

# Архітектура комп'ютера

Архітектура комп'ютера - це опис загальних принципів побудови комп'ютера, а також принципів функціонування, взаємодії і керування роботою його структурних елементів (функціональних вузлів) та програмного забезпечення.



# Рівні подання комп'ютера

- **Цифровий логічний рівень** – рівень логічних схем базової системи елементів.
- **Мікроархітектурний рівень** – рівень організації опрацювання даних всередині функціонального вузла.
- **Командний рівень** – набір функціональних вузлів та зв'язки між ними, система команд та даних, що передаються між пристроями.
- **Рівень операційної системи** – структурна організація ОС та управління функціональними вузлами.

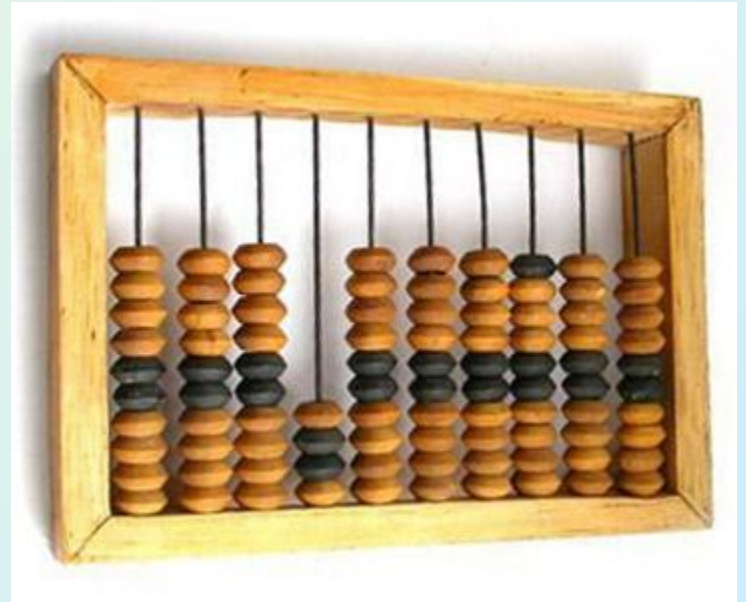
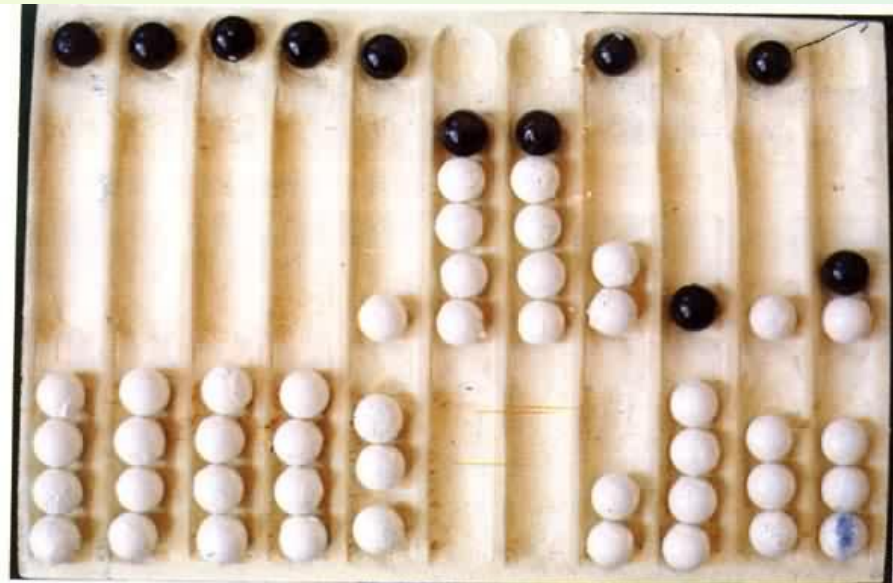
# Розвиток комп'ютерної архітектури

- Нульове покоління – механічні (до н.е. – 1642 – 1945)
- Перше покоління – електронні лампи (1945 – 1955)
- Друге покоління (транзистори) (1955 – 1965)
- Третє покоління – інтегральні схеми (1965 – 1980)
- Четверте покоління – надвеликі інтегральні схеми (1980 – 20..)

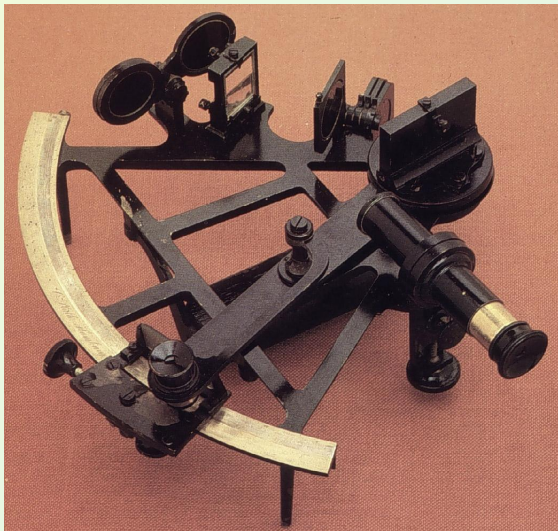
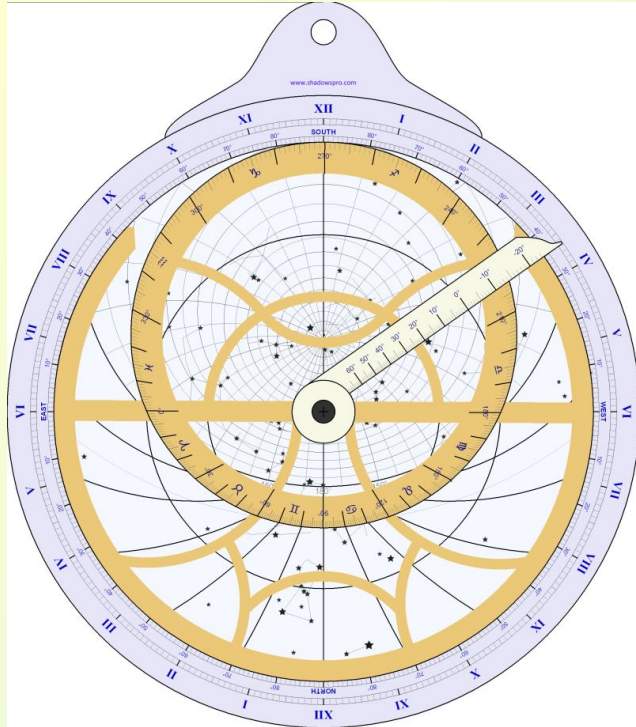
# Механічні комп'ютери



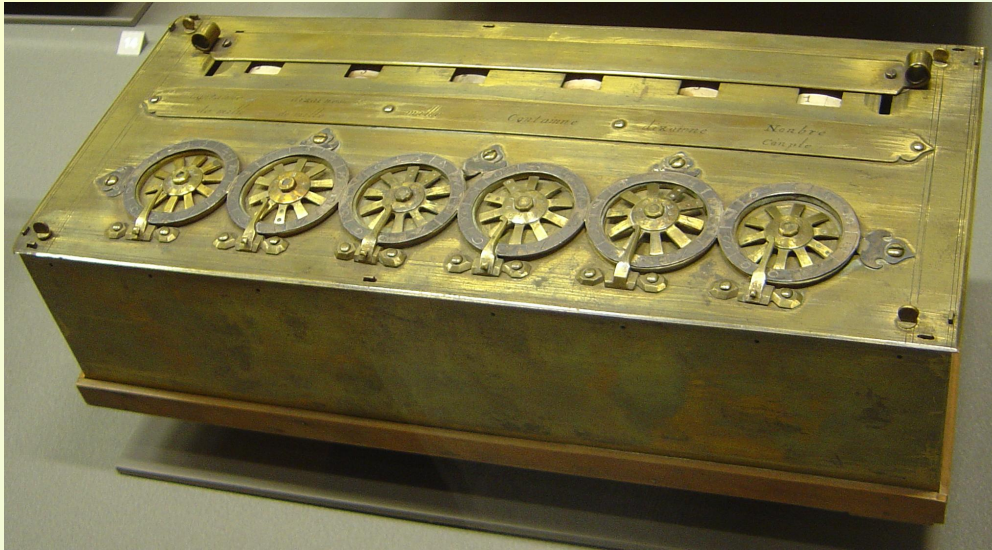
China HIGHLIGHTS  
www.chinahighlights.com



