



Комп'ютери та їх різновиди

Вітаємо на лекції, присвяченій комп'ютерним технологіям, їх типам та принципам роботи. Сьогодні ми розглянемо різноманітність комп'ютерних систем, від класичних транзисторних до революційних квантових, а також базові принципи обчислювальної техніки, включно з системами числення.

Лектор: професор Євгеній БОРОДАВКА

План лекції

1

Типи комп'ютерів та їх складові

Класифікація комп'ютерних систем за розміром, потужністю та призначенням. Основні апаратні компоненти.

2

Системи числення

Десяткова, бінарна та шістнадцяткова системи числення та їх застосування в комп'ютерних технологіях.

3

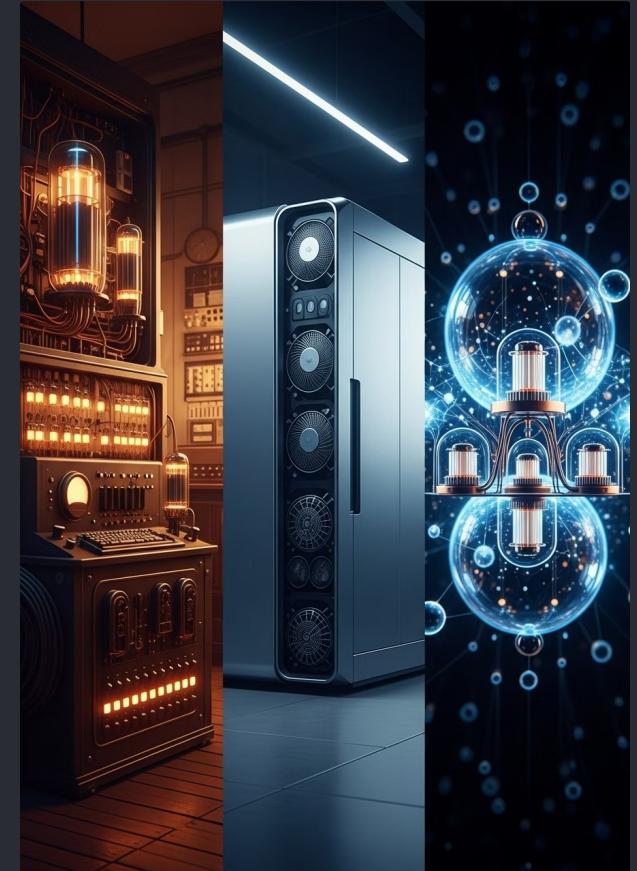
Транзисторні комп'ютери

Принципи роботи класичних комп'ютерів на основі транзисторів та логічних елементів.

4

Квантові комп'ютери

Квантові обчислення, кубіти та застосування квантових комп'ютерів у сучасному світі.





Типи комп'ютерів та їх складові

Типи комп'ютерів



Суперкомп'ютери

Найпотужніші у світі системи, що складаються з тисяч процесорів. Використовуються для складних наукових та інженерних задач, таких як прогнозування погоди, моделювання клімату, розробка ліків та дослідження космосу.



Мейнфрейми

Високонадійні та масштабовані системи для обробки величезних обсягів даних та критично важливих бізнес-операцій. Забезпечують безперервну роботу 24/7 у банківській справі, страхуванні, авіалініях та урядових установах.



Персональні комп'ютери

Включають настільні комп'ютери, ноутбуки та робочі станції, розроблені для індивідуального використання. Універсальні інструменти для освіти, роботи, розваг, 3D-моделювання та відеомонтажу.



Мікроконтролери та вбудовані системи

Компактні, спеціалізовані комп'ютерні системи, інтегровані в інші пристрої для виконання конкретних завдань. Використовуються у побутовій техніці, медичному обладнанні, автомобільній електроніці та IoT пристроях.

Відомі суперкомп'ютери з різних країн

Найпотужніші обчислювальні машини світу розширюють межі можливого у науці та технологіях.

Frontier (США)

Розташований у Національній лабораторії Оук-Рідж, перший у світі ексафлопсний суперкомп'ютер. Використовується для передових досліджень у сфері штучного інтелекту та моделювання складних фізичних процесів.

Aurora (США)

Встановлений в Аргоннській національній лабораторії, Aurora є другим ексафлопсним суперкомп'ютером США, орієнтованим на дослідження в галузі штучного інтелекту та наукових відкриттів.

Fugaku (Японія)

Розроблений RIKEN, відомий своєю високою продуктивністю та енергоефективністю. Використовується для відкриття ліків, кліматичного моделювання та фундаментальних досліджень.

LUMI (Фінляндія)

Один з найпотужніших суперкомп'ютерів Європи, розташований у Каяні. LUMI підтримує європейські дослідження в галузі клімату, охорони здоров'я, енергетики та розробки ШІ.



Огляд ТОП-5 суперкомп'ютерів

Нижче представлено докладні технічні характеристики найпотужніших суперкомп'ютерів світу станом на літо 2025 року, які демонструють вершини сучасної обчислювальної техніки.

№	Назва (Країна)	Rmax (ПФлопс)	Процесор (CPU)	Прискорювач (GPU)	Ядра	Розташування	Рік
	El Capitan (США)	1742	AMD EPYC 4-го покоління	AMD Instinct MI300A	11039616	Lawrence Livermore	2024
	Frontier (США)	1353	AMD EPYC 3-го покоління	AMD Instinct MI250X	9066176	Oak Ridge	2022
	Aurora (США)	1012	Intel Xeon Max 9470	Intel Max 1550	9264128	Argonne	2023
	JUPITER (Німеччина)	793.4	Arm Neoverse V2 (Nvidia Grace)	Nvidia Hopper H100	4801344	EuroHPC JU (Jülich)	2025
	Eagle (США)	561.2	Intel Xeon Platinum 8480C	Nvidia Hopper H100	2073600	Microsoft Azure	2023

Ці суперкомп'ютери є критично важливими інструментами для проривних досліджень, що формують майбутнє науки та технологій.

Основні складові комп'ютера

Процесор (CPU)

"Мозок" комп'ютера, що виконує обчислення. Складається з арифметично-логічного пристрою та керуючого пристрою.

Пам'ять (RAM, ROM)

Оперативна (RAM) та постійна (ROM) пам'ять для збереження даних і програм під час роботи системи.

Накопичувачі (HDD, SSD)

Пристрої для довготривалого зберігання інформації: жорсткі диски, твердотільні накопичувачі, оптичні диски.

Пристрої введення-виведення

Клавіатура, миша, монітор, принтер, сканер, мережеві адаптери та інші компоненти для взаємодії з користувачем.



Материнська плата з'єднує всі компоненти в єдину систему та забезпечує їх взаємодію через шини даних, адреси та керування.



