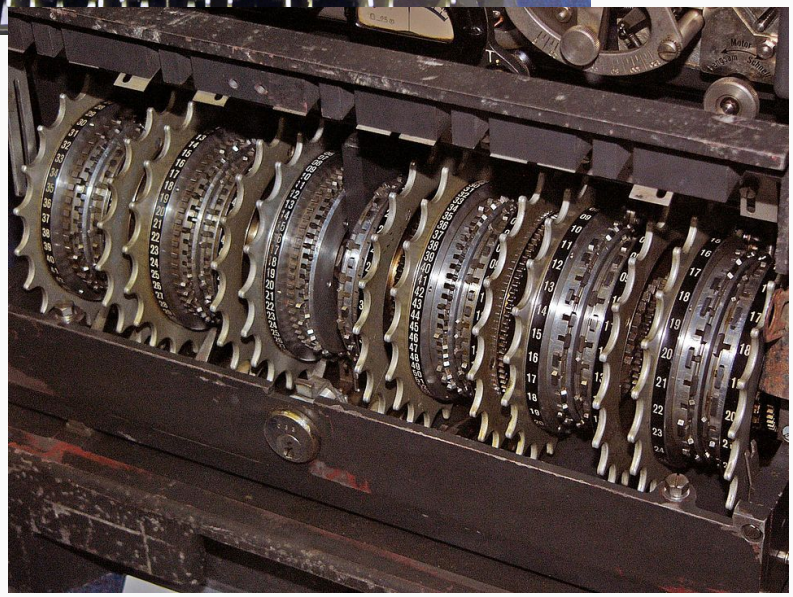


# Алан Тьюринг

- Но в Блетчли-парке он сделал не только это
- **1942**: Тьюринг разработал “Turingery”, метод взлома шифров, который применялся для машин Lorenz