# Механічні комп'ютери



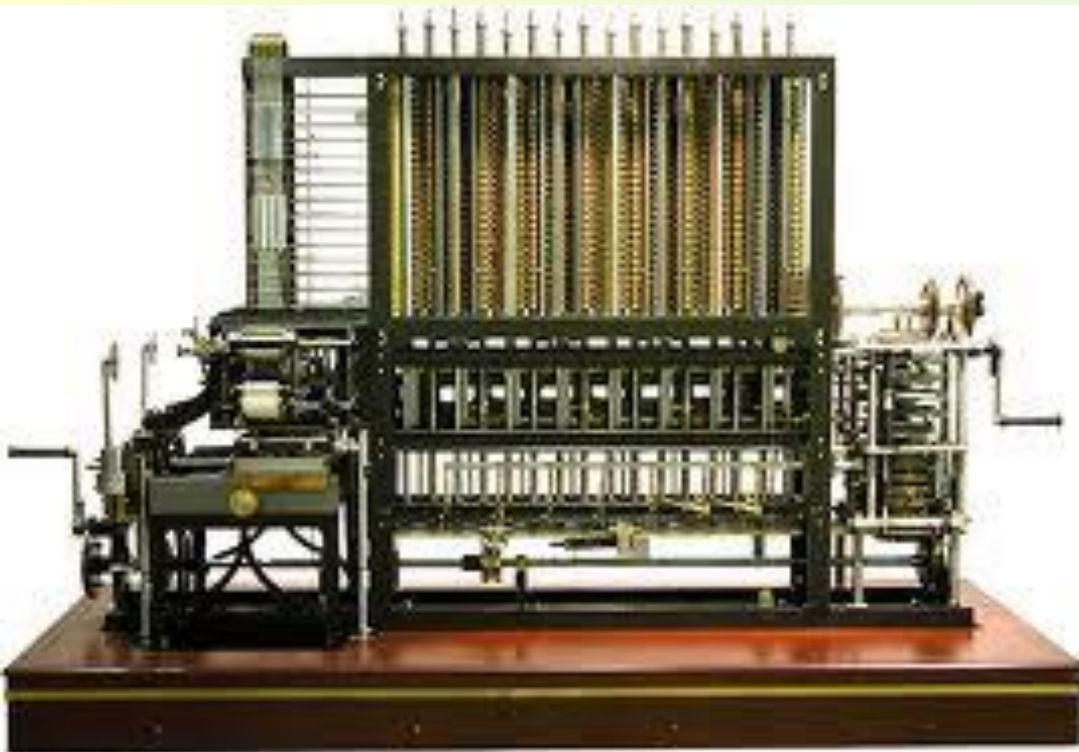
# Механічні комп'ютери



Паскаліна – механічний калькулятор для виконання операцій додавання та віднімання

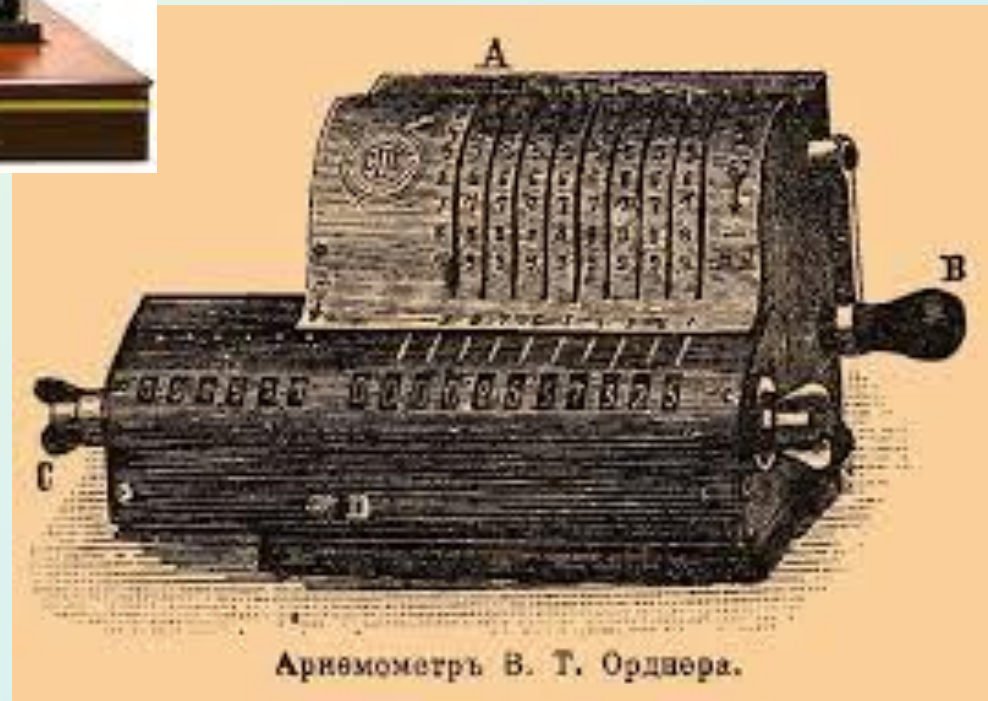
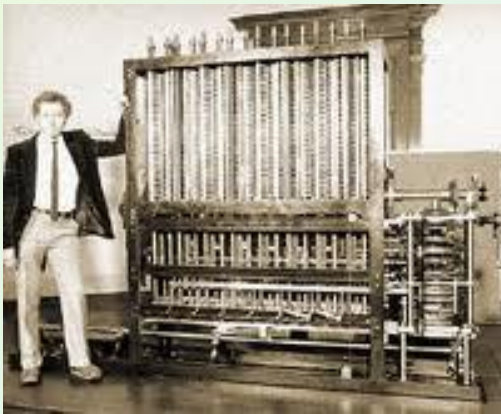