Системы числення

Основні системи числення

Система числення — це спосіб подання чисел за допомогою символів (цифр) і правил їх використання. В інформатиці використовуються три основні системи:

Десяткова (DEC)

- Основа: 10
- Цифри: 0-9
- Приклад: 358_{10}
- Розрахунок: $3 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 8 \times 10^0$
- Природна для людей

Бінарна (BIN)

- Основа: 2
- Цифри: 0-1
- Приклад: 101101_2
- Розрахунок: $1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 45_{10}$
- Використовується всередині комп'ютерів

Вісімкова (OCT)

- Основа: 8
- Цифри: 0-7
- Приклад: 752_8
- Розрахунок: $7 \times 8^2 + 5 \times 8^1 + 2 \times 8^0 = 490_{10}$
- Використовується для компактного представлення двійкових даних (особливо в старих системах)

Шістнадцяткова (HEX)

- Основа: 16
- Цифри: 0-9, A-F
- Приклад: $1A3F_{16}$
- Розрахунок: $1 \times 16^3 + 10 \times 16^2 + 3 \times 16^1 + 15 \times 16^0 = 6719_{10}$
- Компактне представлення бінарних даних



Шістнадцяткова система числення часто використовується для подання кодів машинних команд, адрес пам'яті та кольорів в HTML.

Перетворення між системами числення

Десяткова ↔ Бінарна

Приклад перетворення 42_{10} у бінарну систему:

$$42 \div 2 = 21 \text{ (залишок 0)}$$

$$21 \div 2 = 10 \text{ (залишок 1)}$$

$$10 \div 2 = 5 \text{ (залишок 0)}$$

$$5 \div 2 = 2 \text{ (залишок 1)}$$

$$2 \div 2 = 1 \text{ (залишок 0)}$$

$$1 \div 2 = 0 \text{ (залишок 1)}$$

Результат (знизу вгору): 101010_2

Бінарна ↔ Шістнадцяткова

Кожні 4 біти відповідають одній шістнадцятковій цифрі:

1010 1101 1001 0111 (бінарна)

A D 9 7 (шістнадцяткова)

Результат: $AD97_{16}$

 Програмісти часто використовують шістнадцяткову систему для подання бінарних даних, оскільки вона більш компактна і зручна для сприйняття людиною.

Перетворення з двійкової в десяткову систему

Для перетворення двійкового числа в десяткове використовується метод розкладання за степенями основи (2). Кожна двійкова цифра (біт) множиться на відповідну степінь числа 2, починаючи з 2^0 для крайнього правого біта, і так далі, збільшуючи степінь на одиницю для кожного наступного біта ліворуч.

Потім усі отримані значення додаються, щоб отримати кінцеве число в десятковій системі.

$$N_{10} = d_n \cdot 2^n + \dots + d_1 \cdot 2^1 + d_0 \cdot 2^0$$

Приклад: 1101_2 в десяткову

Розглянемо двійкове число 1101_2 :

- Позиція 0 (справа): $1 \times 2^0 = 1 \times 1 = 1$
- Позиція 1: $0 \times 2^1 = 0 \times 2 = 0$
- Позиція 2: $1 \times 2^2 = 1 \times 4 = 4$
- Позиція 3 (зліва): $1 \times 2^3 = 1 \times 8 = 8$

Сумуємо результати: $1 + 0 + 4 + 8 = 13$

Отже, $1101_2 = 13_{10}$

Дії в двійковій системі числення

Арифметичні дії в двійковій системі проводяться за тими ж правилами, що і в десятковій системі числення. Проте оскільки в двійковій системі числення використовуються тільки дві цифри **0** і **1**, то арифметичні дії виконуються простіше.

Додавання двійкових чисел

Додавання виконується порозрядно стовпчиком, починаючи з молодшого розряду і використовуючи наступні правила:

$$0 + 0 = 0$$

$$0 + 1 = 1$$

$$1 + 0 = 1$$

$$1 + 1 = 10 \text{ (0 у поточному розряді, 1 переноситься у старший розряд)}$$

Під час додавання необхідно пам'ятати, що **1+1** дають **нуль** у поточному розряді та **одиницю перенесення** у старший розряд.



Двійкове додавання стовпчиком

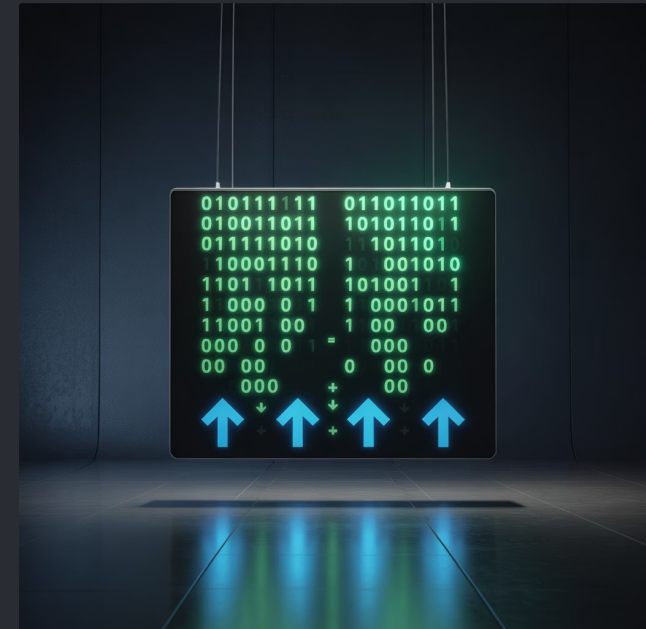
Під час додавання двійкових чисел стовпчиком важливо пам'ятати про перенесення одиниць до наступного розряду, так само як у десятковій системі.

