# QUANTUM informatika -- mit ígér a kvantum fölény? (Háttér fóliák)

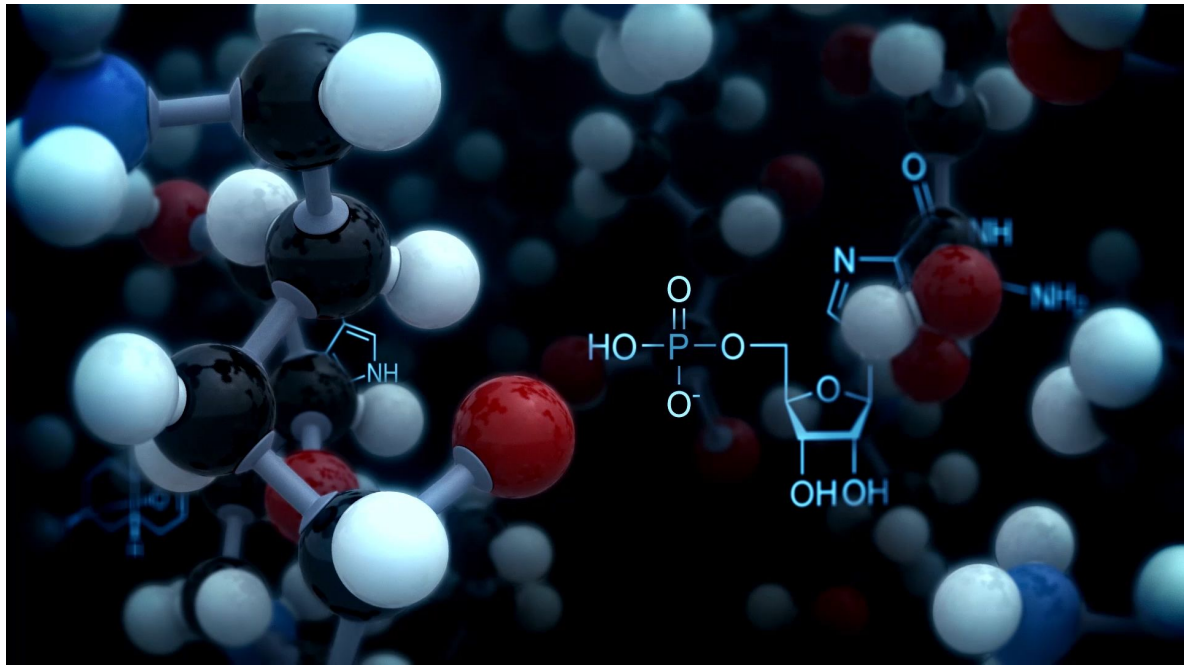
**Dr Lőrincz István nyá. alez.**

2025. november 13.-n 18:00
**Kiss Károly Hadtudományi Klub**

**„Mindenki Hadtudománya” előadássorozat**

**2025. II. félév**

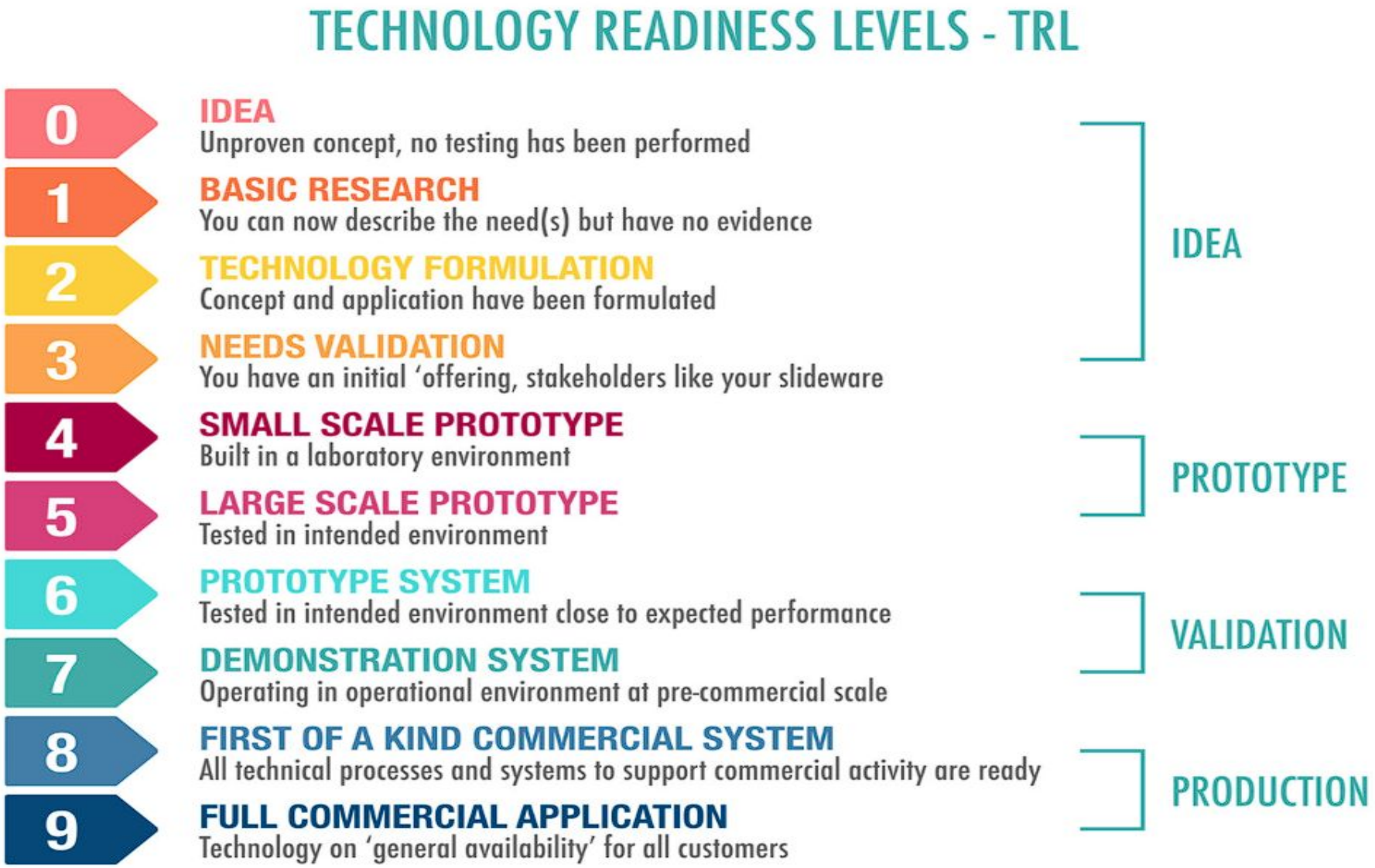
(Stefánia Palota, Pódium bár)



# Készenléti szint (TRL – Technology Readiness Levels)

NASA-1964 …. EU-2014





# Fogalom & Rövidítés Jegyzék (a fontosabbak)

---------- MHTT

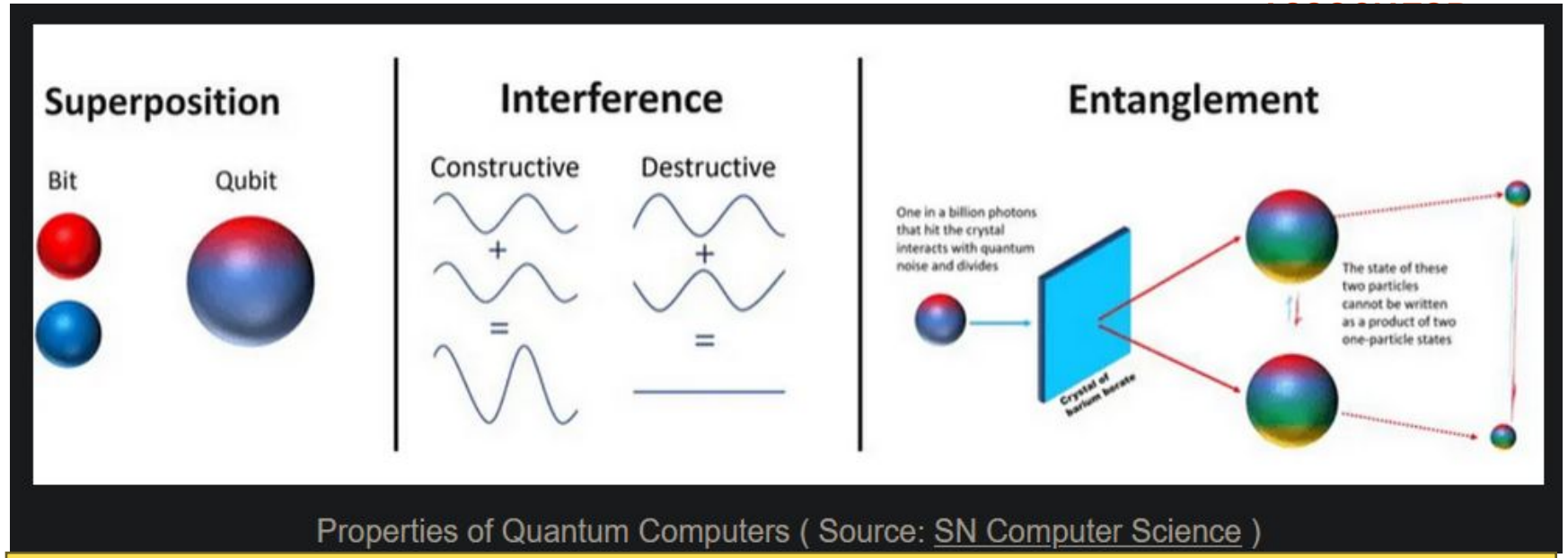
**AI**— Artificial Intelligence — MI—Mesterséges Intelligencia
**AE** Autoencoder Felügyelet nélküli tanulási modell automatikus input felismerő és reprodukciós képességgel
**AQC** Analog Quantum Compute Analóg Kvantumszámítógép
**CCC** Computing Community Consortium Számítógép(es) Vállalat(i) Társulás
**CFN** Collision-Free navigation Ütközésmente navigáció
**CPTP** Completely-positive trace preserving A kvantumcsatornák teljesen pozitív (CP) nyomtartó térképek az operátorok tere között.
-- Decoherence Szétesés (Kvantumos)
**DFT** Density functional theory A Sűrűség funkcionált leíró elmélet
**DQC** Digital Quantum Computer Digitális Kvantumszámítógép
**eFTQC** Early fault-tolerant quantum computer Korai hibatűrő kvantum számítógép
**EIB** European Innovation Bank Európai Innovációs Bank
**EIC** European Innovation Council Európai Innovációs Bizottság
**ERC** European Research Council Európai Tudományos Kutatási Bizottság
**EW** Electronic Warfare Elektronikus Harc(ászat)
-- Entanglement Összefonódás
**FPGA** **F**ield **P**rogrammable **G**ate **A**rray Alk. Függően Programozható Lapka
**FTQC** Fault Tolerant Quantum Computing Hibatűrő Kvantum Számítás(technika)
**FTQC** Fault-Tolerant Quantum Computer Hibatűrő Kvantum Számítógép