# Механічні комп'ютери



Арифмометр Орднера

Машина Бебіджа



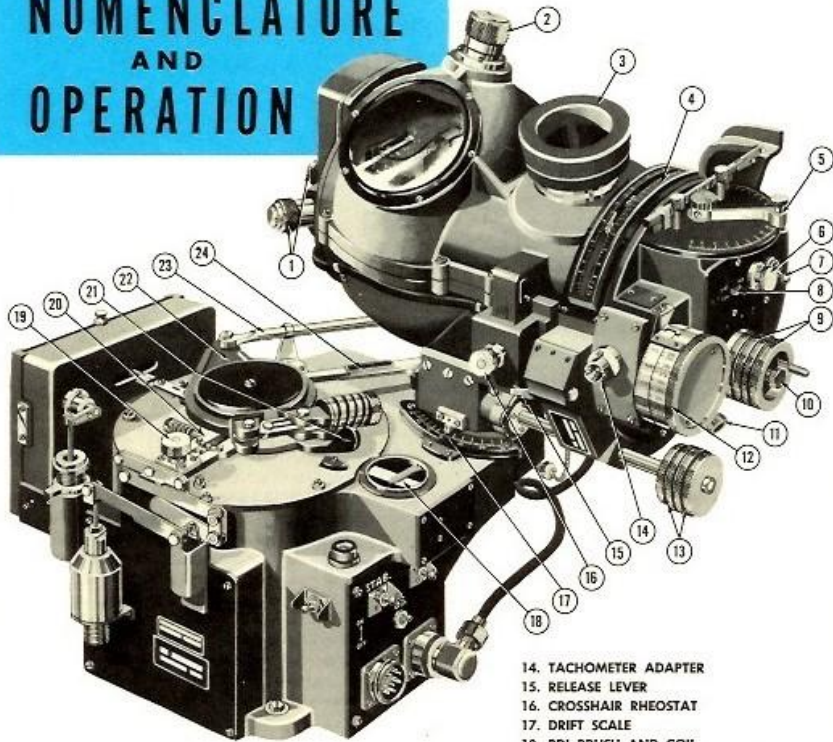
Арифмометръ В. Т. Орднера.

# Механічні комп'ютери

RESTRICTED

MARCH, 1945 BIF 6-1-1

## NOMENCLATURE AND OPERATION

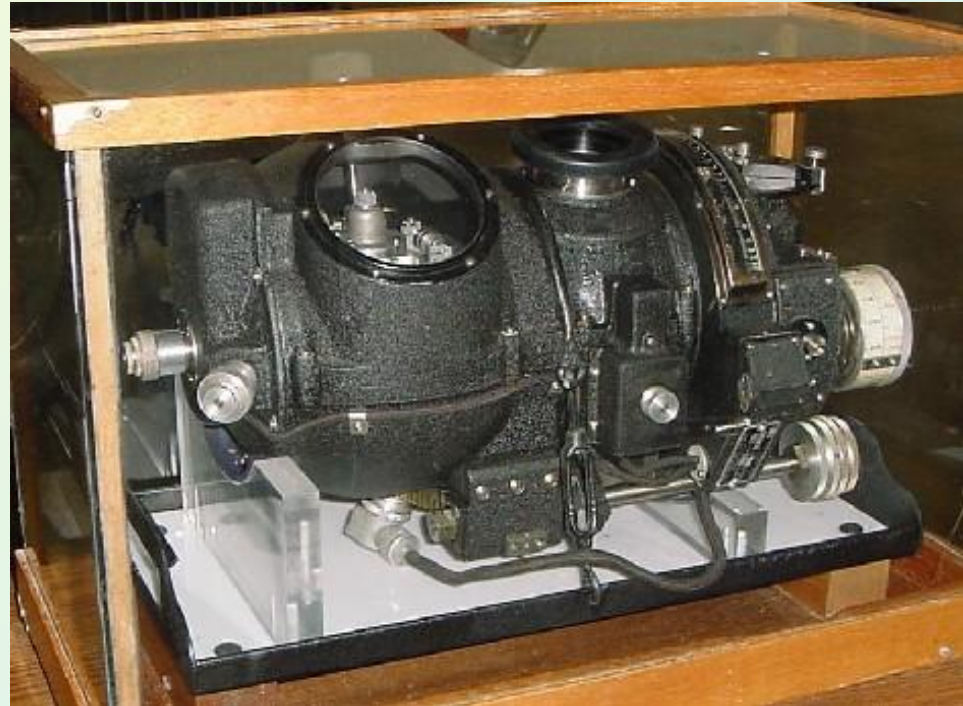


1. LEVELING KNOBS
2. CAGING KNOB
3. EYEPiece
4. INDEX WINDOW
5. TRAIL ARM AND TRAIL PLATE
6. EXTENDED VISION KNOB
7. RATE MOTOR SWITCH
8. DISC SPEED GEAR SHIFT
9. RATE AND DISPLACEMENT KNOBS
10. MIRROR DRIVE CLUTCH
11. SEARCH KNOB
12. DISC SPEED DRUM
13. TURN AND DRIFT KNOBS

14. TACHOMETER ADAPTER
15. RELEASE LEVER
16. CROSSHAIR RHEOSTAT
17. DRIFT SCALE
18. PDI BRUSH AND COIL
19. AUTOPILOT CLUTCH ENGAGING KNOB
20. AUTOPILOT CLUTCH
21. BOMBSIGHT CLUTCH ENGAGING LEVER
22. BOMBSIGHT CLUTCH
23. BOMBSIGHT CONNECTING ROD
24. AUTOPILOT CONNECTING ROD

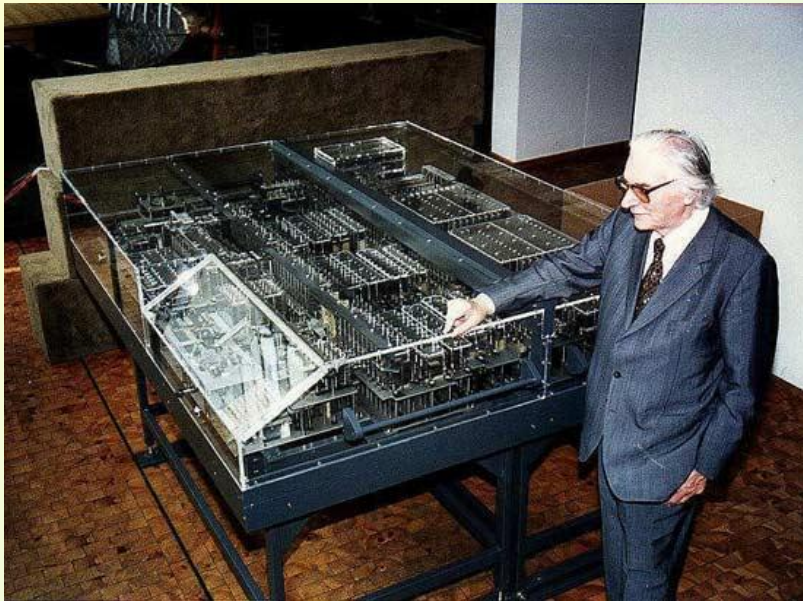
The bombsight has 2 main parts, sighthead and stabilizer. The sighthead pivots on the stabilizer and is locked to it by the dovetail locking pin. The sighthead is connected to the directional gyro in the stabilizer through the bombsight connecting rod and the bombsight clutch.