Приклад: $1011_2 + 110_2$

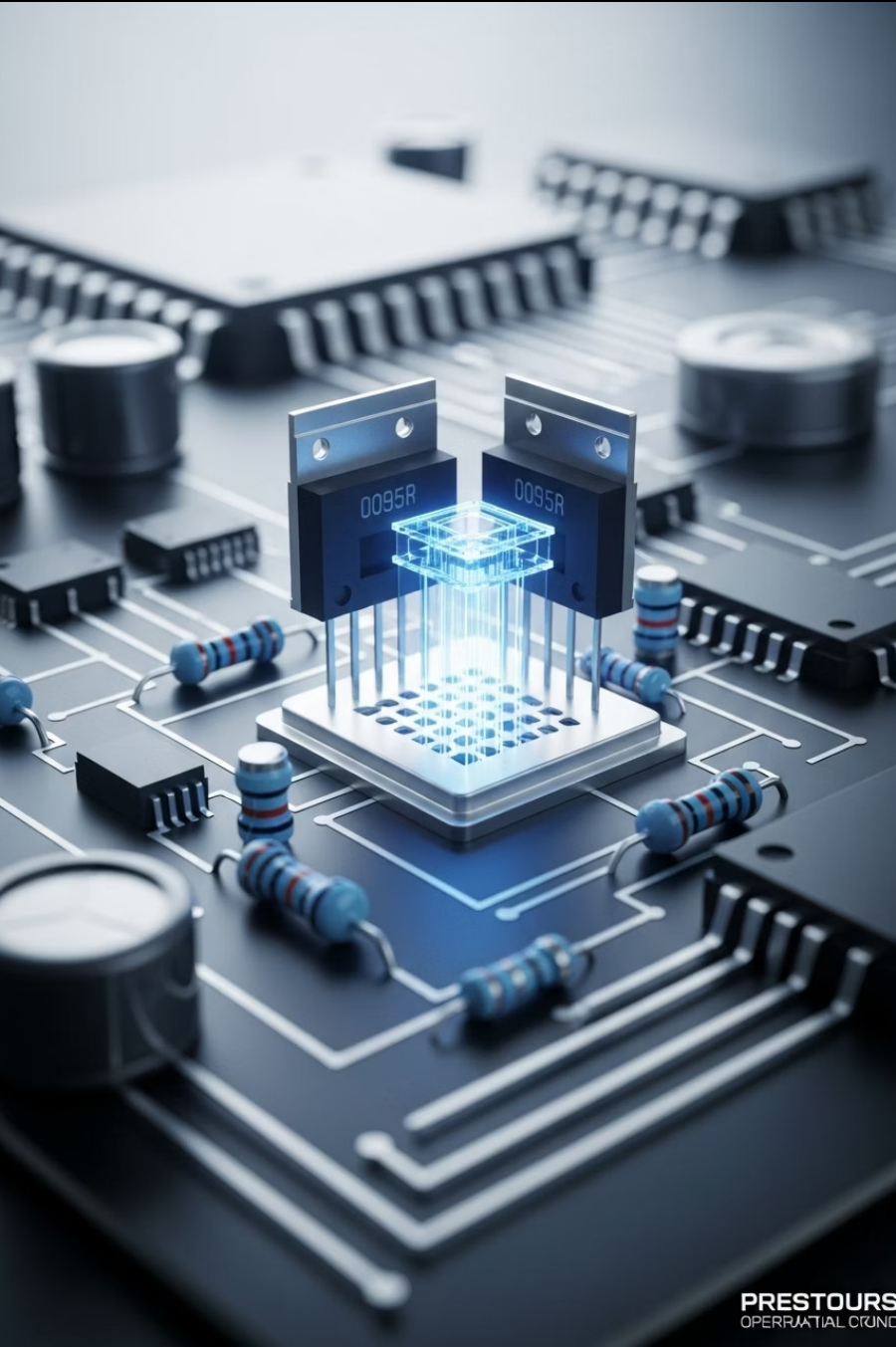
```
  1 1 <-- Перенесення
10112
+ 1102
-----
100012
```

Розшифровка:

- $1 + 0 = 1$
- $1 + 1 = 0$, перенесення 1
- $0 + 1 + (\text{перенесення } 1) = 0$, перенесення 1
- $1 + 0 + (\text{перенесення } 1) = 0$, перенесення 1
- Залишок перенесення: 1

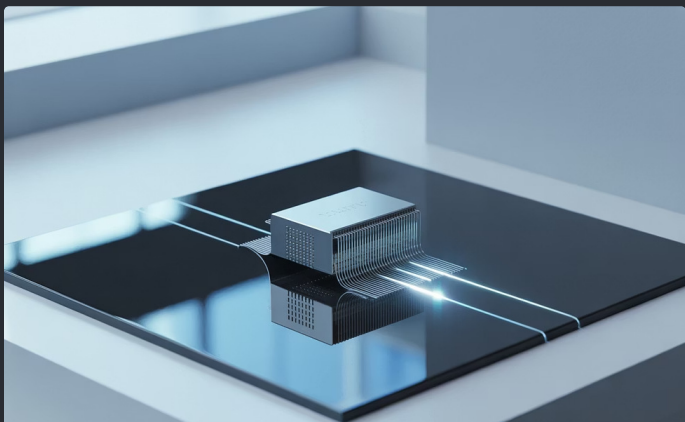


Цей приклад ілюструє покроковий процес двійкового додавання, де кожна дія виконується з урахуванням перенесення бітів до наступного, старшого розряду. Це базовий принцип, на якому базуються всі арифметичні операції в комп'ютерах.



Принцип роботи транзисторних комп'ютерів

Транзистори



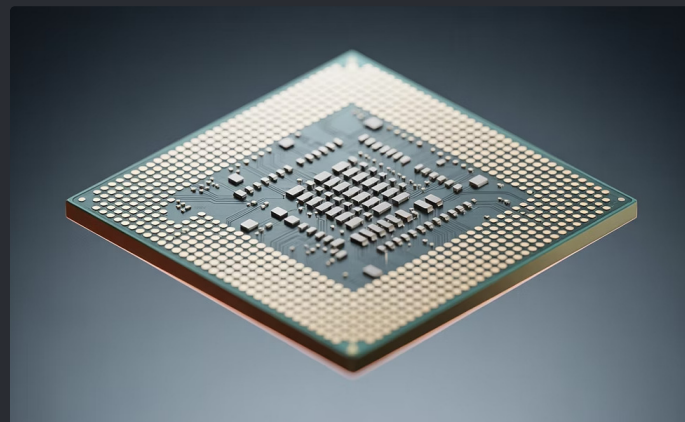
Транзистор як перемикач

Сучасні комп'ютери базуються на транзисторах — електронних компонентах, що працюють як перемикачі або підсилювачі сигналів.



Бінарна інформація

Кожен транзистор має два стани: "увімкнено" (1) або "вимкнено" (0), що дозволяє йому подавати бінарну інформацію та виконувати логічні операції.



Мільярди транзисторів

Мікропроцесори містять мільярди транзисторів на одному кристалі кремнію, наприклад, сучасні процесори Intel та AMD мають від 1 до 40 мільярдів.

[How does Computer Hardware Work? 🖥️🔧🔍 \[3D Animated Teardown\]](#)

Два стани транзистора: 0 та 1

Транзистор є фундаментальним будівельним блоком сучасної комп'ютерної техніки, функціонуючи як мікроскопічний, керований електронний перемикач. Він може знаходитись лише у двох стабільних електричних станах, що безпосередньо відповідають бінарним значенням "0" (вимкнено) та "1" (увімкнено) — основі мови, якою оперують комп'ютери.

Стан "ВИМКНЕНО" (Логічний 0)

Коли на керуючий вхід транзистора (базу для біполярних або затвор для польових транзисторів) подається низька напруга (або її відсутність, близька до 0 Вольт), транзистор переходить у стан високого електричного опору. У цьому стані він ефективно блокує проходження електричного струму, поводячись як "роз'єднаний" або "відкритий" перемикач. Цей стан інтерпретується як бінарний логічний "0".