# Qbit, Quantum állapot, Quantum összefonódás (Egy alapvetően új szemlélet KELL!)

ASSOCIATOR

- A klasszikus és a kvantum szemlélet  különbségei (determinizmus – indeterminizmus)
- Koppenhágai konferencia
- A kvantum világban nincs más kapaszkodó: bármely állítás acsa igaz, ha összhangban van a természettel (kritikus megfigyelés készlet)
- Új jelentést nyer az információ: megjelent a kvantum információ – egy új kalkulussal (és a névegyezés visszásságaival) azaz
- A Kazualitás eltűnik, helyébe a kvantum statisztika, az esszenciális véletlen lép
- Az Állapotfüggvény: **ψ – mit fejez ki és hogyan, reprezentációk, argumentumok és más tulajdonságok**

# Qbit, Quantum állapotok, Quantum összefonódás / Teleportáció
# (Az alapvetően új szemlélet kifejeződései)




Properties of Quantum Computers ( Source: SN Computer Science )

**Bit Qbit Qbittel kifejezhető állapotok:**
**Qbittel végrehajtható műveletek**

210210-(87) Kvantumszámitógépről 1 percben (Magyarul) - YouTube.htm

**Állapotfüggvény**

# Qbit gond: Nem klónozhatósági tétel
# (Az alapvetően új szemlélet kifejeződései)

ASSOCIATOR

A **no-cloning theorem állítása:**

**Nem létezik (!LÉTEZHET!) olyan univerzális kvantummechanikai hatás (elméletileg művelet / unitér transzformáció) vagy kvantum-csatorna, amely egy tetszőleges ismeretlen kvantumállapotot hibátlanul lemásolna!**

**A tétel értelme:**

**Klasszikus információ vs kvantuminformáció**

**Klasszikus bitek szabadon másolhatók (0 → 00, 1 → 11) → Háttértárak**
**Kvantumbitek azonban szuperpozícióban / összefonódottan lehetnek!**

**Következmények: (Nincs tökéletes)** (→ **Másolhatóság,** → **Törölhetőség,** → **Szétoszthatóság** )

1 **Kvantumbiztonság**: ezért **nem lehet kvantumállapotokat titokban másolni** → ez alapja a kvantumkriptográfia biztonságának **(pl. BB84 protokoll).**

2 **Kvantumteleportáció**: **ha nem klónozható, hogyan lehet mégis „átvinni" egy Qbitet?**
Csak úgy, hogy **az eredeti megszűnik** (kvantumteleportáció során) **és az állapot „átkerül" egy másik helyre, de nem marad meg az eredeti példány (pl. Y00 protokoll).**

3 **Másolás ≠ közelítés**: bár tökéletes másolat nem készíthető, **léteznek klónozó gépek közelítő másolásra** (approximate cloning machines), amelyek bizonyos valószínűséggel vagy pontossággal tudnak másolatot létrehozni, de nem 100%-os sikerrel.

# Qbit: Hogyan keletkezik? Hogyan manipulálható? Hogyan múlik el? (Az alapvetően új szemlélet kifejeződései)

ASSOCIATOR

- **Hogyan jön létre egy qubit?**

**Alapelv:** A qubit egy kétállapotú kvantumrendszer (Hilbert-tér dimenzió 2). Létrejön, ha egy fizikai rendszert úgy izolálunk és vezérlünk, hogy két kvantumállapotot ki tudjunk jelölni: (|0\rangle), (|1\rangle).

- **Hogyan kezelhető egy qubit?**

**Unitér műveletekkel**: lézerek, mikrohullámok, elektromos/mágneses impulzusok → ezek forgatják a qubitet a Bloch-gömbön.
**Kvantumkapuk:** logikai műveletek kvantumállapotokkal, pl. Hadamard, CNOT.
**Mérés:** a qubitet végül egy adott bázisban mérjük → összeomlik (|0\rangle)-re vagy (|1\rangle)-re.

**Hogyan múlik el egy qubit?**
A qubit sosem „örökéletű”:
**Dekohorencia:** a környezettel való kölcsönhatás miatt az állapot elveszíti kvantumos jellegét (szuperpozíció → klasszikus keverék).
**Relaxáció:** az energiaszintek közti különbség miatt a rendszer visszaugrik alapállapotba.
**Műszaki hiba:** zaj, hő, vibráció, elektromágneses fluktuáció, kozmikus sugárzás.

- **Qubit élettartam – (T_1) és (T_2) idők**

**(T_1):** relaxációs idő (mennyi ideig marad az állapotban, mielőtt spontán átugrana).
**(T_2):** koherenciaidő (mennyi ideig marad fázisinformáció megtartva a szuperpozícióban).

# Qbit típusok: Szupravezető - Ioncsapda – Fotonikus Spin – NV-Centrum – Majorana (Az alapvetően új szemlélet kifejeződései)

ASSOCIATOR

| Qubit típus | Hordozó fizikai rendszer | (T_1, T_2) tipikus élettartam |
|---|---|---|
| Szupravezető (transmon, flux qubit) | Josephson-csatolt áramkör | (10)–(500 ,\mu s) |
| Ioncsapda | Egyedi ion hiperfinom szintjei | (1)–(100) s (!! nagyon hosszú) |
| Fotonalapú | Polarizáció / módus | Elméletben stabil, de a **veszteség** dominál (pár ns–µs a kísérletekben) |
| Spin qubit (félvezető) | Elektron/nukleáris spin | ms–s (attól függ, mennyire tiszta a környezet, pl. szilíciumban s-ekig is lehet) |
| NV-centrum (gyémánt) | Elektron spin | µs–ms (szobahőmérsékleten), kriogén környezetben akár s |
| Topologikus qubit (pl. Majorana) | Elméleti koncepció, kísérleti stádium | cél: „kvázi végtelen” koherenciaidő, de még nem igazolt gyakorlatban |

| Qubit típusa | Fizikai hordozó | Kezelés | Mérés | Jellemzők |
|---|---|---|---|---|
| Spin qubit | Elektron/nukleáris spin (félvezető kvantumpötty) | Mikro-/RF impulzus | Elektronvezetés / optikai | Skálázható, de érzékeny zajra |
| NV-centrum qubit | Gyémánt nitrogén–vakanica hiba | Lézer + mikrohullám | Fluoreszcencia intenzitás | Szobahőmérsékleten is működik, stabil |
| Topologikus qubit | Majorana zero-modes (szupravezető–félvezető hibridek) | Braiding, topológiai műveletek | Szupervezető áramkör jelei | Elméletben rendkívül stabil, gyakorlatban kísérleti |

# Előkép: Analóg gép



- **Ötlet:** Ha nincs elméleti megoldásod, modelezz és mérj – minden erőlködés nélkül a valóságot ismerheted meg! **(A természet tudja a dolgát!)**

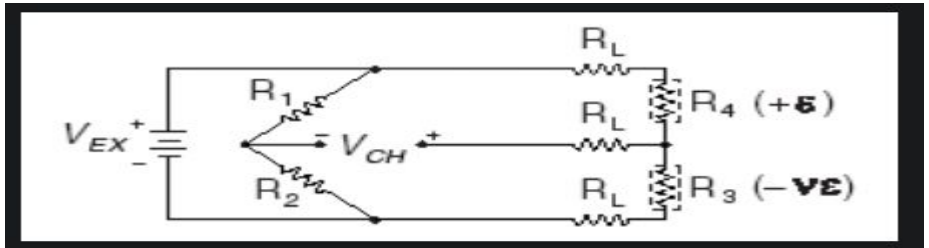



**Figure 1-7.** Half-Bridge Type I Circuit Diagram

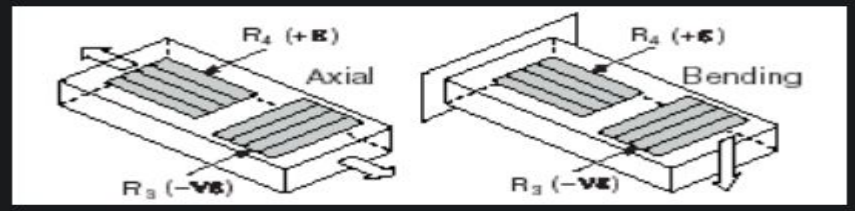



**Figure 1-6.** Half-bridge Type I Measuring Axial and Bending Strain

# Elvi séma: a Quantum Computer áll (1)

ASSOCIATOR

**1** -- egy erős **hagyományos számítógép**ből (amely elsősorban a többi egység vezérlésére, ill. a külvilággal való kapcsolattartásra szolgál)