RESTRICTED

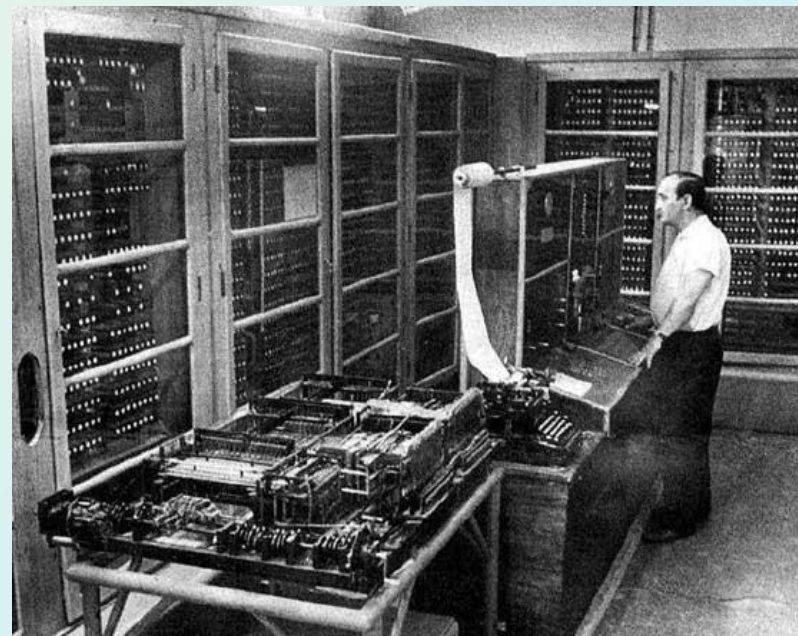
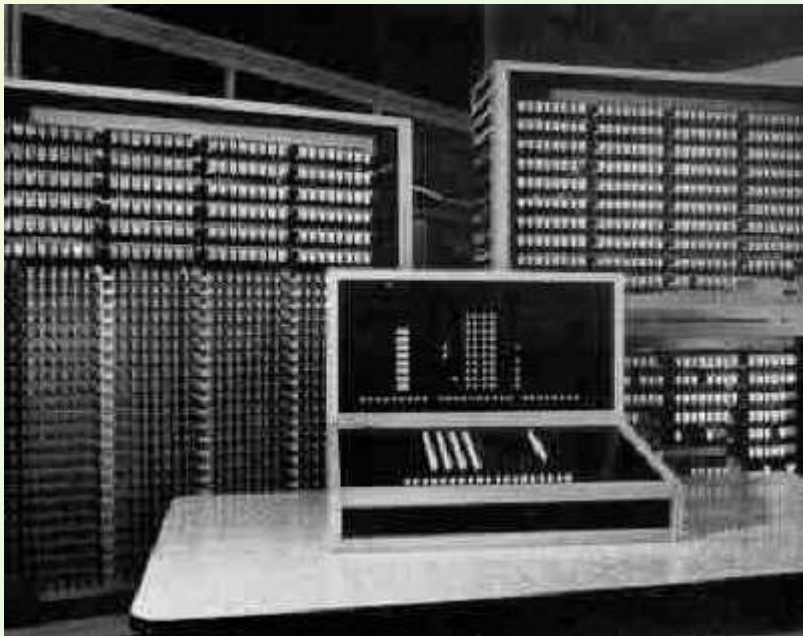




# Електромеханічні комп'ютери



Машина Конрада Цузе,  
що використовувала  
двійковий код



# Електронні комп'ютери



# Типи комп'ютерів

**Залежно від типу даних, що опрацьовуються, обчислювальні машини поділяються на:**

- Аналогові - це обчислювальні машини, що оперують даними, поданими у вигляді неперервних змін деяких фізичних величин.

Використовуючи той факт, що багато явищ в природі математично описуються одними й тими ж рівняннями, аналогові обчислювальні машини дозволяють за допомогою одного фізичного процесу моделювати різні інші процеси.

- Цифрові - це обчислювальні машини, що оперують даними, поданими в дискретному вигляді (у вигляді набору чисел).

Цифрові машини є універсальним обчислювальним засобом, здатним моделювати будь-які процеси.

# Аналогові комп'ютери

При роботі аналоговий комп'ютер *імітує* процес обчислення, при цьому характеристики, що представляють числові дані, постійно змінюються з часом.

Результатом роботи аналогового комп'ютера є графіки, зображені на папері чи на екрані осцилографа, або деякий сигнал, що використовується для контролю процесу або роботи механізму.

Аналогові комп'ютери можуть виконувати операції додавання, віднімання, множення, ділення, диференціювання, інтегрування та інвертування.

# Аналогові комп'ютери

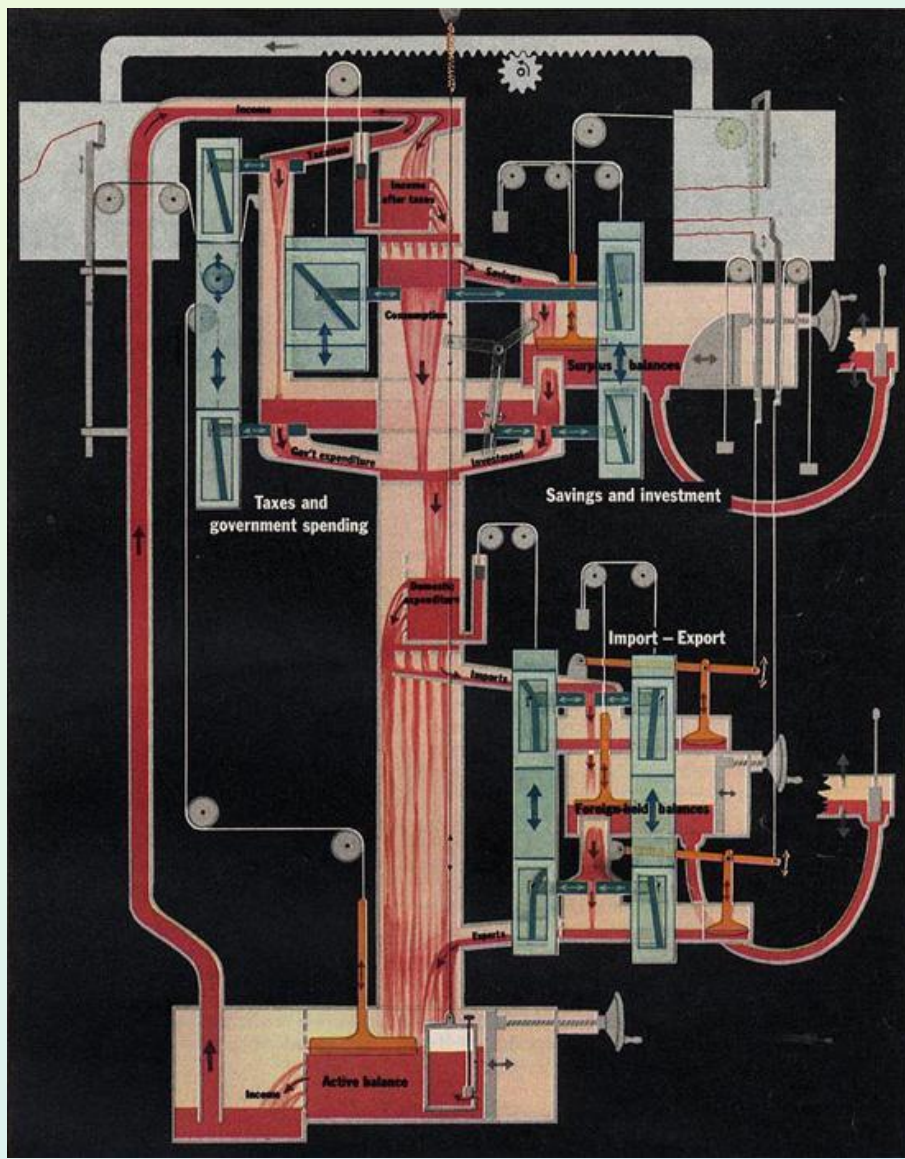
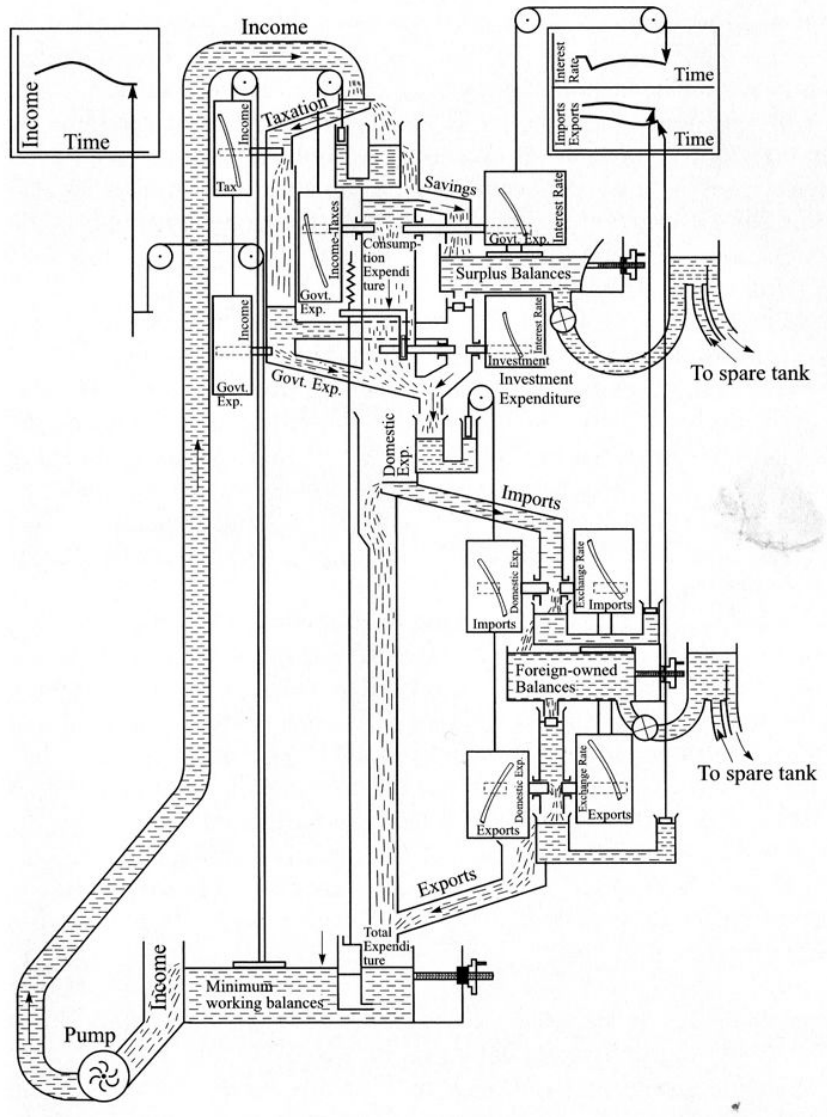
**Всі АОМ можна поділити на дві основні групи:**