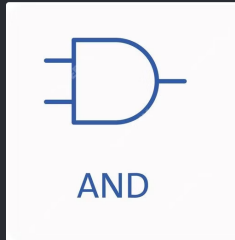
Стан "УВИМКНЕНО" (Логічна 1)

Навпаки, коли на керуючий вхід транзистора подається достатньо висока напруга (наприклад, +5В або +3.3В, залежно від технології), опір транзистора різко знижується. Це дозволяє електричному струму вільно проходити через нього, ніби через "замкнутий" або "закритий" перемикач. Цей стан відповідає бінарній логічній "1" і використовується для представлення активного сигналу або наявності даних.

Мільярди таких мініатюрних перемикачів інтегровані в єдиний мікропроцесор, кожен з яких надзвичайно швидко змінює свої стани. Ця здатність до швидкого перемикання між 0 і 1 дозволяє комп'ютерним системам виконувати складні логічні операції, обробляти інформацію та зберігати дані, формуючи основу всіх сучасних цифрових обчислень.

Логічні елементи та операції

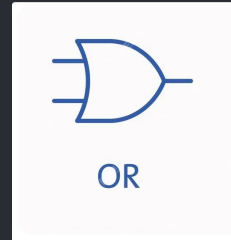
Елемент "І" (AND)



Виходить 1, тільки якщо всі входи мають значення 1.

A	B	A AND B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

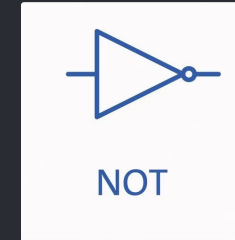
Елемент "АБО" (OR)



Виходить 1, якщо хоча б один із входів має значення 1.

A	B	A OR B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Елемент "НЕ" (NOT)



Інвертує вхідний сигнал: 0 перетворює на 1, а 1 — на 0.

A	NOT A
0	1
1	0

Комбінуючи ці базові елементи, можна створити складніші схеми, такі як тригери, регістри, лічильники та арифметичні пристрої.

[How do Transistors Build into a CPU?](#) 🖥️🤔 [How do Transistors Work?](#) 🖥️🤔

Архітектура фон Неймана

Більшість сучасних комп'ютерів базуються на архітектурі фон Неймана, яка передбачає:

- **Процесор (CPU)** з арифметично-логічним пристроєм (АЛП) та керуючим пристроєм
- **Пам'ять**, що містить як дані, так і програми
- **Шини** для передачі даних, адрес та керуючих сигналів
- **Пристрої введення-виведення** для взаємодії із зовнішнім світом

Ключова особливість: програми та дані зберігаються в одній і тій самій пам'яті та можуть оброблятися однаково.

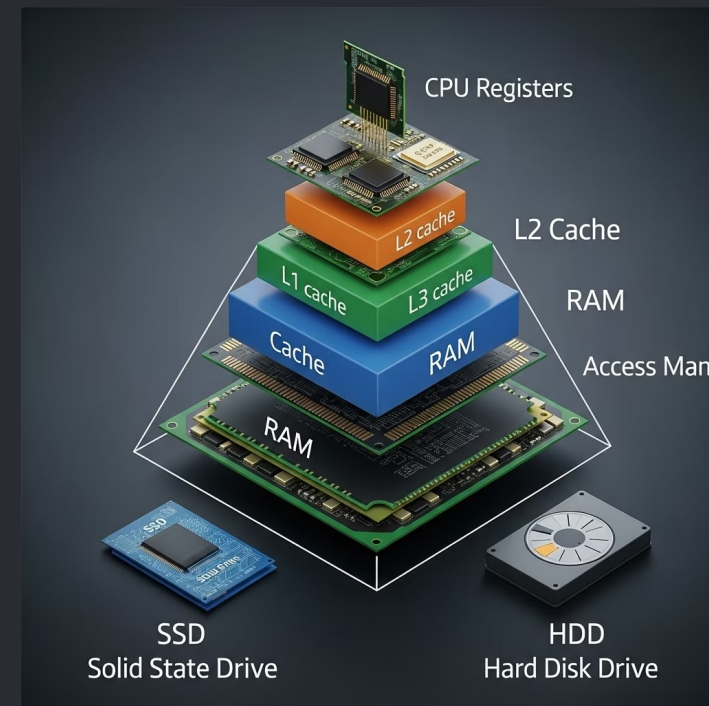
Цикл виконання команди: вибірка → декодування → виконання → запис результату.



Ієрархія пам'яті

Система пам'яті комп'ютера організована в ієрархію від найшвидшої, але малоємної до повільнішої, але більш ємної:

1	Регістри процесора (найшвидші)
2	Кеш-пам'ять L1, L2, L3 (наносекунди)
3	Оперативна пам'ять (RAM) (десятки-сотні наносекунд)
4	Твердотільні накопичувачі (SSD) (мікросекунди)
5	Жорсткі диски (HDD) (мілісекунди)



Принцип локальності даних дозволяє ефективно використовувати цю ієрархію, шляхом переміщення даних, що найчастіше використовуються, ближче до процесора.

Перетворення цифрової інформації на графічну

Комп'ютери перетворюють бінарні дані на зображення, які ми бачимо на екрані, через складний, але швидкий процес. Кожне зображення складається з мільйонів крихітних точок – пікселів.

Кожен піксель має свій колір, який закодований у цифрових значеннях (наприклад, RGB: червоний, зелений, синій). Ці дані надсилаються до графічного процесора (GPU), що спеціалізується на швидкому обчисленні та рендерингу зображень.

GPU обробляє ці цифрові сигнали та записує готові піксельні дані до спеціальної ділянки пам'яті, відомої як буфер кадру (framebuffer). Звідти дані постійно оновлюються та надсилаються на дисплей, формуючи візуальне зображення.