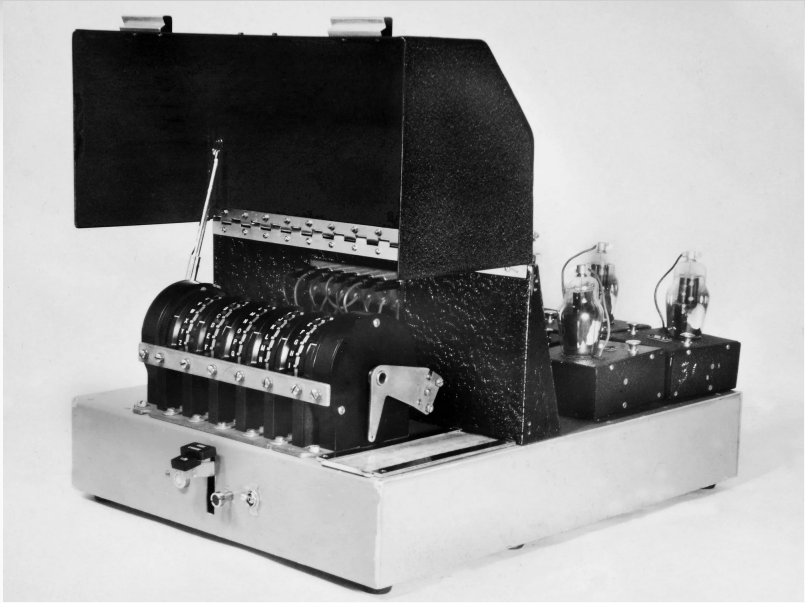




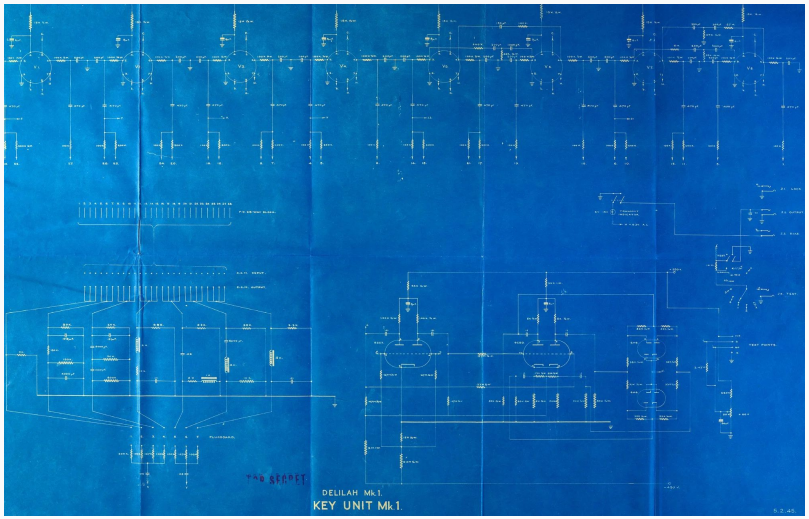


# Алан Тьюринг

- Но в Блетчли-парке он сделал не только это
- **1944-1945**: машина Delilah для кодирования человеческого голоса; в ней были, в частности, генераторы псевдослучайных чисел

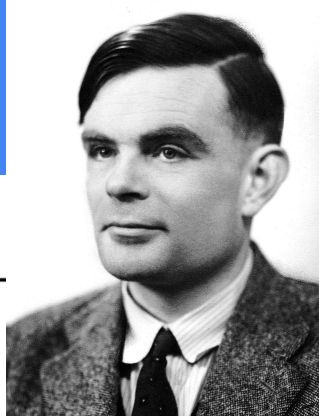






# Алан Тьюринг

- Основатель искусственного интеллекта
- **1948**: Intelligent Machinery
- Тьюринг вводит unorganized machines: A-типа (фиксированная сеть) и B-типа (с управляемыми “синапсами”, т.е. изменяемыми связями)
- Он прямо обсуждает обучение через поощрение/наказание и генетический поиск конфигураций
- Это ранняя, но очень ясная форма коннекционизма



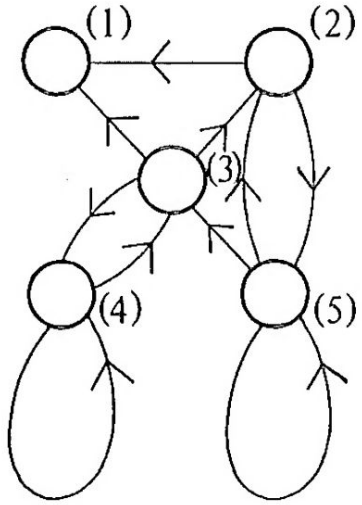
## Intelligent Machinery

A. M. Turing
[1912—1954]

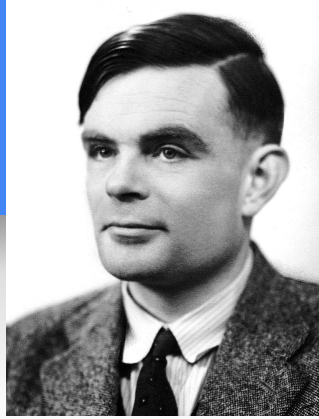
**Abstract**

The possible ways in which machinery might be made to show intelligent behaviour are discussed. The analogy with the human brain is used as a guiding principle. It is pointed out that the potentialities of the human intelligence can only be realized if suitable education is provided. The investigation mainly centres round an analogous teaching process applied to machines. The idea of an unorganized machine is defined, and it is suggested that the infant human cortex is of this nature. Simple examples of such machines are given, and their education by means of rewards and punishments is discussed. In one case the education process is carried through until the organization is similar to that of an ACE.

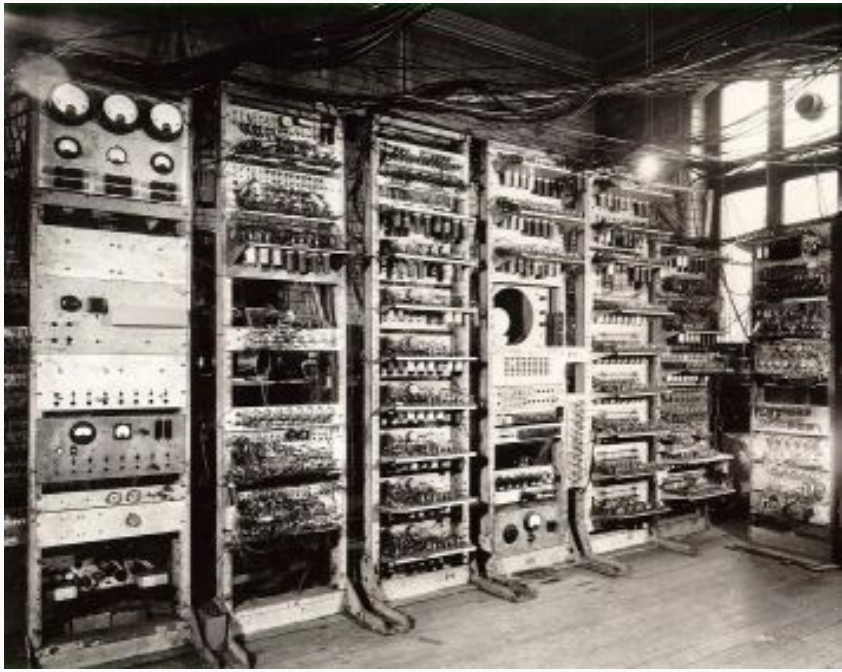
| r | i(r) | j(r) |
|---|---|---|
| 1 | 3 | 2 |
| 2 | 3 | 5 |
| 3 | 4 | 5 |
| 4 | 3 | 4 |
| 5 | 2 | 5 |