- Спеціалізовані - призначені для вирішення заданого вузького класу задач або одного завдання;
- Універсальні - призначені для вирішення широкого спектру завдань.

# Аналогові комп'ютери

## В залежності від типу робочого тіла АОМ поділяються на:

- **Механічні** – машинні змінні відтворюються механічними переміщеннями, значеннями змінних виступають довжина, швидкість, кількість обертів, кут повороту тощо.  
Перевага – надійність; недоліки – висока вартість, низька ефективність.
- **Пневматичні та гідравлічні** – машинні змінні подані у вигляді тиску рідини або газу.  
Переваги – низька вартість, висока надійність; недолік – великі похибки вимірювань.



# Аналогові комп'ютери

## В залежності від типу робочого тіла АОМ поділяються на:

- **Електричні** – машинні змінні відтворюються електричною напругою постійного струму.  
Переваги – висока надійність, швидкодія, зручність керування та отримання результатів.
- **Електромеханічні** (комбіновані) – машинні змінні подані у вигляді механічних та електричних величин (кут повороту – напруга).



# Аналогові комп'ютери

**В залежності від конструктивних ознак АОМ поділяються на:**

- **АОМ матричного типу** (групова аналогова машина) - окремі найпростіші обчислювальні блоки жорстко з'єднуються в однакові типові групи.
- **АОМ структурного типу** - найпростіші обчислювальні блоки з'єднуються між собою відповідно до математичних операцій, які необхідно виконати для розв'язування задачі.

# Аналогові комп'ютери

**В залежності від способу функціонування АОМ поділяються на:**

- **Швидкі** - етапи розв'язування автоматично повторюються за допомогою системи комутацій. Найбільша перевага - можливість спостерігати зміну результату в залежності від параметрів в реальному часі (використовуються для розв'язування краєвих задач, обчислення інтегралу Фур'є, кореляційного аналізу).
- **Повільні** - машини одноразової дії, в яких використовуються інтегратори з відносно великими константами часу. Розв'язування завдань триває від декількох секунд до декількох хвилин. При цьому результат зміни параметрів може бути зафіксований тільки після завершення всіх обчислювальних циклів.
- **Ітеративні** - машини, що здійснюють процес розв'язування завдання ітераційним способом протягом певного числа ітерацій. Специфіка такої АВМ дозволяє управляти ходом обчислень в задані моменти часу.

# Цифрові комп'ютери

**Цифровий** - комп'ютер, що опрацьовує дискретні дані, тобто дані, представлені у вигляді набору цифр.

Переважає більшість сучасних комп'ютерів є цифровими.

Неперервні сигнали перетворюються в дискретні (*оцифровуються*) з певною точністю перетворення (*дискретизації*).

Більшість сучасних цифрових комп'ютерів працюють на базі двійкової системи числення.

Майже всі цифрові комп'ютери є електронними.

# Цифрові комп'ютери

Однією з величин, що характеризує обчислювальну потужність комп'ютерів є **FLOPS** (Floating point OPerations per Second).

Використовуються спеціальні тести:

- LINPACK (розв'язування систем лінійних рівнянь);
- NAMD (розв'язування задач молекулярної динаміки);
- HPC Challenge Benchmark;
- NAS Parallel Benchmarks.

Результати тестів є неоднозначними, на які впливає значна кількість різних факторів.

# Цифрові комп'ютери

Комп'ютер ЕНІАК, побудований в 1946 році , при масі 27 т і енергоспоживанні 150 кВт, забезпечував продуктивність в 300 флопс

КПК Apple A6 — 645 Мфлопс

AMD Athlon 64 X2 4200 (2,2 ГГц) — 13.2 Гфлопс

Intel Core i3-2350М 2,3 ГГц — 36,8 Гфлопс

Приставка Sony PlayStation 3 — 218 Гфлопс

Tianhe-2 — 33,86 Пфлопс

Назва	рік	FLOPS
флопс	1941	$10^0$
кілофлопс	1949	$10^3$
мегафлопс	1964	$10^6$
гігафлопс	1987	$10^9$
терафлопс	1997	$10^{12}$
петафлопс	2008	$10^{15}$
ексафлопс	~2018	$10^{18}$

# Цифрові комп'ютери

## Tianhe-2 (тяньхе, кит. Чумацький шлях)

Має 16 тис. вузлів, кожен з яких містить:

- 2 процесора Intel Xeon E5-2692 з 12 ядрами кожен (частота 2,2 ГГц);
- 3 спеціалізованих співпроцесора Intel Xeon Phi 31S1P (по 57 ядер на прискорювач, частота 1,1 ГГц).

Загальна кількість обчислювальних ядер досягає 3,12 мільйона.

На кожному вузлі встановлено 64 ГБ (16 модулів) оперативної пам'яті типу DDR3 ECC і додатково по 8 ГБ GDDR5 в кожному Xeon Phi (всього 88 ГБ) – загалом 1,375 ТБ. Постійна пам'ять – 12,4 ПБ.

Вартість побудови близько \$390 млн.

Обслуговування — не менше 200 спеціалістів,  $\approx$  \$50 млн./рік.