**2** – **Qbit memóriából** -- vannak megvalósítóik által kölcsönösen kétségbe vont 0, 1, 2, 4, 6, 8, 12, 16, 32, 128, 256, 1000, és 2000 qbites kísérletek, amelyek fotonikus-, electron csapda-, szupravezető bölcső-, 1 vagy 4 vegyértékű ion csapda- alapúak,

**3** -- **Qbit processzor**ból és végül

**4** -- egy statisztikus **hibajavító egység**ből. A hibajavító funkció hivatott a beállítások ellenőrzésére, Qbit-ek vagy Qbit csoportok állapotának beállítására és fenntartására, a processzor által létrehozott összefonódott Qbit (csoport) állapotok, azaz az eredmény kiolvasására. Letéteményese Quantum processzer Quantum logikai alapú hibajavításának -- ellenőrzéseknek, a számítógép üzem hibavédettségének (időbeli stabilitásának, a számítások reprodukálhatóságának), végső soron az üzembiztonságnak.

**Megjegyzés:** a kvantum számítógép egyfajta analóg számítógép, amely működése közben nem analóg áramkörök, hanem kvantum áramkörök állapotait értékeli ki, méri.

# A Quantum Számítástechnika kialakulása 1

ASSOCIATOR

- **Richard Feynman Víziója a Quantum Computerekről:** 1981-ben Richard Feynman fizikus az Első Számítási Fizikai Konferencián tartott úttörő előadást, amelyben azt javasolta, hogy egy kvantum-elvek alapján működő számítógép hatékonyan szimulálhat kvantumrendszereket. Feynman meglátása döntő jelentőségű volt, mivel rávilágított a klasszikus számítógépek kvantumjelenségek szimulációjának korlátaira, és azt sugallta, hogy a kvantumszámítógépek hatékony megoldást nyújthatnak erre a kihívásra.

- **Paul Benioff és a Quantum Turing Gép:** 1982-ben Paul Benioff elméleti fizikus publikált egy tanulmányt, amelyben leírta a Turing-gép kvantummechanikai modelljét. Ez a modell, amelyet ma Kvantum Turing-gép (QTM) néven ismerünk, megalapozta a kvantumszámítási modelleket, mivel megmutatta, hogy a kvantummechanikai elvek alkalmazhatók a számítás elméleti alapjaira. Benioff munkája megmutatta, hogy a kvantumrendszerek a klasszikus Turing-gépekkel analóg módon használhatók információ elméleti megfontolások kipróbálására, sőt egyes tételek bizonyításárak elvégzésére.

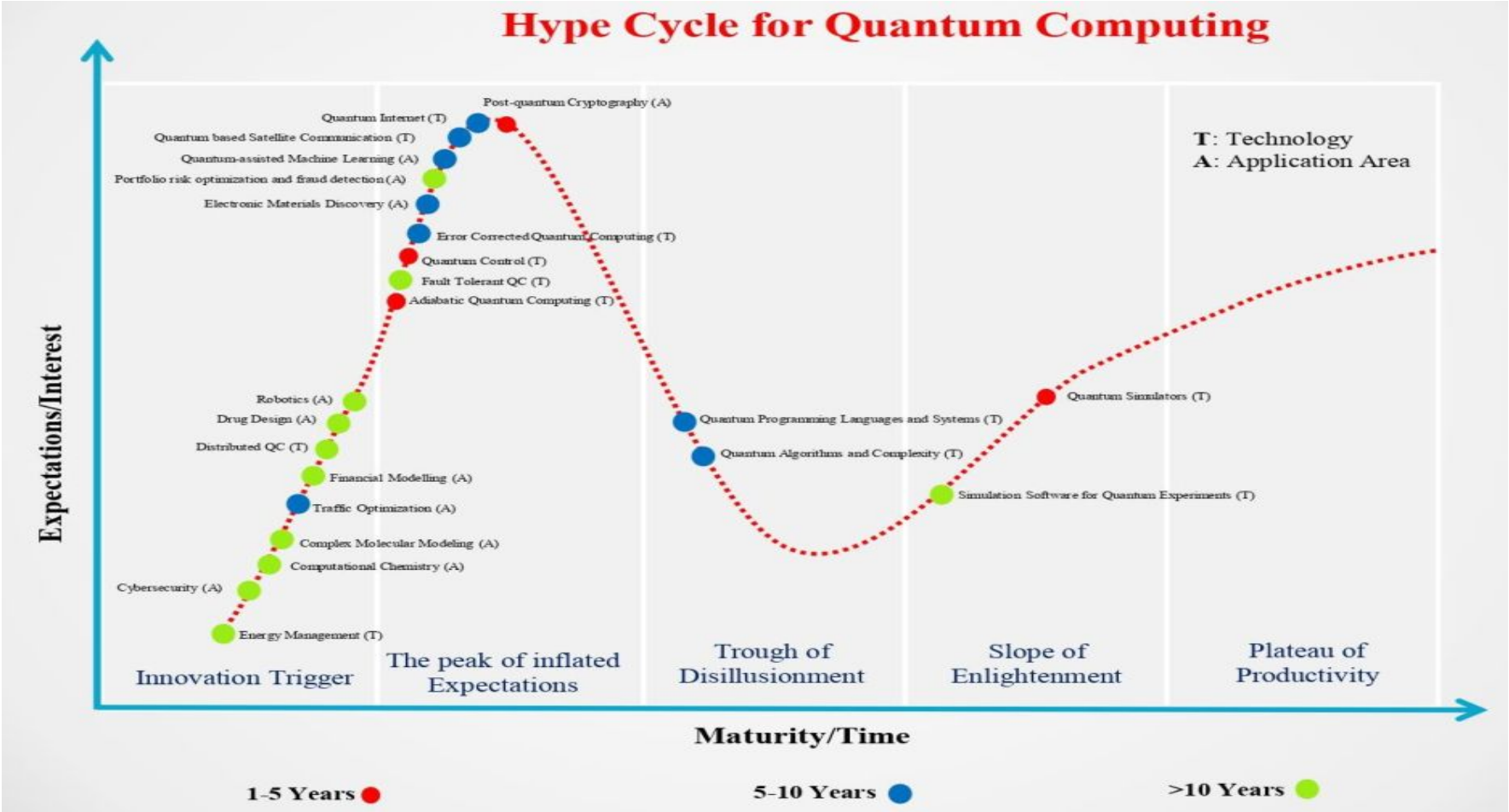
# A Quantum Számítástechnika kialakulása 2