# Алан Тьюринг



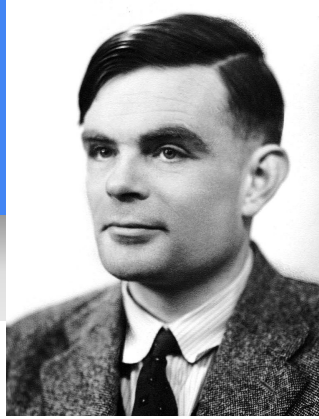
- Основатель искусственного интеллекта
- **1948**: Turochamp
- Тьюринг придумал алгоритм для игры в шахматы; программировать его было не на чем, но Тьюринг его честно эмулировал на бумаге; несколько недель они играли партию с Аликом Гленни (автором компилятора для компьютеров Manchester Mark 1)



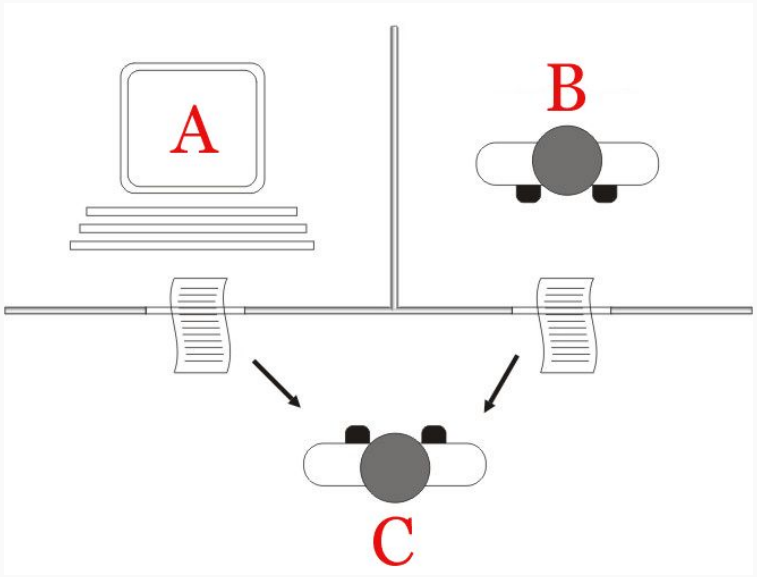
```
[Event "Paper machine - Human"]
[Site "Manchester, UK"]
[Date "1952"]
[Round "?"]
[White "Turochamp"]
[Black "Alick Glennie"]
[Result "0-1"]

1.e4 e5 2.Nc3 Nf6 3.d4 Bb4 4.Nf3 d6 5.Bd2 Nc6 6.d5 Nd4 7.h4 Bg4 8.a4 Nxf3+
9.gxf3 Bh5 10.Bb5+ c6 11.dxc6 0-0 12.cxb7 Rb8 13.Ba6 Qa5 14.Qe2 Nd7 15.Rg1 Nc5
16.Rg5 Bg6 17.Bb5 Nxb7 18.0-0-0 Nc5 19.Bc6 Rfc8 20.Bd5 Bxc3 21.Bxc3 Qxa4 22.Kd2
Ne6 23.Rg4 Nd4 24.Qd3 Nb5 25.Bb3 Qa6 26.Bc4 Bh5 27.Rg3 Qa4 28.Bxb5 Qxb5 29.Qxd6
Rd8 0-1
```