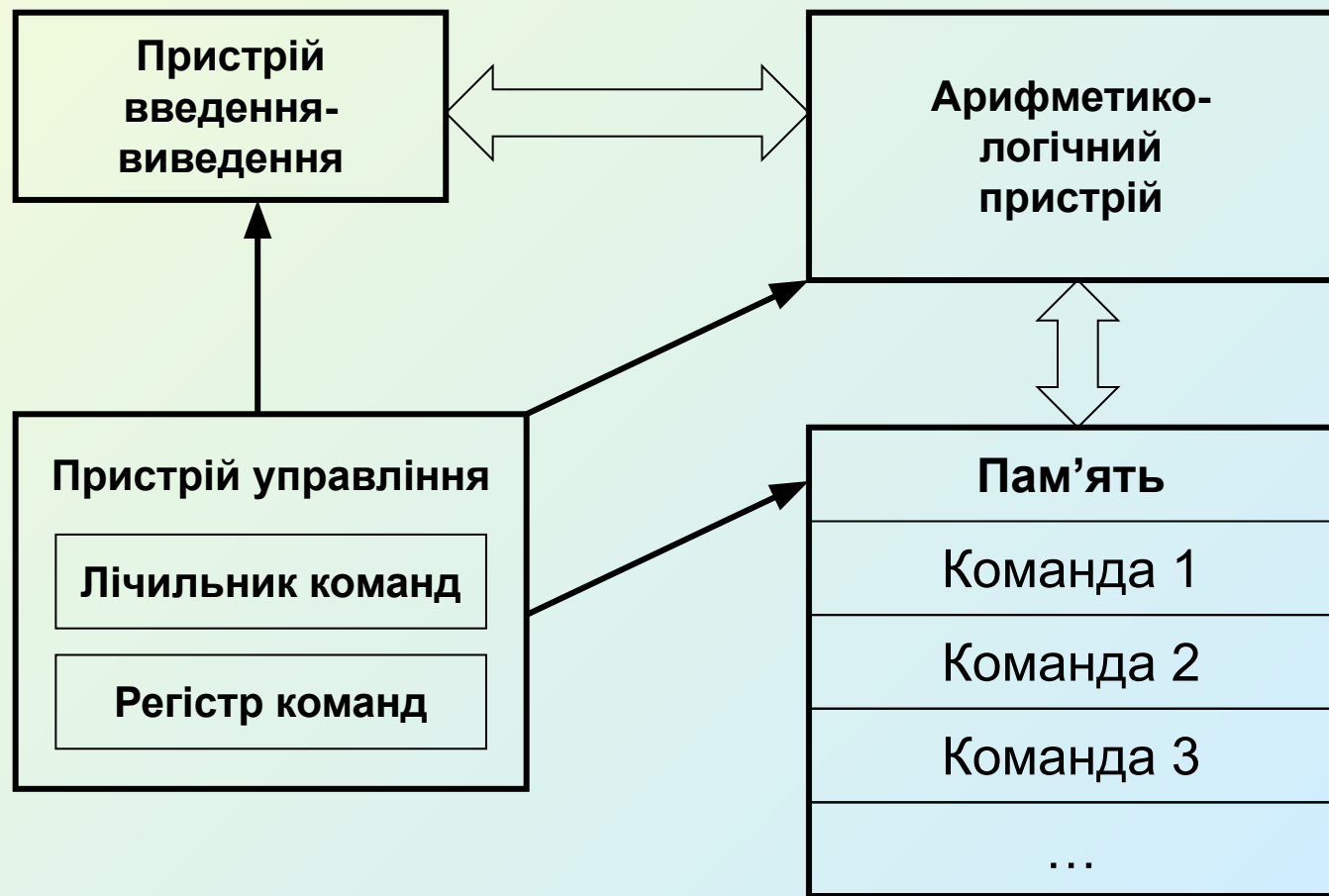
Площа – 720 м<sup>2</sup>, потужність – до 24 МВт.

# Цифрові комп'ютери

## Комп'ютер фон-Нейманівського типу



Джон фон  
Нейман



# Принципи фон Неймана

- Використання двійкової системи числення
- Однорідність пам'яті - команди зберігаються в оперативній пам'яті разом з даними
- Адресність пам'яті - кожна комірка пам'яті має унікальну адресу (номер), що однозначно її ідентифікує. Доступ до даних здійснюється за цією адресою
- Послідовне програмне управління - всі програми складаються з набору команд, що виконуються послідовно, починаючи з першої



# Цифрові комп'ютери

## Використання недвійкових систем числення

□ Десяткова

□ Двійково-десяткова

□ Трійкова

“Сетунь”

Тріт – найменша одиниця трійкового коду

Трайт – похідна, 1 трайт = 6 тріт (~ 9,5 біта,  
(здатний приймати значення в діапазоні  $\pm 364$ )

□ Інші системи числення

Вибір внутрішньої системи подання даних не змінює базових принципів роботи комп'ютера. Будь-який комп'ютер одного типу може емулювати роботу будь-якого комп'ютера іншого типу.



# Гібридні комп'ютери

**Гібридна обчислювальна система** (аналогово-цифрова система) – обчислювальна система, що поєднує властивості цифрового та аналогового пристроїв.

*Передумова виникнення:* для ряду задач моделювання складних систем не вистачало можливостей ні аналогових, ні цифрових пристроїв, наприклад:

- автоматичне управління об'єктами, що швидко рухаються;
- оптимізація систем управління;
- тренажери бойової техніки, зокрема авіаційної.

Гібридними системами ефективно *вирішуються* такі основні групи завдань:

- моделювання в реальному масштабі часу автоматичних систем управління, що містять як аналогові, так і цифрові пристрої (тренажери, системи самонаведення тощо);
- статистичне моделювання та моделювання біологічних систем;
- розв'язування рівнянь в частинних похідних;
- оптимізація систем управління.

# Гібридні комп'ютери

Для взаємодії аналогових і цифрових вузлів ГОМ застосовуються спеціальні пристрої перетворення, зокрема, **аналогово-цифровий перетворювач (АЦП)** та **цифрово-аналоговий перетворювач (ЦАП)**, керовані підсилювачі, комутатори і т. п.

**АЦП** - електронний пристрій, що перетворює напругу в двійковий цифровий код.

**ЦАП** - пристрій для перетворення цифрового коду в аналоговий сигнал (струм, напругу або заряд).

Аналогово-цифрове перетворення використовується скрізь, де потрібно приймати аналоговий сигнал та опрацьовувати його в цифровій формі.

# Тенденції в розвитку сучасних комп'ютерів

- постійно розширюється і вдосконалюється набір зовнішніх пристроїв, що призводить до ускладнення зв'язків між вузлами ЕОМ;
- обчислювальні машини перестають бути однопроцесорними, для здійснення паралельних обчислень одна операція виконується відразу декількома процесорами;
- використання швидкодіючих ЕОМ не тільки для обчислень, але і для логічного аналізу даних;
- зростає роль міжкомп'ютерних комунікацій, комп'ютери об'єднуються в мережі для спільної обробки даних.

# Тенденції в розвитку сучасних комп'ютерів.

## Багатопроеесорність

- багатопроеесорна **магістральна (конвеєрна) схема** - процесори одночасно виконують різні операції над послідовним потоком оброблюваних даних (багаторазовий потік команд і одноразовий потік даних);
- багатопроеесорна **векторна схема** - всі процесори одночасно виконують одну команду над різними даними (одноразовий потік команд і одноразовий потік даних);
- багатопроеесорна **матрична схема** - всі процесори одночасно виконують різні операції над кількома послідовними потоками оброблюваних даних ( багаторазовий потік команд і багаторазовий потік даних);
- **кластерна архітектура** - з декількох процесорів і загальної для них пам'яті формують обчислювальний вузол. Декілька вузлів можуть об'єднуватись високошвидкісними каналами.