ASSOCIATOR

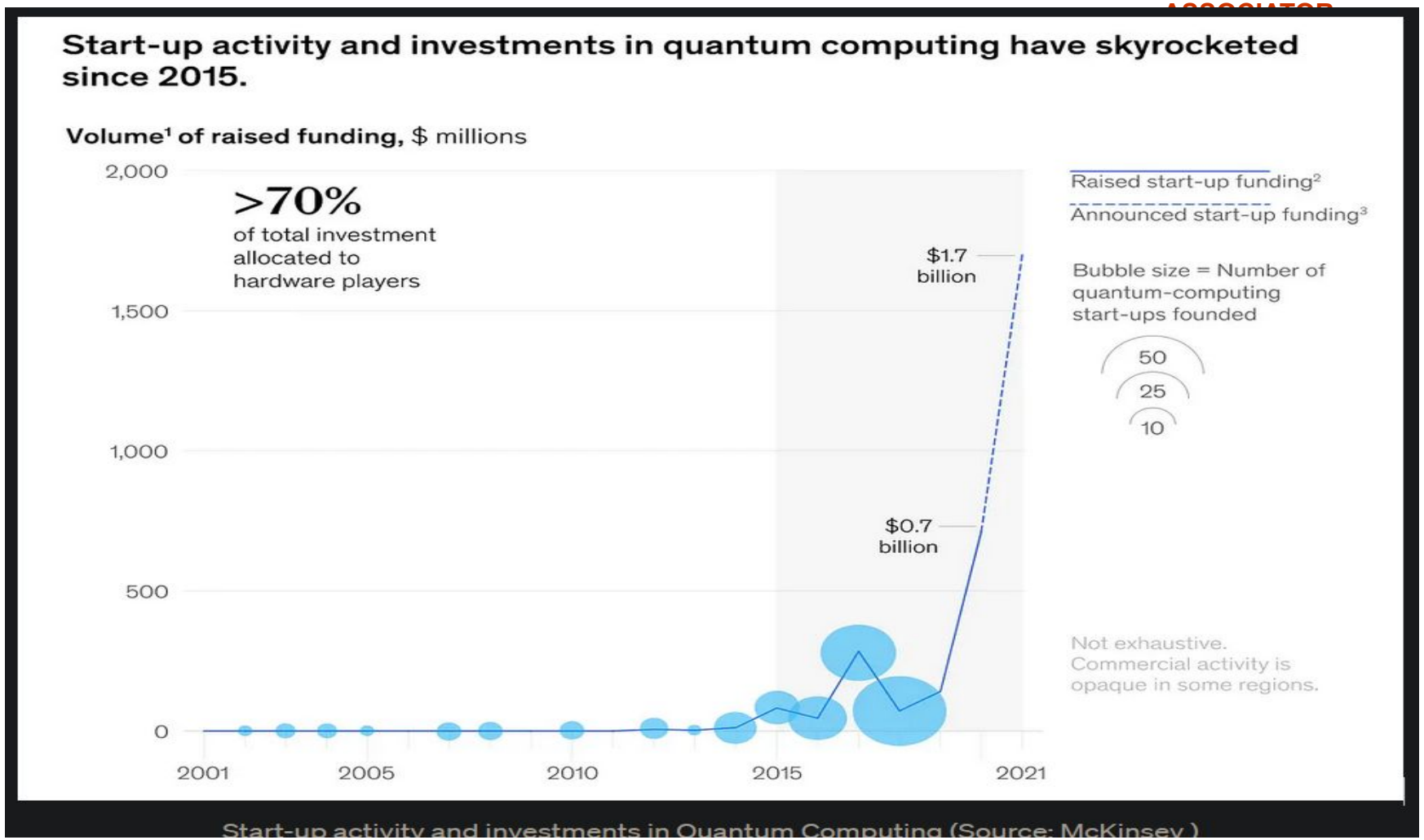
- **David Deutsch és az Univerzális Quantum Számítógép (Universal Quantum Computer):** 1985-ben David Deutsch brit fizikus úttörő tanulmányt publikált, amelyben bemutatta az univerzális kvantumszámítógép fogalmát. Deutsch munkája Feynman és Benioff elképzeléseire épült, és konkrétabb keretet adott a kvantumszámítógépek működésének megértéséhez. Kimutatta, hogy egy univerzális kvantumszámítógép bármilyen számítást képes elvégezni, amit egy klasszikus számítógép is, de a kvantummechanikától elvárható előnyökkel: Qbit szuperpozíció + összefonódás + időtlen kiértékelés + csodás távolhatás, vagyis az összes szoba jöhető állapotok számítás nélküli kiértékelésével. Deutsch munkája megalapozta a kvantumalgoritmusok fejlesztését is, egy egyre fejlődő és szabványosítható kapu+áramkör+művelet készlet bevezetésével, vagyis a Quantum programnyelvek lehetőségének megteremtésével. Ezzel a kvantum informatikai kutatások ismételten kulcsfontosságú területévé váltak.
- **A Quantum Kapuk és Áramkörök kifejlesztése (Quantum Logic Gates):** A kvantumszámítástechnika koncepció kikristályosodásával a kutatók elkezdtek foglalkozni a kvantum logikai kapuk fejlesztésével, amelyek a kvantum áramkörök építőkövei. A kvantumlogikai kapuk analógjai a klasszikus logikai kapuknak, de bitek helyett qubitekkel működnek, lehetővé téve a kvantummechanikai képességek kihasználását. Az 1980-as évek végén és az 1990-es évek elején megalkották például a CNOT-kaput és a Toffoli-kaput, amelyek később a kvantumalgoritmusok és -áramkörök szabványos alapvető elemeivé váltak.