# Алан Тьюринг



- Основатель искусственного интеллекта
- **1950**: Computing Machinery and Intelligence
- В этой работе как раз сразу же вводится тест Тьюринга через “игру в имитацию”




MIND

A QUARTERLY REVIEW

OF

PSYCHOLOGY AND PHILOSOPHY

## I.—COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE

By A. M. Turing

1. *The Imitation Game.*

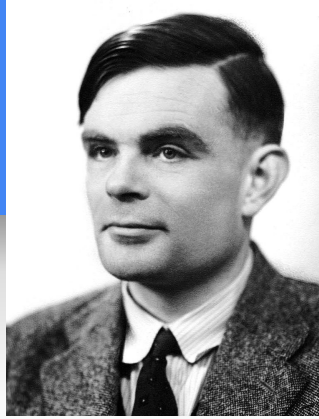
I propose to consider the question, ‘Can machines think?’ This should begin with definitions of the meaning of the terms ‘machine’ and ‘think’. The definitions might be framed so as to reflect so far as possible the normal use of the words, but this attitude is dangerous. If the meaning of the words ‘machine’

# Алан Тьюринг

- **1950**: Computing Machinery and Intelligence
- Кстати, в исходной формулировке теста Тьюринга была интересная деталь, которая сейчас обычно теряется
- Почему тест Тьюринга — это нечестная игра?
- Можно ли это исправить?



# Алан Тьюринг



- **1950**: Computing Machinery and Intelligence
- Изначально тест был такой:

The new form of the problem can be described in terms of a game which we call the 'imitation game'. It is played with three people, a man (A), a woman (B), and an interrogator (C) who may be of either sex. The interrogator stays in a room apart from the other two. The object of the game for the interrogator is to determine which of the other two is the man and which is the woman. He knows them by labels X and Y, and at the end of the game he says either 'X is A and Y is B' or 'X is B and Y is A'. The interrogator is allowed to put questions to A and B thus:

C: Will X please tell me the length of his or her hair?

# Алан Тьюринг

- **1950**: Computing Machinery and Intelligence
- А ещё в этой работе Тьюринг рассматривает возражения против своего основного тезиса: того, что машины могут мыслить
- Теологическое, логическое (теоремы Гёделя), аргумент от самосознания (Тьюринг признаёт, что это непонятно что такое, но пишет, что тайну самосознания не обязательно решать, чтобы ответить утвердительно на его вопрос)
- Ещё два возражения звучат чертовски современно…



# Алан Тьюринг

- **1950**: Computing Machinery and Intelligence
- Это мы с вами постоянно слышим и сегодня, причём в наше время (в отличие от 1950!) такие утверждения опровергаются порой в считанные месяцы...

(5) *Arguments from Various Disabilities*. These arguments take the form, "I grant you that you can make machines do all the things you have mentioned but you will never be able to make one to do X". Numerous features X are suggested in this connexion. I offer a selection:

Be kind, resourceful, beautiful, friendly (p. 448), have initiative, have a sense of humour, tell right from wrong, make mistakes (p. 448), fall in love, enjoy strawberries and cream (p. 448), make some one fall in love with it, learn from experience (pp. 456 f.), use words properly, be the subject of its own thought (p. 449), have as much diversity of behaviour as a man, do something really new (p. 450). (Some of these disabilities are given special consideration as indicated by the page numbers.)

No support is usually offered for these statements. I believe they are mostly founded on the principle of scientific induction.

# Алан Тьюринг

- **1950**: Computing Machinery and Intelligence
- Ну а это просто без коммен-тариев...

(2) *The 'Heads in the Sand' Objection.* "The consequences of machines thinking would be too dreadful. Let us hope and believe that they cannot do so."

This argument is seldom expressed quite so openly as in the form above. But it affects most of us who think about it at all. We like to believe that Man is in some subtle way superior to the rest of creation. It is best if he can be shown to be *necessarily* superior, for then there is no danger of him losing his commanding position. The popularity of the theological argument is clearly connected with this feeling. It is likely to be quite strong in intellectual people, since they value the power of thinking more highly than others, and are more inclined to base their belief in the superiority of Man on this power.

I do not think that this argument is sufficiently substantial to require refutation. Consolation would be more appropriate: perhaps this should be sought in the transmigration of souls.

ИТМО



@SINECOR

# Спасибо за внимание!