# Тенденції в розвитку сучасних комп'ютерів.

## Паралелізм

□ **Паралелізм на рівні бітів.** Ця форма паралелізму заснована на збільшенні розміру машинного слова. Збільшення розміру машинного слова зменшує кількість операцій, необхідних процесору для виконання дій над змінними, чий розмір перевищує розмір машинного слова.

□ **Паралелізм на рівні інструкцій.** Інструкції комп'ютерної програми розподіляються по групах, які виконуються паралельно, без зміни результату роботи всієї програми. Процесори мають багатоступінчастий конвеєр команд, кожній ступені конвеєра відповідає певна дія. Процесор з  $N$  ступенями конвеєра може мати одночасно до  $N$  різних інструкцій на різному рівні закінченості.

# Тенденції в розвитку сучасних комп'ютерів.

## Паралелізм

□ **Паралелізм даних.** Одна операція виконується відразу над всіма елементами масиву даних. Різні фрагменти такого масиву обробляються на векторному процесорі або на різних процесорах паралельної машини.

□ **Паралелізм завдань.** Обчислювальна задача розбивається на декілька відносно самостійних підзадач, кожен процесор завантажується своєю власною підзадачею.

# Тенденції в розвитку сучасних комп'ютерів

**Оптичний комп'ютер** - комп'ютер, заснований на використанні оптичних процесорів (операції виконуються шляхом маніпуляції потоками оптичного випромінювання, тобто фотонів, згенерованих лазерами або діодами).

*В даний час повністю оптичні процесори існують лише в лабораторних варіантах.*

Компанією « Lenslet » був випущений єдиний на даний момент комерційний оптичний гібридний процесор EnLight256 (ядро засноване на оптичних технологіях, всі входи і виходи - електронні).

Процесор здатний виконувати до  $8 \times 10^{12}$  операцій в секунду.

Комп'ютер на базі EnLight256 здатний обробляти 15 відеоканалів стандарту HDTV в режимі реального часу.

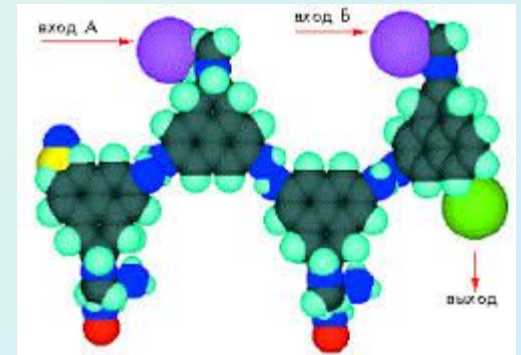




# Тенденції в розвитку сучасних комп'ютерів

**Молекулярні комп'ютери** - обчислювальні системи, що використовують обчислювальні можливості молекул (переважно органічних). Під молекулярним комп'ютером звичайно розуміють такі системи, які використовують окремі молекули в якості обчислювальних елементів (логічні електричні ланцюги, складені з окремих молекул; транзистори, керовані однією молекулою тощо).

**Біокомп'ютер** - комп'ютер, що функціонує як живий організм або містить біологічні компоненти. Створення біокомп'ютерів ґрунтується на молекулярних обчисленнях, де в якості обчислювальних елементів використовуються білки та нуклеїнові кислоти, що реагують один з одним.



# Тенденції в розвитку сучасних комп'ютерів

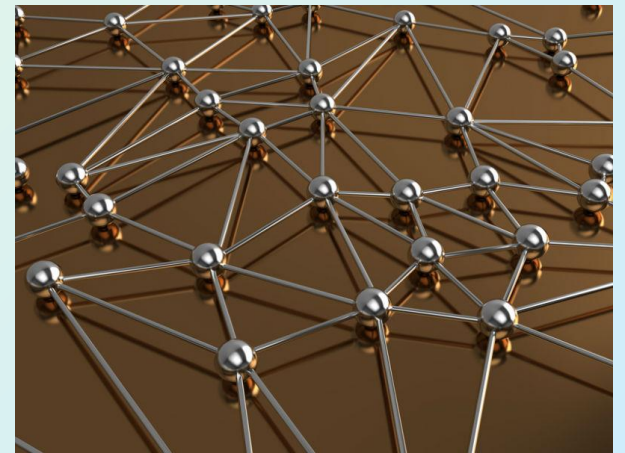
**Нейрокомп'ютер** - пристрій опрацювання даних на основі принципів роботи природних нейронних систем - програмні або апаратні реалізації, побудовані за принципом організації та функціонування біологічних нейронних мереж - мереж нервових клітин живого організму.

Представляють собою систему з'єднаних і взаємодіючих між собою простих процесорів (штучних нейронів). Кожен процесор має справу тільки з сигналами, які він періодично отримує, і сигналами, які він періодично посилає іншим процесорам. Будучи з'єднаними в досить велику мережу з керованою взаємодією, такі прості процесори разом здатні виконувати досить складні завдання.

# Тенденції в розвитку сучасних комп'ютерів

Основні переваги нейрокомп'ютерів:

1. Всі алгоритми нейроінформатики високопараллельні, що є запорукою високої швидкодії.
2. Нейросистеми можна легко зробити дуже стійкими до перешкод і руйнувань.
3. Стійкі і надійні нейросистеми можуть створюватися із ненадійних елементів, що можуть значно відрізнитись за параметрами.



# Тенденції в розвитку сучасних комп'ютерів

У нейрокомп'ютерингу поступово дозріває новий напрямок, заснований на з'єднанні біологічних нейронів з електронними елементами - ці розробки отримали найменування **Wetware** (“вологий продукт”). В даний час існує технологія з'єднання біологічних нейронів зі надмініатюрний польовими транзисторами за допомогою нановолокон.

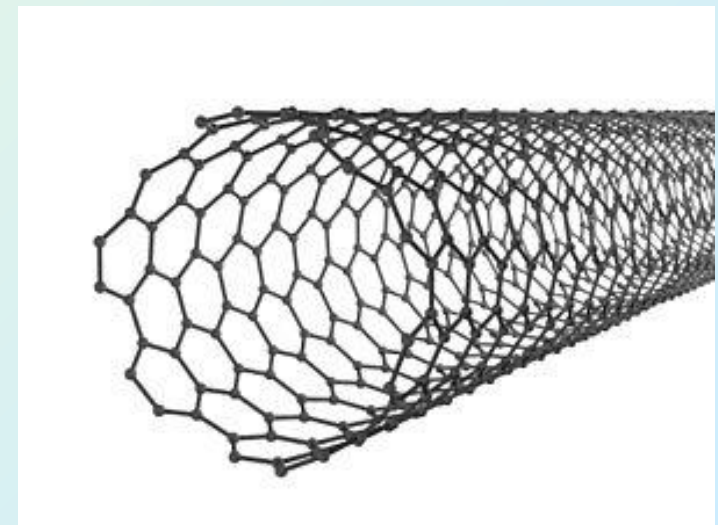
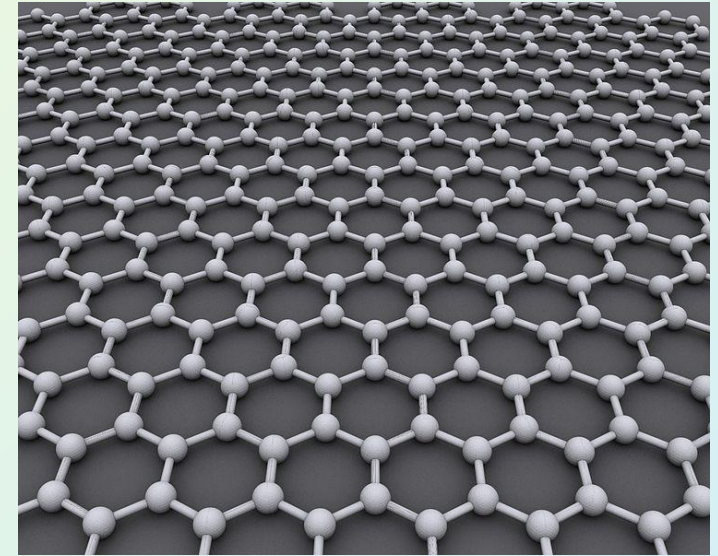
У розробках використовуються сучасні нанотехнології, зокрема для створення з'єднань між нейронами і електронними пристроями використовуються **вуглецеві нанотрубки**.