# A Quantum Informatikai Eszközök fejlődési perspektívái



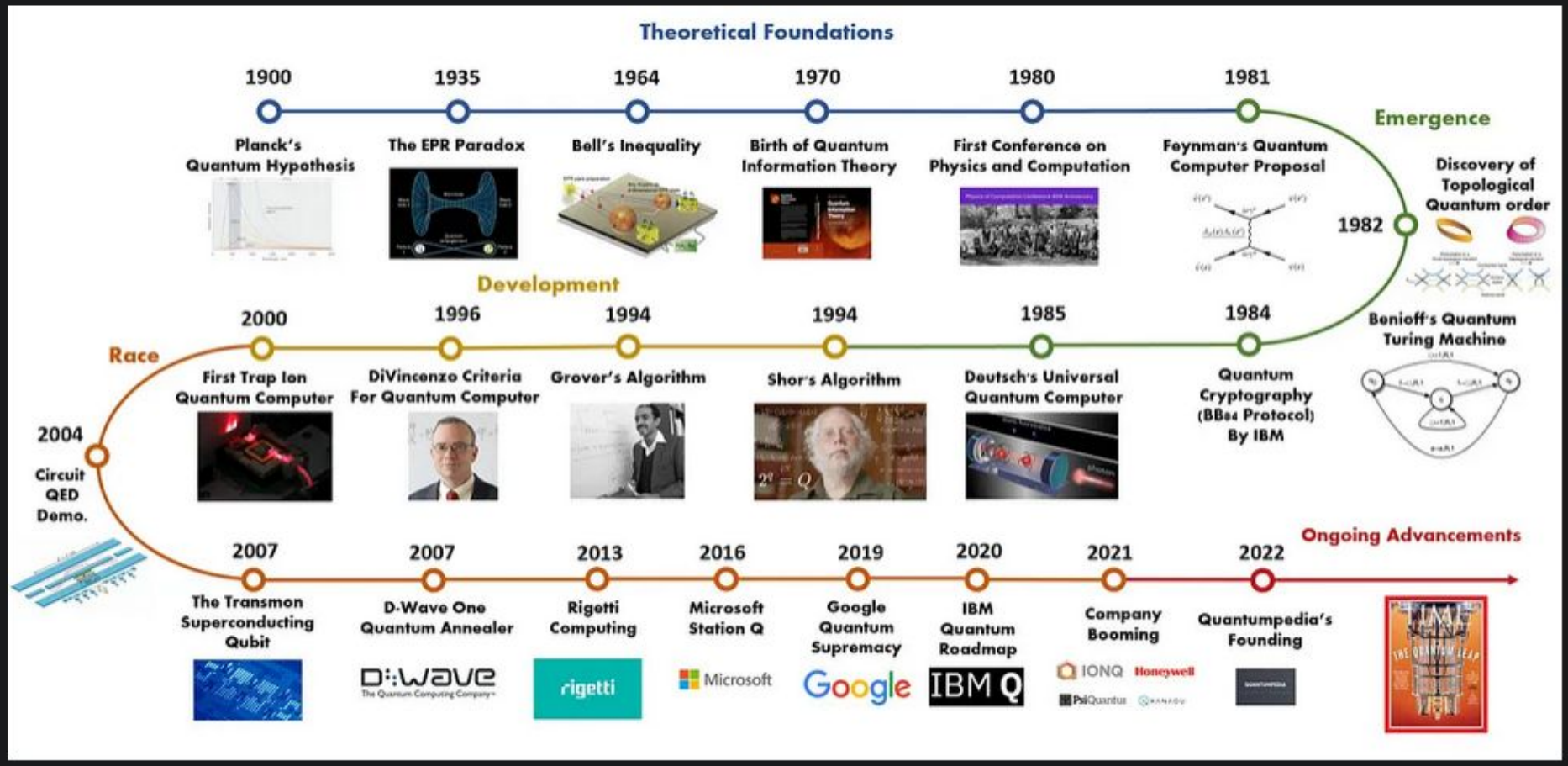


# A Quantum Hype jelenségek
# … és a „Bukszák” megnyílnak



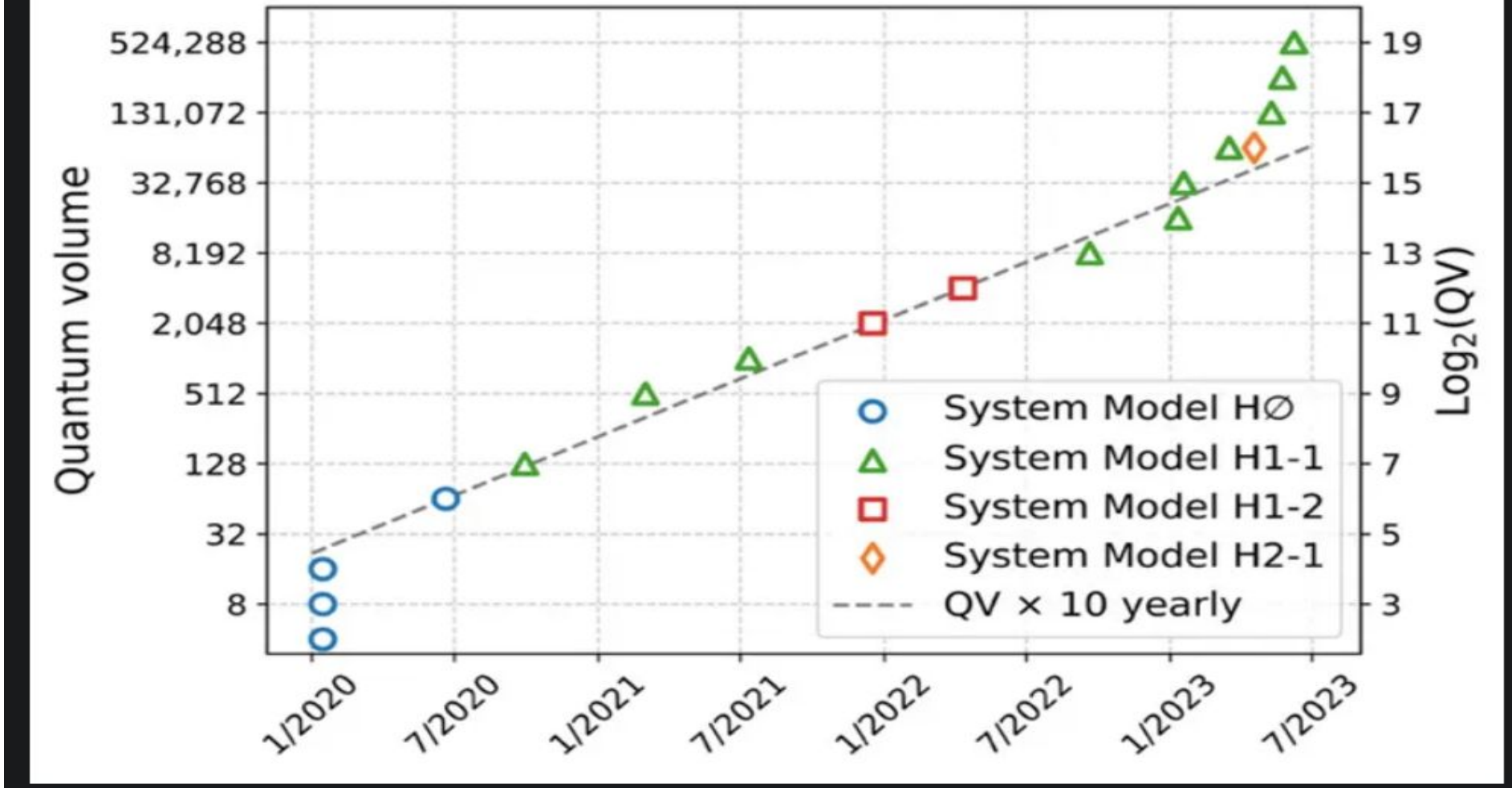

Start-up activity and investments in Quantum Computing (Source: McKinsey )

# 1-4 fejlődési szakaszok
# A Quantum Informatika
# rövid története



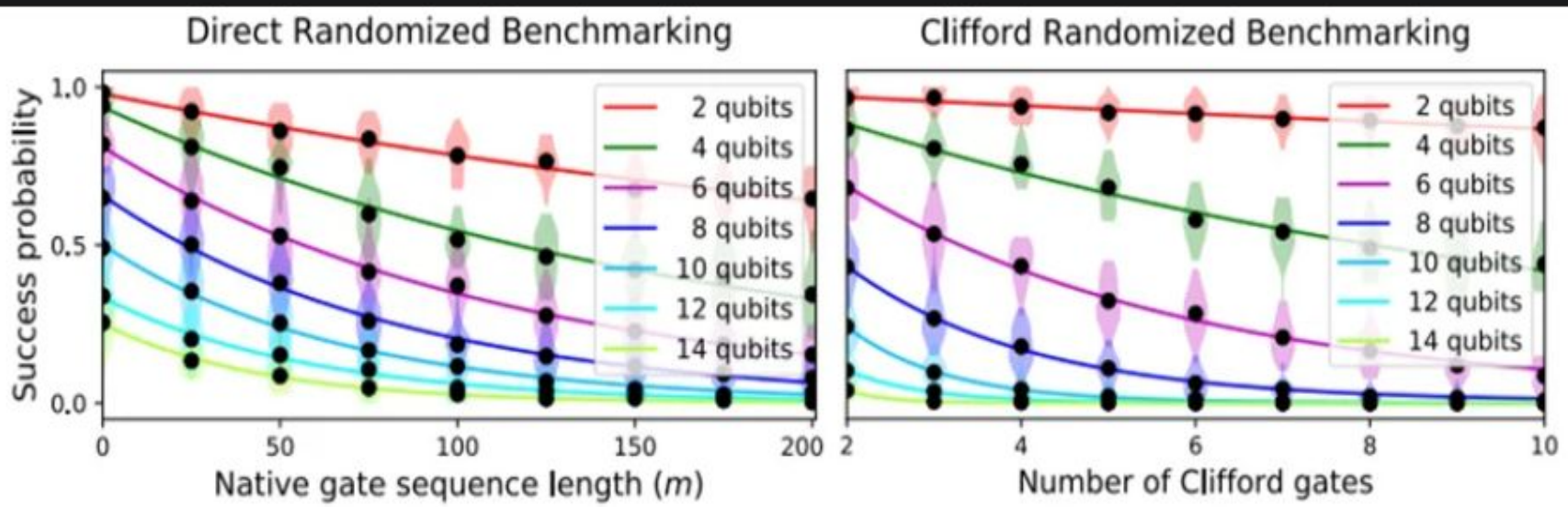

A Brief History of Quantum Computing ( Copyright: Quantumpedia )

# A Quantum Informatikai hatékonyság (Quantum kapuk száma)




Quantinuum H-series' Quantum Volume Benchmarking (Source: Quantinuum)

# A Quantum Informatikai hatékonyság
# (Kiolvasási hiba arányok kapu típusomként)

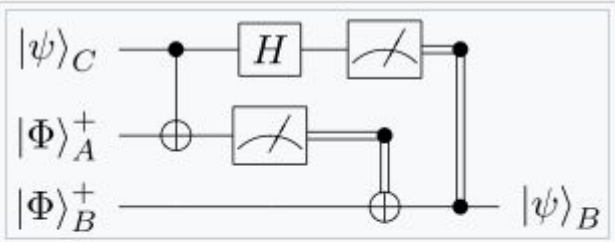



| Number of qubits | 2 | 4 | 8 | 14 |
|---|---|---|---|---|
| $\Omega$-averaged error rate $\epsilon_\Omega$ (%) | 0.300 | 0.599 | 1.19 | 2.08 |
| DRB $r$ (%) | 0.29(1) | 0.59(2) | 1.17(4) | 2.2(2) |
| CRB $r$ (%) | 1.8(2) | 9.9(4) | 38(2) | Failed |
| CNOT-rescaled CRB $r$ (%) | 0.83(9) | 1.02(4) | 0.97(5) | Failed |
| Depth-rescaled CRB $r$ (%) | 0.16(2) | 0.39(2) | 0.65(3) | Failed |

Simulation of DRB and CRB for 2–14 qubits with a simple error model. (Source: Arxiv)

# 4/5 Quantum Kapuk & Áramkörök (illetve grafikáik)

A Quantum Information elméletben egy **Quantum áramkör (lapka)** egy Quantum számítás elvégzésére alkalmas eszközt jelent, ugyanúgy, ahogy ez a hagyományos áramkörök (lapkák) esetében is volt. A Quantum lapkán a számítás **Quantum kapukból**, **mérésekből**, **Qubitek** adott értékre állításának lépéseiből áll össze (és még más nem funkcionális lépésekből). Egy áramkör felépítéséhez szükséges minimum lépés készletnek ahhoz, hogy működésük eredményét Qbiteken processzálásnak lehessen nevezni eleget kell tennie az un. **DiVincenzo kritériumoknak**.
Jelölésben az Áramköröket (lapkákat) úgy rajzolják (szerkesztik), hogy balról jobbra a vizszintes tengely képviseli az időt, a müveleti egymás utániságot. A szimpla vonalak a Qbiteket, míg a dupla vonalak a klasszikus **biteket** jelölik. A vonalakkal összekapcsolt szimbólumok a Qbiteken végrehajtott műveleteket-, a méréseket-, vagy a használt kapukat jelölik. A használt vonalak az elemi lépések sorrendjét határozzák meg és általában nem fizikai kábelekre utalnak.[2][3][4]
A Quantum áramkörök grafikai megjelenítésére a Penrose graphical notation. egy variánsát használjuk, ahogy azt Richard Feynman is tette egy a Quantum áamkökkel foglalkozó korai (1986-os) közleményében tette.[5]




Circuit that performs teleportation of a qubit.[1] This circuit consists of both quantum gates and measurements. Measurement is a quantum phenomenon that does not occur in classical circuits.