Обмеження класичних комп'ютерів

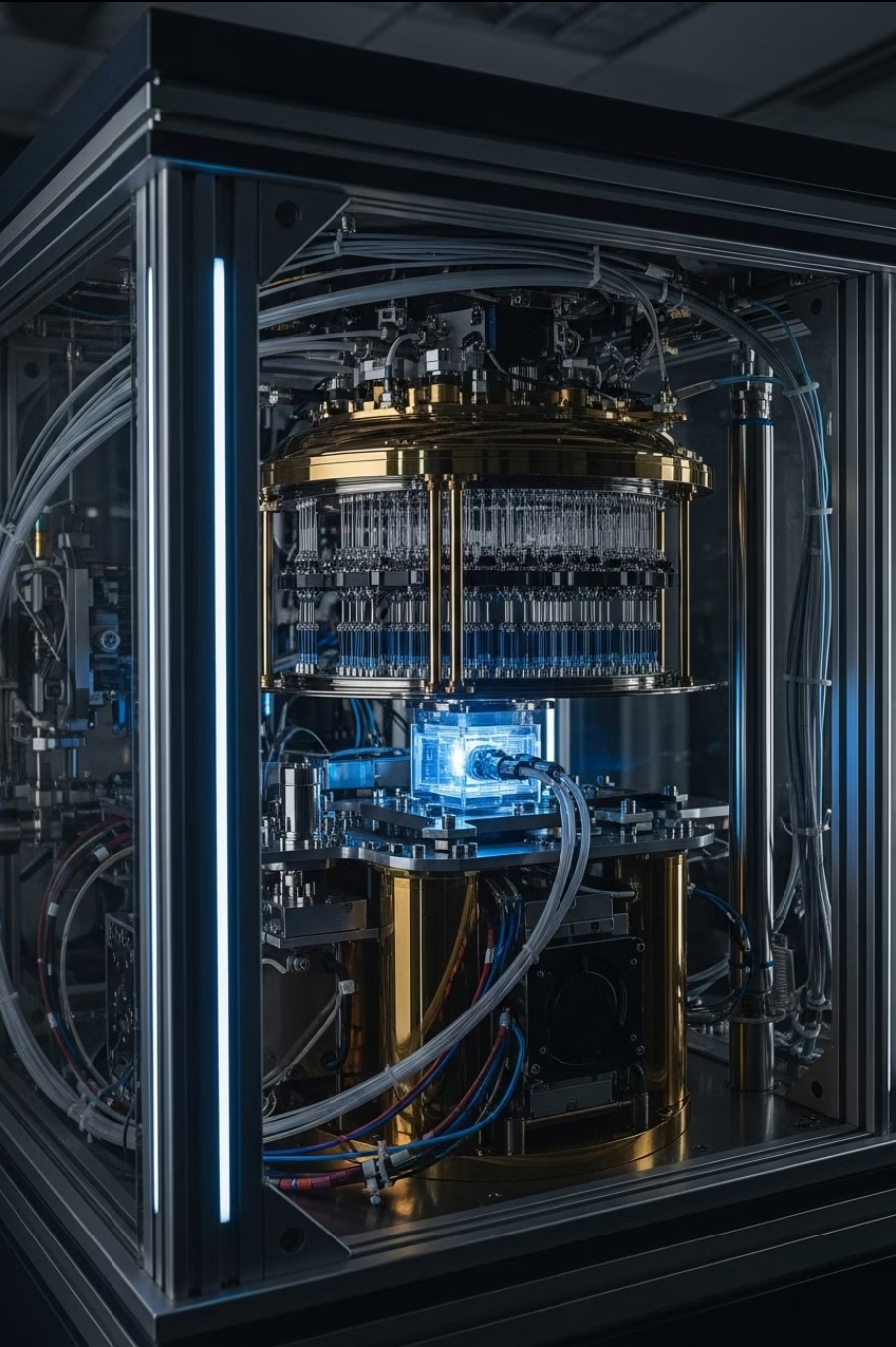
Фізичні обмеження

- **Закон Мура** уповільнюється: подвоєння кількості транзисторів кожні 18-24 місяці стає все складнішим
- **Розмір транзисторів** наближається до атомарного рівня (1-2 нм)
- **Квантові ефекти** починають впливати на роботу надмалих транзисторів
- **Теплові проблеми** у разі зростання щільності транзисторів

Обчислювальні обмеження

- **NP-повні задачі** практично неможливо вирішити за розумний час
- **Паралелізм** має обмеження через потребу в синхронізації
- **Енергоефективність** стає критичним фактором
- **Криптографічні задачі** вимагають експоненційного зростання обчислювальних ресурсів

Ці обмеження стимулюють розвиток альтернативних парадигм обчислень, таких як квантові комп'ютери.



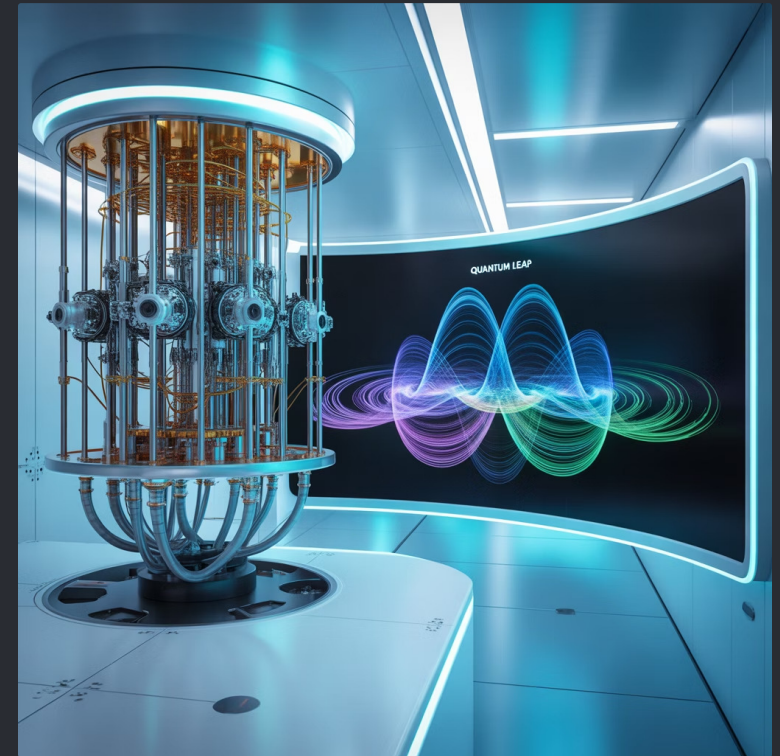
Квантові комп'ютери

Квантові комп'ютери: принципи роботи

Квантові комп'ютери використовують унікальні принципи квантової механіки, які дозволяють їм виконувати обчислення способами, недоступними для класичних машин:

- **Кубіт** (квантовий біт) — фундаментальна одиниця інформації в квантових обчисленнях. На відміну від класичного біта (0 або 1), кубіт може реалізовуватися за допомогою надпровідних ланцюгів, спіну електрона, поляризації фотона або іонів у пастці.
- **Суперпозиція** — це квантовий феномен, що дозволяє кубіту перебувати в комбінації станів 0 і 1 одночасно. Цей стан зберігається до моменту вимірювання, коли кубіт "колапсує" в один із класичних станів.
- **Квантова запутаність** — це зв'язок між двома або більше кубітами, де стан одного кубіта миттєво впливає на стан інших заплутаних кубітів, незалежно від фізичної відстані між ними. Це дозволяє кубітам працювати як єдина, взаємозалежна система.
- **Квантовий паралелізм** — завдяки суперпозиції, квантовий комп'ютер може виконувати обчислення над усіма можливими комбінаціями вхідних даних одночасно. Це досягається шляхом застосування квантових операцій (логічних вентилів) до кубітів у стані суперпозиції.