# Тенденції в розвитку сучасних комп'ютерів

**Вуглецеві нанотрубки** - це протяжні циліндричні структури, що складаються з однієї або декількох згорнутих в трубку графенових площин.

Графен - двовимірна алотропна модифікація вуглецю, утворена шаром завтовшки в один атом).

Трубка має діаметр від одного до декількох десятків нанометрів і довжину до декількох сантиметрів (існують технології, що дозволяють сплітати нанотрубки у нитки необмеженої довжини).



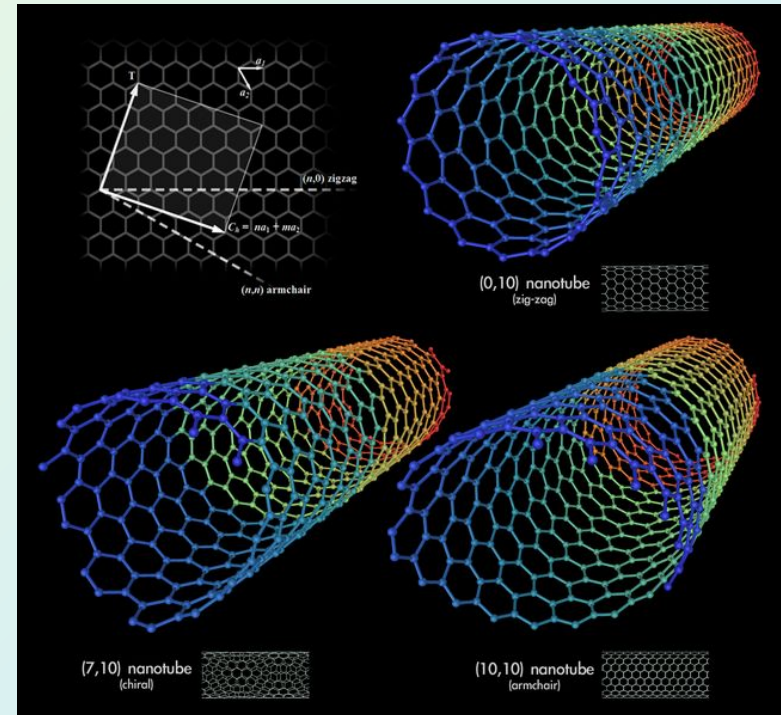
# Тенденції в розвитку сучасних комп'ютерів

## Потенційні переваги:

1. За допомогою ВНТ можна створити польовий транзистор, що може працювати на частоті в 1 ТГц (в даний час вже створені пристрої на основі нанотрубок, що працюють на частотах до 30 ГГц).

2. Зменшення розмірів (теоретична межа для мініатюризації кремнієвих елементів становить 12 нм., елементів на ВНТ – кілька молекул).

3. Зменшення викиду шкідливих речовин та енергоспоживання до 90%

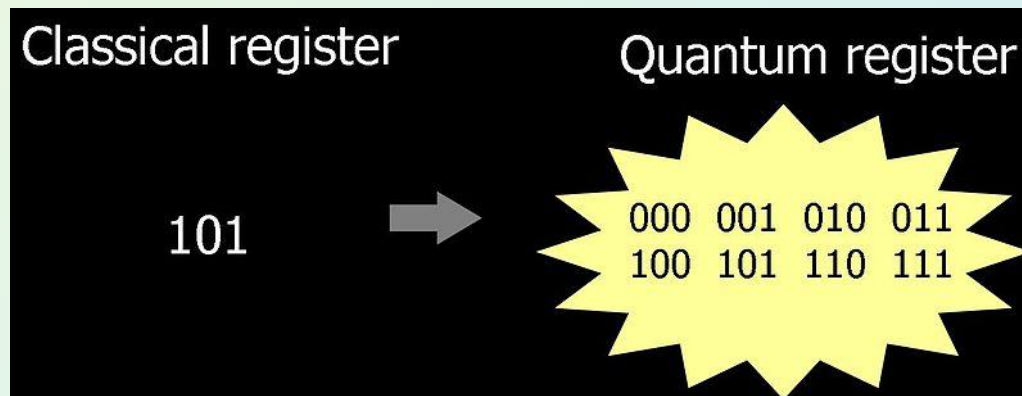


# Тенденції в розвитку сучасних комп'ютерів

**Квантовий комп'ютер** - обчислювальний пристрій, що працює на основі квантової механіки (цифровий пристрій з аналоговою природою)

*Для побудови будь-якого обчислення достатньо двох базових операцій.*

*Квантовий комп'ютер принципово відрізняється від класичних комп'ютерів, що працюють на основі класичної механіки.*



# Тенденції в розвитку сучасних комп'ютерів

Спрощена схема обчислення на квантовому комп'ютері:

1. Береться система **кубітів**, на якій записується початкова стан.
2. Стан системи або її підсистем змінюється за допомогою **унітарних перетворень**, що виконують деякі логічні операції та відповідають відповідним обчисленням.
3. Вимірюється одержане значення кубітів – це є результат роботи комп'ютера.

**Кубіт** (*q-bit, quantum bit*) - квантовий розряд або найменший елемент для зберігання даних в квантовому комп'ютері.

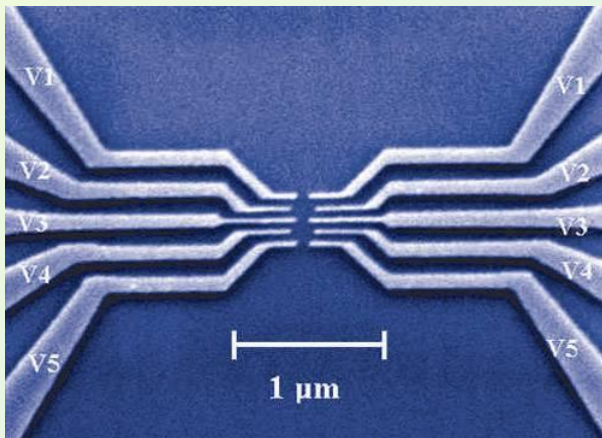
При **будь-якому вимірі** стану кубіта **він випадково переходить** в один зі своїх власних станів.



# Тенденції в розвитку сучасних комп'ютерів

Перетворення заданого нормованого простору називається **унітарним**, якщо воно зберігає **норму вектора**.

Квантова система дає результат, який тільки з **деякою вірогідністю** є правильним. За рахунок невеликого збільшення операцій в алгоритмі можна як завгодно наблизити ймовірність отримання правильного результату до одиниці.



Мікросхема з квантовою точкою

Штучна молекула, що являє собою 7-q-бітовий реєстр