# Quantum programozás - Q-nyelvek

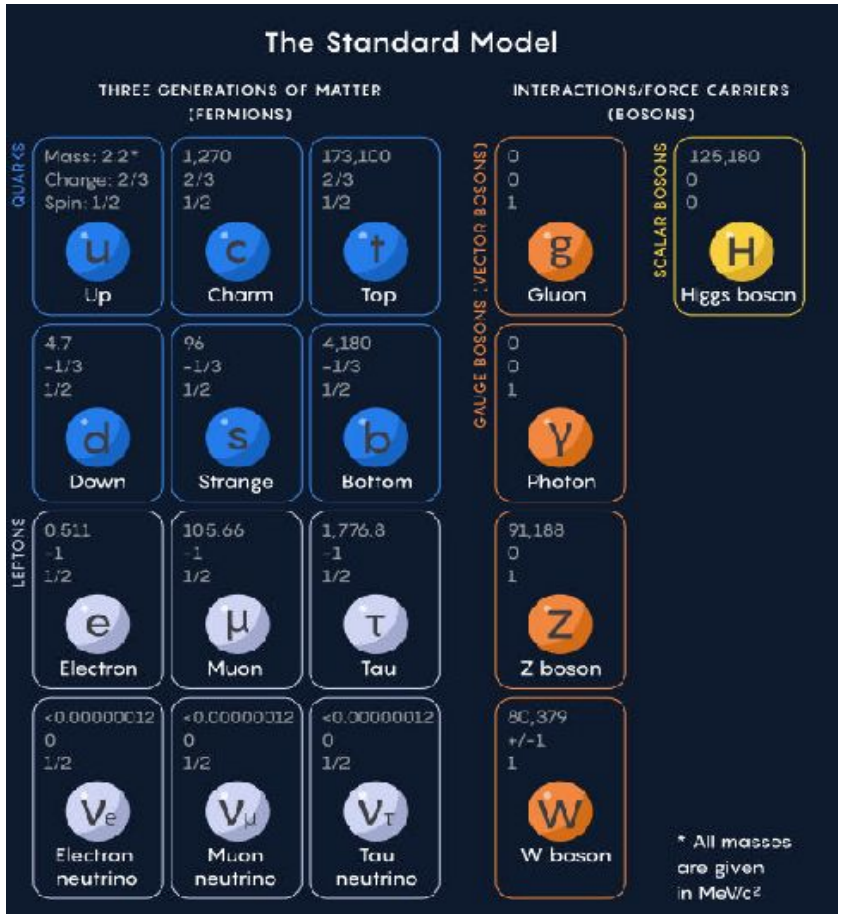


- **Quantum platformok helyzete:** még fejlődésük elején tartanak. A gépek még nem eléggé kereskedelmi termékek, még a fejlesztőik kezében vannak! A sorozat gyártás még nem indult be és a marketing inkább politikai és nem kereskedelmi. De az igény a fejlesztő eszközökre már megjelent, egyenlőre demonstrációs-,és projekt finanszírozási okokból. Következik a Qbit technológiai termék család fejlesztés, a gépek fokozatos eldifferenciálódása. Várható, hogy megjelenjenek a platform Hardware Logic Manual-ok.
- **Quantum fejlesztő környezetek:** (a **hagyományos fejlesztő házak** diktálnak, dominálnak és jellemzően **hagyományos gépeken futnak**, **hagyományos fejlesztő környezetek cél kiterjesztéseiként, mint a Quantum gépet vezérlő hagyományos számítógép egy alkalmazása**!). Eddig hírnévre tett szert a **Q#** (**MS** Quantum Katas projekt), a **Qiskit** (IBM 2017 Quantum Experience simulators), a **Cirq** (Google QuantumAI projekt, Pythonban írva), a Haskell v Ocaml , a **QCL** (JAVAScriptben írva), a **C++** (Bjarne Stroustrup.), a **Qasm** (C++-ban megírva), a **Python**.

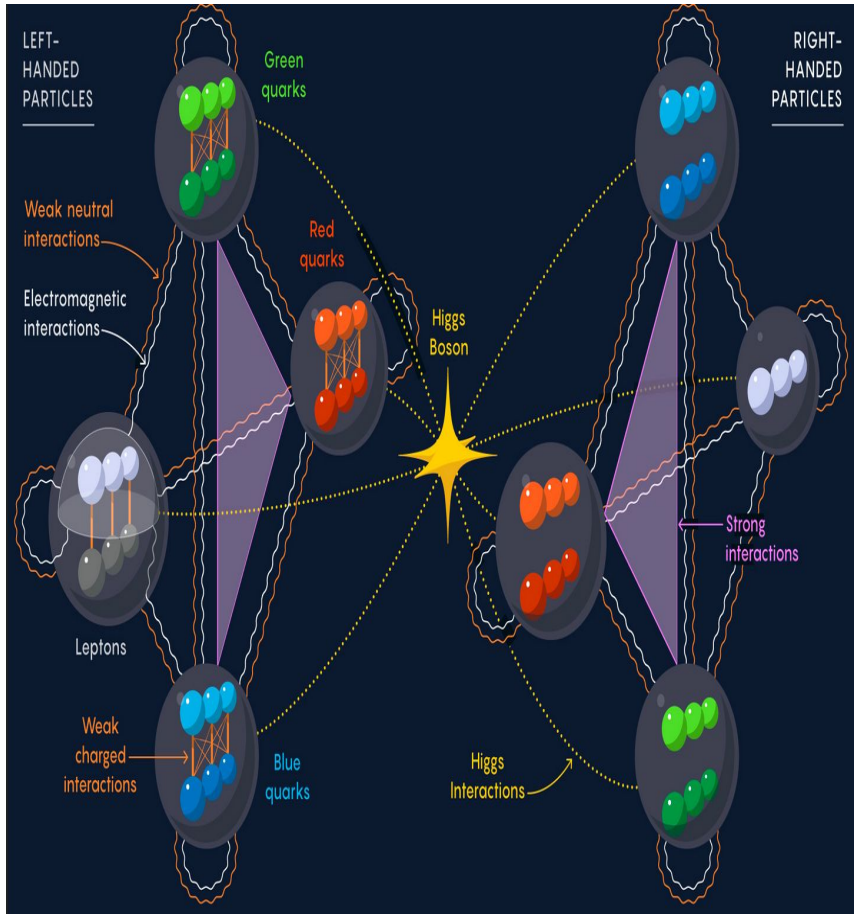
# 4.9 A Quantum Computing gondok
# (valószínű) elméleti háttere: az egységes térelmélet hiánya



- **A New Map of All the Particles and Forces**




**A 2D version of the full double-simplex model is available here.**



## A Kvantum fölény Katonai stratégiai érvényesítése (JADC2 – Joint All Domain Computing2 (C4ISR))

ASSOCIATOR

- **Harcvezetési rendszerek**
  **-- Koalíciós-állami-Hadszintér-válság szintek**
- **Műveleti rendszerek**
  **-- Hadműveleti szint**
- **Harctámogató rendszerek**
  **-- Parancsnok-Alakulat, Küldetés-Harcos(-Robot)**
- **Új típusú ember gép kapcsolatok**
- -- Autonóm/Irányított rendszerek,
  -- Ember-Gép szimbiózis (kvantum fiziológia),
  -- Drónok, Drón-rajok**,**
- **Virtual Reality**
  **-- WEB3 szabványok**

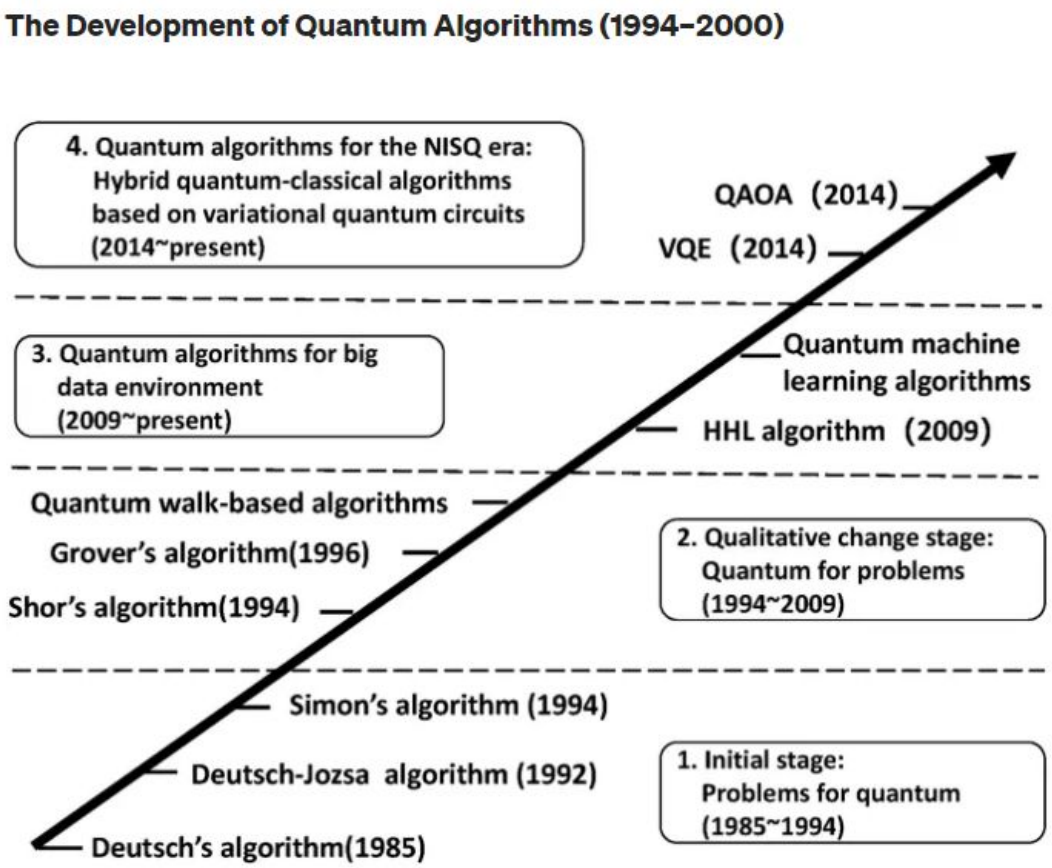
# A Kvantum fölény más alkalmazási területei (tervezetek)

ASSOCIATOR

- **További kvantum számítás kutatások**
  - -- Qbit típustól függő hibatűrő kvantum áramkörkészletek fejlesztése
  - -- Meg kellene szabadulni a µKelvin függőségtől (Peltier szintre legalább)
- **Stratégiai alkalmazások**
  - -- Meteorológiai és klímakutatási modellek,
  - -- Vegyszer és hatóanyag kutatások
  - -- Természeti erőforrás kutatások
- **Polgári – kereskedelmi alkalmazások**
  - -- Tömeg-pszihológiai kutatások
  - -- Idegélettani kutatások és alkalmazásaik
  - -- Népesedési (krízis) modellek
  - -- Egészégszervezési, Járványtani kutatások
  - -- Kvantum kommunikációs világhálózatok
  - -- A "Post Quantum Cryptography" alkalmazásai
- **Infrastruktúra alkalmazások**
  - -- Földtani térképek mélységi rétegszerkezet alapján
  - -- Kvantum logika szerinti távmérés, távérzék. és befolyás.
  - -- Nehezen hozzáférhető helyszínek ökoszisztémát (folyódelták. Gleccserek …..