Завдяки цим принципам, система з n кубітів може одночасно обробляти 2^n станів, що надає експоненційне прискорення для вирішення певних типів задач, таких як факторизація великих чисел або моделювання складних молекулярних структур.



Квантовий комп'ютер IBM з надпровідними кубітами, що вимагають охолодження до температур, близьких до абсолютного нуля.

Типи кубітів

Кубіти можуть бути реалізовані за допомогою різних фізичних систем, кожна з яких має свої переваги та виклики у створенні квантових комп'ютерів.

Надпровідні кубіти

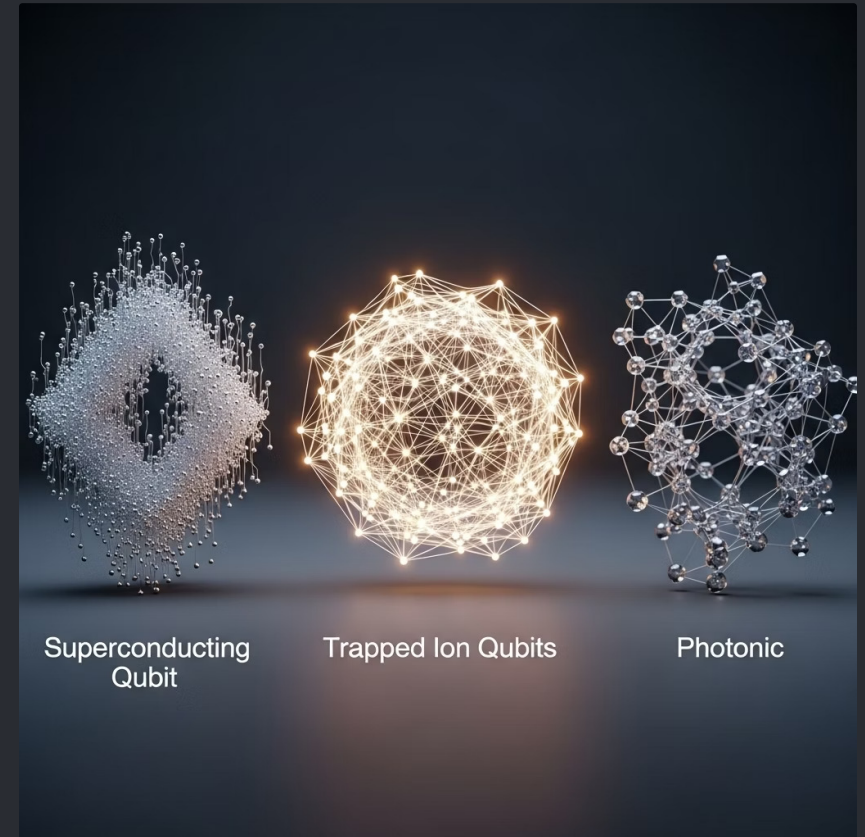
Використовують надпровідні контури, що працюють при температурах, близьких до абсолютного нуля. Популярні в IBM та Google.

Іонні пастки

Утримують окремі іони за допомогою електромагнітних полів, що дозволяє досягти високої точності та довгих часів когерентності.

Фотоні кубіти

Кодують інформацію в станах фотонів (частинок світла). Перевага — менша схильність до декогеренції та робота при кімнатній температурі.



Існуючі квантові комп'ютери та їх порівняння

Різні компанії та дослідницькі групи розробляють квантові комп'ютери, використовуючи різні фізичні реалізації кубітів. Кожен підхід має свої унікальні переваги та виклики, пов'язані з масштабованістю, стабільністю та коректністю обчислень.

IBM Quantum

Лідер у розробці надпровідних кубітів. Пропонує доступ до своїх квантових процесорів через хмарну платформу. Фокус на збільшенні кількості кубітів та зменшенні помилок. Активно розвиває квантовий софт.

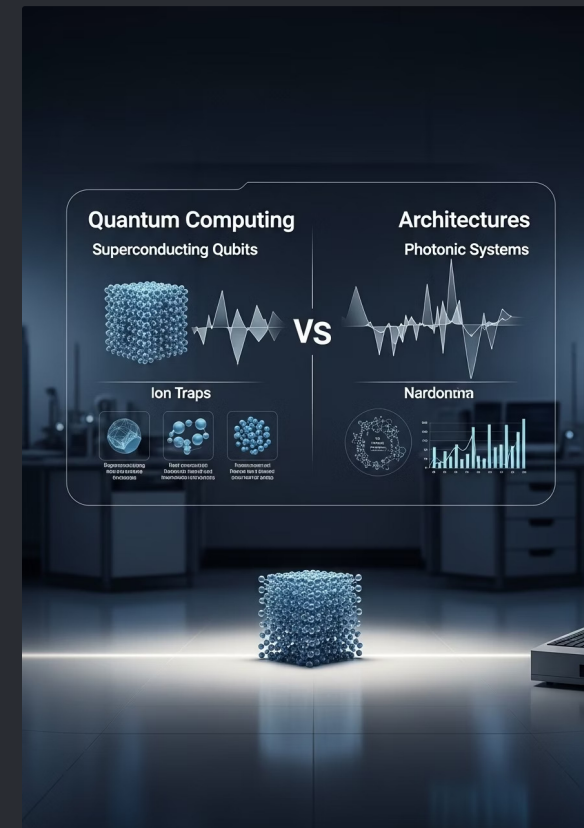
IonQ

Спеціалізується на квантових комп'ютерах з іонними пастками. Цей підхід забезпечує високу якість кубітів та довгий час когерентності, що робить його перспективним для точних обчислень та симуляцій.

PsiQuantum

Розробляє фотонні квантові комп'ютери, які використовують світло для передачі та обробки інформації. Прагне до мільйонів кубітів за допомогою інтеграції фотонних схем, обіцяючи високу швидкість та стійкість до декогеренції.

Незважаючи на різні підходи, всі розробки спрямовані на створення більш стабільних, масштабованих та потужних квантових систем для вирішення складних задач, недоступних для класичних комп'ютерів.