# A legfontosabb Kvantum Algoritmikusok (Idővonal)






Summary of quantum algorithms' development ( Source: Springer )

240402-A Brief History of Quantum Computing _ by QUANTUMPEDIA - The Quantum Encyclopedia _ Medium.htm

# A legfontosabb Kvantum Algoritmikusok
# (Tételesen a lényeg)

ASSOCIATOR

- **1985 A Deutsch-féle algoritmus:** Mi az általános Quantum gép? -- és hogyan kell tervezni? Ahogy már megtárgyaltuk.
- **1992 Deutsch-Józsa algoritmus:** 5 lépéses Quantum logikai függvény, annak eldöntésére, hogy egy Qbit vagy Qbit csoport 0/1/"kiegyensúlyozott"? (!az első Quantum előny algoritmus!)
- **1994 Simon-féle algoritmus:** Simon probléma általános Quantumos megoldása $f:\{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}^n$
- **1994 Shor algoritmus:** Prímfelbontás polinomiális idő alatt. Az IBM a gyakorlatban is megcsinálta! 2022
- **1996 Grover algoritmus:** Kvantum keresés nagyméretű rendezetlen szöveg adathalmazon.
- **Quantum bolyongás algoritmus:** Kereső-, portfolió tervező- gráf-bejáró megoldás
- **2009 HHL (**Harrow, Hassidim, and Lloyd**)algoritmus:** általános mintaillesztéses optimalizáció a legkisebb négyzetösszeg módszerrel, hatalmas adatminta esetén.
- **2009 Quantum ML (gépi tanulási) algoritmus:** elképesztően széles sprektrumú algoritmus, szinte számlálhatatlan felhasználással (Lásd a hivatkozást)
- **2014 VQE (Variational quantum eigensolver) algoritmus:** Kémiai-, szimulációs- és optimalizációs feladatok megoldása sajátérték kereséssel. Erénye a nagyon számításigényes feladat polinomiális idejű megoldása.
- **2014 QAOA (quantum approximate optimization algorithm) algoritmus:** általánosított optimalizálási megoldás az összes lehetséges optimum állapot paraméterezett superpozíciójának vizsgálatával. (pl. egy gráf minimális csúcs burkolatának megtalálásához)

240402-A Brief History of Quantum Computing _ by QUANTUMPEDIA - The Quantum Encyclopedia _ Medium.htm

# Kvantum Algoritmikus érdekességek



- **Feladatok (és hozzá megoldások), amelyeket csak (vagy majdnem csak) kvantum géppel/kvantum algoritmussal lehet megoldani:**
  - 1994-től sokáig a Shor probléma és a Shor algoritmus volt a győztes
  - a jelenlegi győztes: keresd és találd meg egy vegyület (~ kvantum rendszer) lokális minimum energia állapotát! A megoldás a Cheng-Zou algoritmus (2024.03.12)

  -- Quantum gépeknek nagyon testhezálló feladatok: AI, anyagtudományi problémák (jobb akkumulátorok, növényvédő szerek, hatóanyag fejlesztés, elektrónikai anyagok „szabászata”, üzleti modellezés, napenergia hasznosítás, forgalom optimalizálás;
- **Feladatok, amelyek nem alkalmasak Qbit közelítésben:**

  -- a számítástudomány nevében erre a kérdésre még nincs válasz, mert bizonyos, hogy amit klasszikus gépekkel meg lehet oldani, azt Quantum számítógéppel is! DE …..

  -- a Quantum gépek fejlesztése még épp csak elkezdődött és a gyakorlatban sok kérdés még megoldatlan, fel se vetődött. Ilyen pl. a perifériakus vagy kisegítő eszközeinek / szolgáltatásainak fejlesztése, a szabványosításukról nem is szólva! Kézenfekvő lenne mondjuk Qbit háttértárolók létesítése, de ilyenek egyelőre egyáltalán nincsenek!

# Kvantum Informatika Magyarországon

ASSOCIATOR

- **Magyar Kvantum Inf. Kutatás Eredményei**
  - **Magyarország erős kvantum kutatásban (HunQuTech program, 3.5 milliárd Ft támogatás 2018-2022, meghosszabbítva 2025-ig), fókuszban kvantum kommunikáció, szimulációk, szenzorok.**
  - **A Kvantuminformáció Nemzeti Labor (2020-tól) koordinálja (Wigner Kutatóközpont vezetésével).**
  - **Eredmények: EU-s projektekben (Quantum Flagship, EuroQCI) részvétel, kvantum hálózatok prototípusai.**
- **2025-ig megvalósult fontosabb projektek:**

  **-- Kvantum kommunikáció: Optikai szálas QKD hálózat (Budapest-Pécs, 100 km, 2024); entanglement-alapú titkosítás (ELTE-Wigner, 99% biztonság).**
  **Eredmény: Első európai kvantum internet kapocs (HunQuTech, 2025).**

- -- Kvantum szimulációk**: Fotónikus kvantum szimulátor (BME, 2024)** molekula-modellezés gyógyszerekhez; **kvantum áramkörök (Csonka Szabolcs, BME)** 10x gyorsabb szimuláció.

  **-- Szenzorok: Nanogyémánt NV-centrumok (Gali Ádám, Wigner) mágneses mező detektálás 10^-12 T felbontással; kvantum gravitométer prototípus (ELTE, 2025).**

- **-- Számítástechnika: 1000-qubit kvantum számítógép fejlesztés (BME-ELTE, OpenSuperQPlus, 2025-ös indulás).**

# Kvantum Informatika Magyarországon

ASSOCIATOR

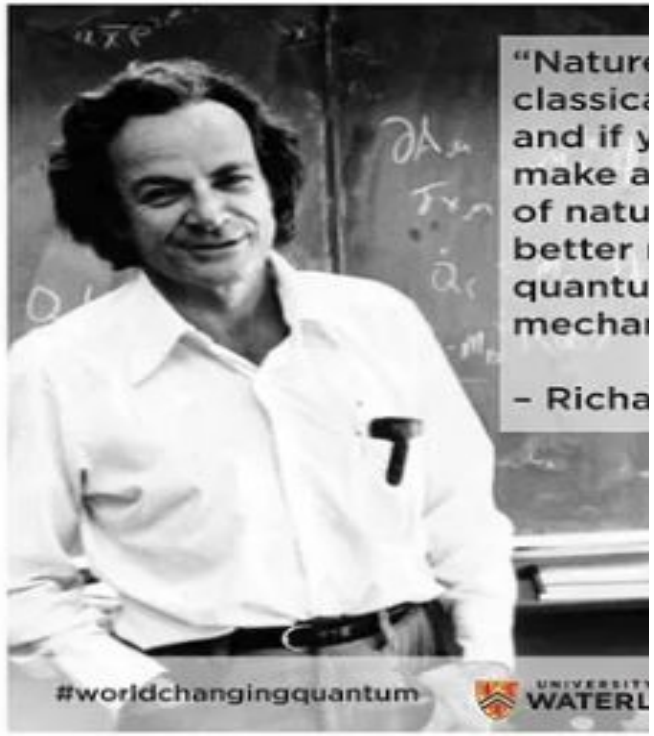
- **Kutatóhelyek:**
- - Wigner Fizikai Kutatóközpont (MTA): QKD hálózatok, szimulációk (Péter Domokos vezető).
- - ELTE Fizikai Intézet Kvantum optika, entanglement (Gábor Vattay).
- - BME Fizikai Intézet: Nanoelektronika, qubit áramkörök (Csonka Szabolcs, Péter Makk).
- - Rényi Intézet: Kvantum algoritmusok (András Gilyén, ERC Starting Grant 2025).
- **Start-up-ok és Kooperációk:**
- **- QCI Hungary: QKD hálózatok (Wigner-BME, EU EuroQCI partner, 2023-2025).**
- **- Femtonics: Kvantum mikroszkópok (orvosi képalkotás, Nokia kooperáció).**
- **- Quantinuum Hungary (korábban Honeywell): Kvantum szoftver (BME együttműködés).**
- **- Nemzetközi: HunQuTech (Ericsson, Nokia Bell Labs); OpenSuperQPlus (Németország, 2025, 1000-qubit projekt).**