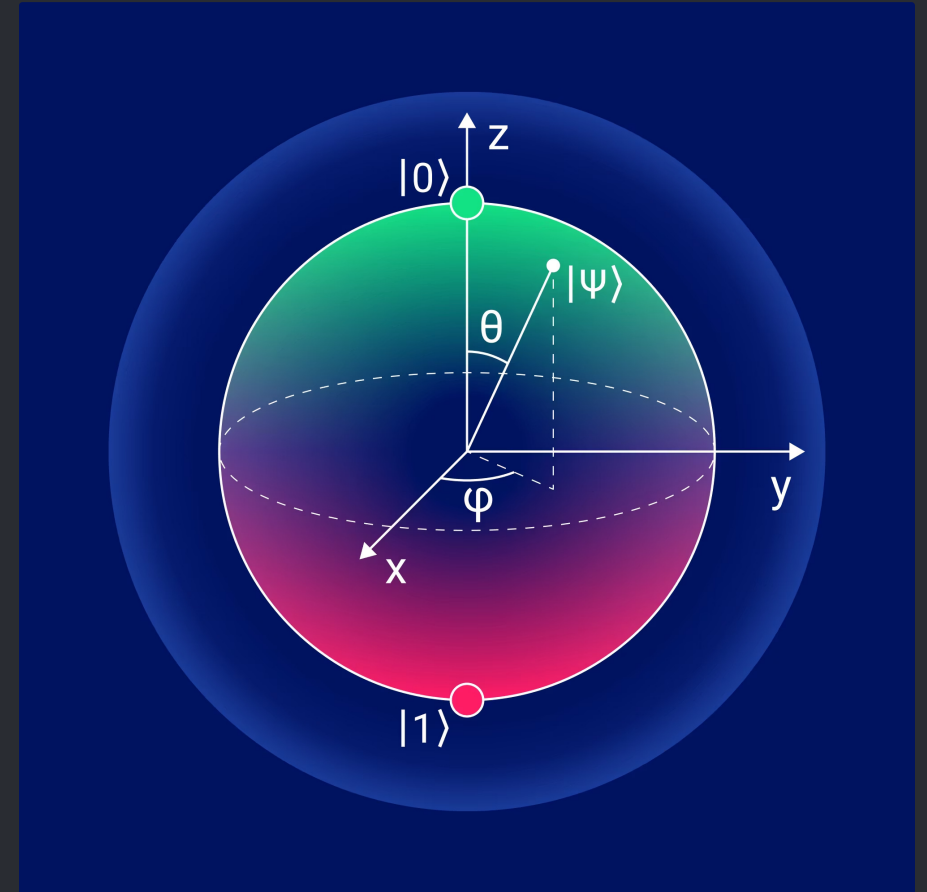


Візуалізація суперпозиції кубіта

На відміну від класичного біта, який може перебувати виключно у стані 0 або 1, квантовий біт (кубіт) завдяки принципу суперпозиції здатен існувати в комбінації цих станів одночасно. Це означає, що кубіт може бути частково 0 і частково 1, представляючи собою цілий спектр можливостей, а не лише дві бінарні опції.

Для кращого розуміння, уявіть кубіт як монету, що обертається у повітрі. Доки монета не приземлиться, вона не є ні "орлом", ні "решкою" однозначно, а перебуває у стані невизначеності, що включає обидві можливості. Лише в момент вимірювання (коли монета падає і показує одну зі сторін) кубіт "колапсує" в один з класичних станів — або 0, або 1.

Саме ця здатність одночасно зберігати та обробляти кілька станів дозволяє квантовим комп'ютерам виконувати обчислення над усіма можливими комбінаціями даних паралельно, що є основою їхньої експоненційної потужності порівняно з класичними системами.



Порівняння класичного біта з квантовим

Класичний біт

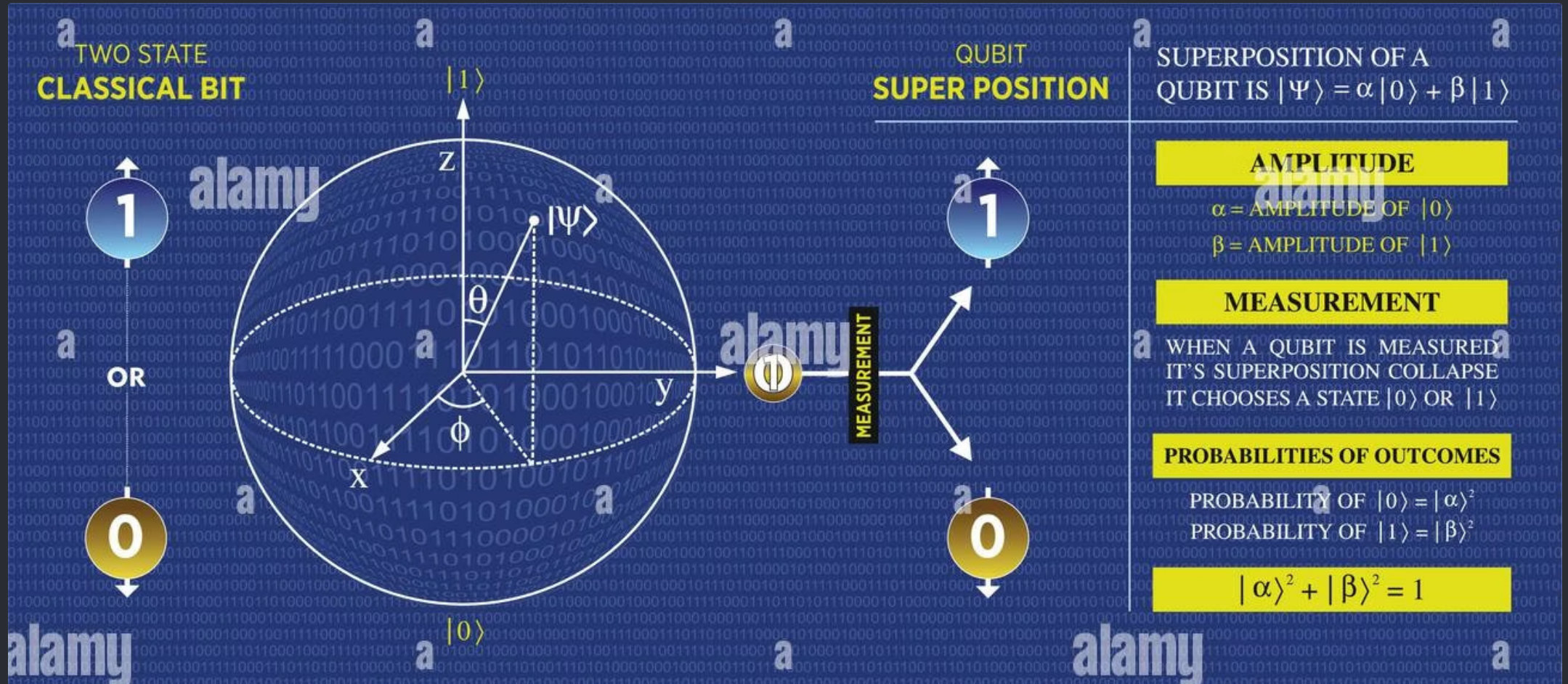
- **Стан:** Тільки 0 або 1 у певний момент часу.
- **Представлення:** Електричний сигнал (напруга, струм) або магнітний стан.
- **Обробка:** Послідовна, за допомогою логічних вентилів, що виконують булеві операції.
- **Зберігання інформації:** Один біт зберігає одну одиницю інформації.
- **Вимірювання:** Стан є детермінованим і завжди відомим.

Квантовий кубіт

- **Стан:** 0, 1 або суперпозиція (одночасно і 0, і 1).
- **Представлення:** Спін електрона, поляризація фотона, енергетичний рівень іона.
- **Обробка:** Паралельна, за допомогою квантових вентилів, що використовують суперпозицію та запутаність.
- **Зберігання інформації:** Один кубіт може зберігати величезну кількість інформації.
- **Вимірювання:** Колапсує в 0 або 1 при вимірюванні, втрачаючи суперпозицію.

На відміну від класичного біта, кубіт використовує унікальні квантові властивості для зберігання та обробки інформації, що дозволяє виконувати певні обчислення набагато швидше.

Біт і кубіт



Застосування квантових комп'ютерів

Існуючі застосування

- **Криптографія:** алгоритм Шора для факторизації великих чисел, що загрожує сучасним системам шифрування
- **Оптимізація:** вирішення складних логістичних та фінансових задач
- **Хімічне моделювання:** симуляція молекул і хімічних реакцій для розробки нових матеріалів та ліків
- **Машинне навчання:** прискорення навчання нейронних мереж та аналізу даних

Перспективні напрямки

- **Квантовий інтернет:** абсолютно захищені канали зв'язку на основі квантової телепортації та розподілення запутаності
- **Штучний інтелект:** квантові нейронні мережі з потенційно більшою ефективністю
- **Медицина:** створення персоналізованих ліків на основі аналізу генома
- **Кліматичне моделювання:** точніші прогнози змін клімату та природних явищ

But what is quantum computing? (Grover's Algorithm)

Підсумки: від класичних до квантових обчислень

Транзисторні комп'ютери

Використовують біти (0 і 1) для представлення інформації, побудовані на логічних елементах, мають архітектуру фон Неймана, підпорядковуються законам класичної фізики.

Квантові комп'ютери

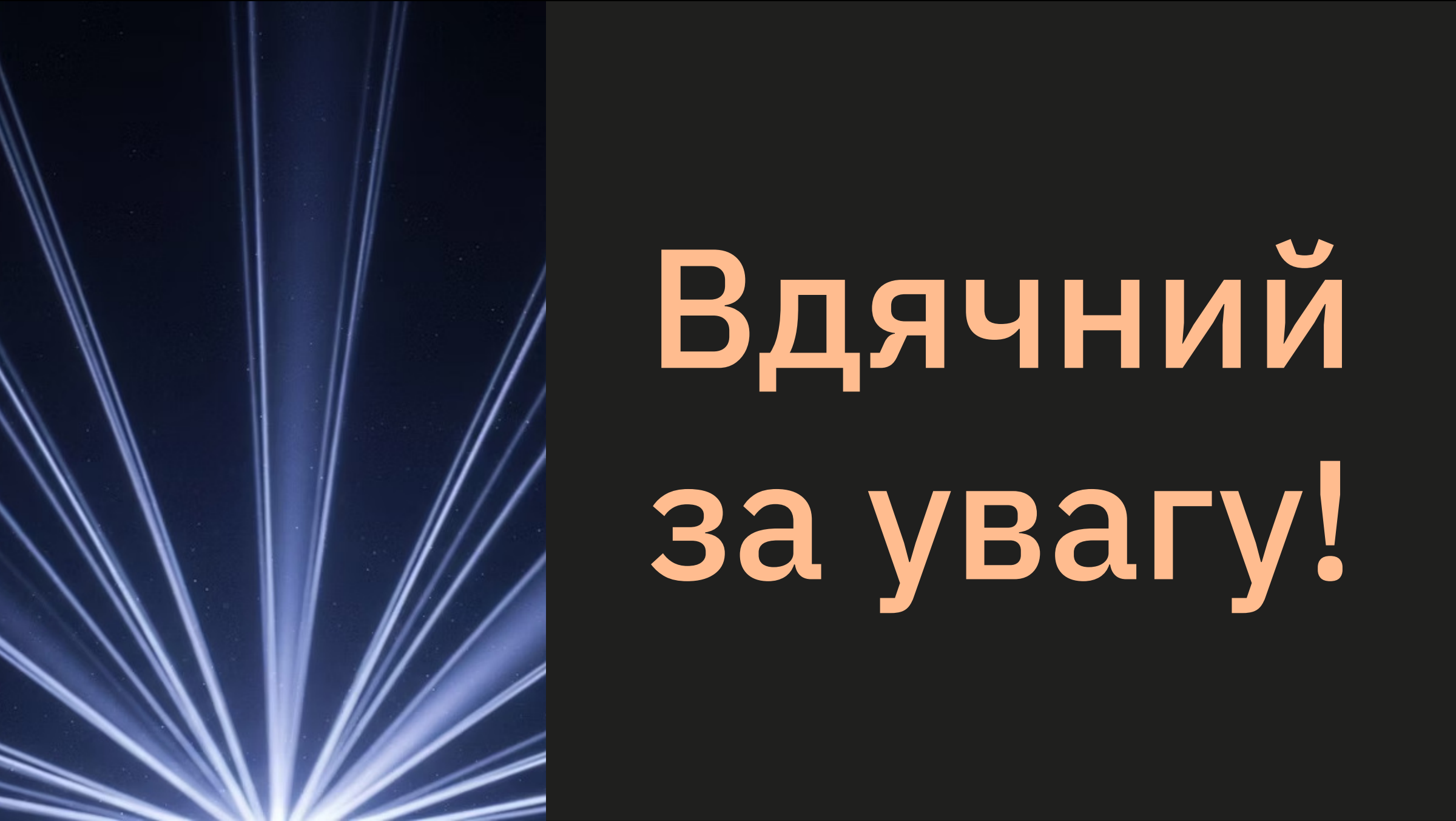
Використовують кубіти в суперпозиції станів, застосовують квантову запутаність, експоненційно прискорюють специфічні задачі, підпорядковуються законам квантової механіки.

Майбутнє обчислень

Гібридні системи, що поєднують класичні та квантові підходи, нові парадигми програмування, революційні алгоритми та застосування в науці, медицині та штучному інтелекті.



Незважаючи на стрімкий розвиток квантових технологій, класичні комп'ютери залишаються основним обчислювальним інструментом для більшості завдань у найближчому майбутньому. Важливо розуміти принципи роботи обох типів систем та їх оптимальні сфери застосування.



**Вдячний
за увагу!**