## Ismert Magyar Kutatók:

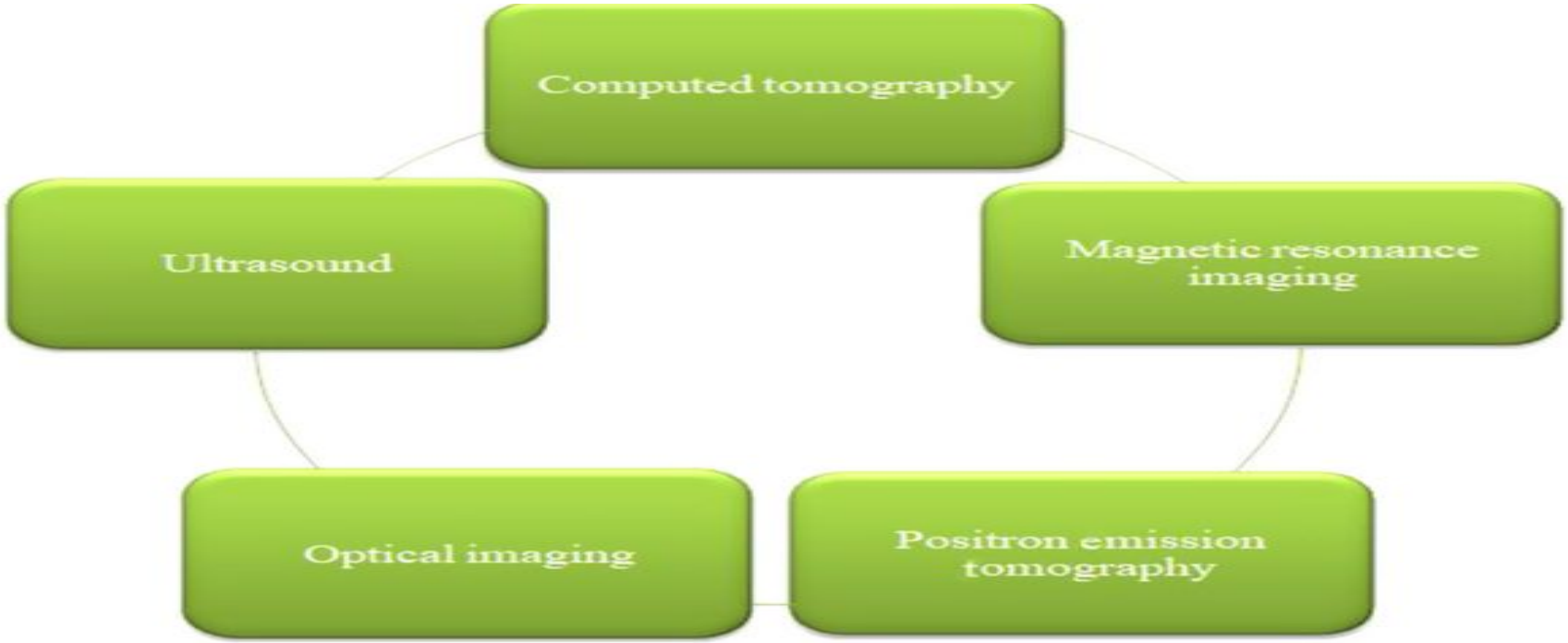
- Mihály Józsa (Bristol Uni.) prof. Cambridge-ben ; kvantum teleportáció úttörője
- - Péter Domokos (Wigner): Kvantum optika, QKD úttörő; Nemzeti Labor vezető.
- - Gábor Vattay (ELTE): Kvantum hálózatok, szabadalom quantum algoritmusra.
- - Gali Ádám (Wigner/BME): NV-centrum szenzorok, kvantum anyagok.
- - András Gilyén (Rényi): Kvantum algoritmusok, ERC grant 2025.
- - János Károly Asbóth (BME): Kvantum hiba-korrekció, OpenSuperQPlus.
- - Csonka Szabolcs (BME): Kvantum áramkörök, EU pályázati siker.

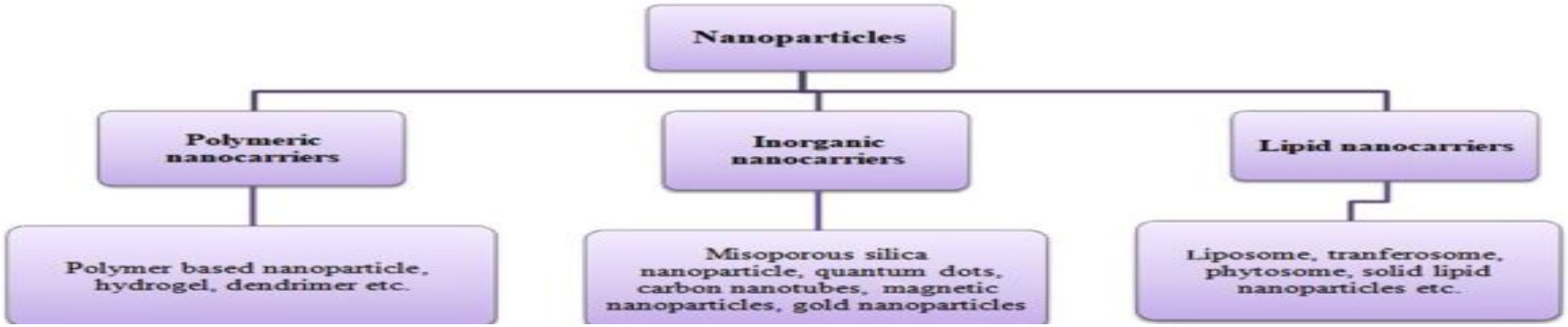
# A Quantum Informatikát felváltja
# Quantum számítógép korszak

- Mérföldkövek:
  -- Paul Benioff (1980 majd 1982) **cikkek a Quantum Turing Gépekről**
  bizonyitva, ami **Qbitekkel** Quantum mechanikailag **lehetséges az QTuring géppel is és visszont** -- Turing machines *with postselection*
  -- **Richard Feynman** (1981) javaslata: **építsünk Quantum számítógépet**
  -- **David Deutsch** (1985) **Universal Quantum Computer**: elmélet és gyakorlat

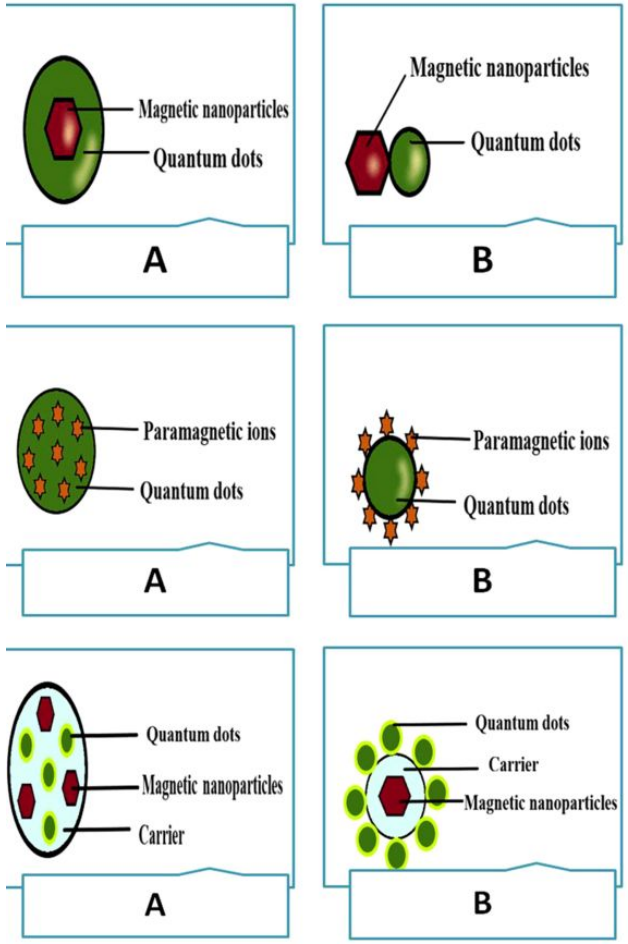


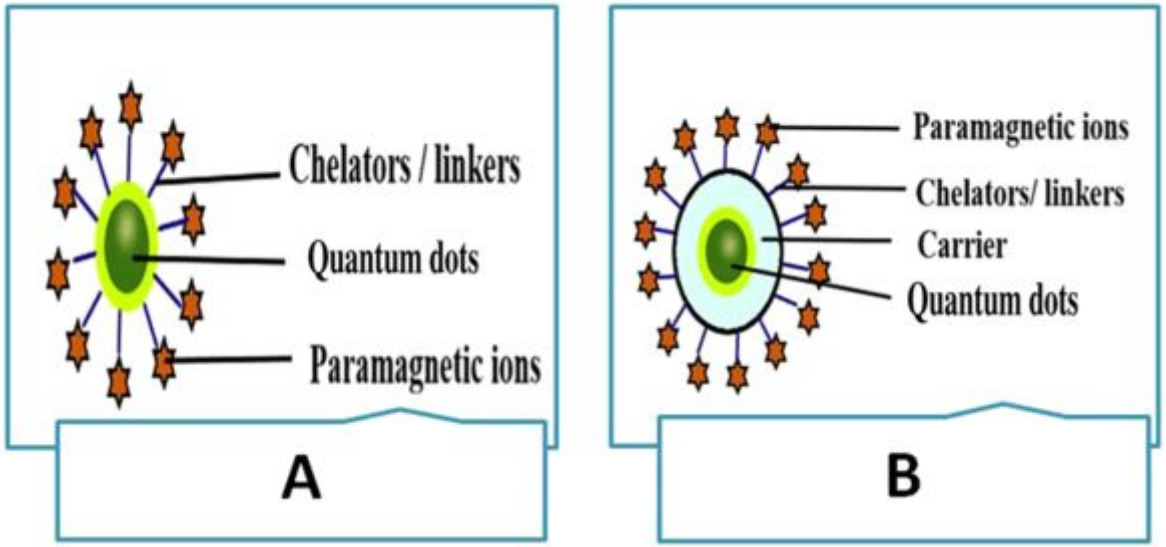
# Magnetic Quantum Dots for Bioimaging



# Magnetic Quantum Dots for Bioimaging



# Quantum Radar (Variant)

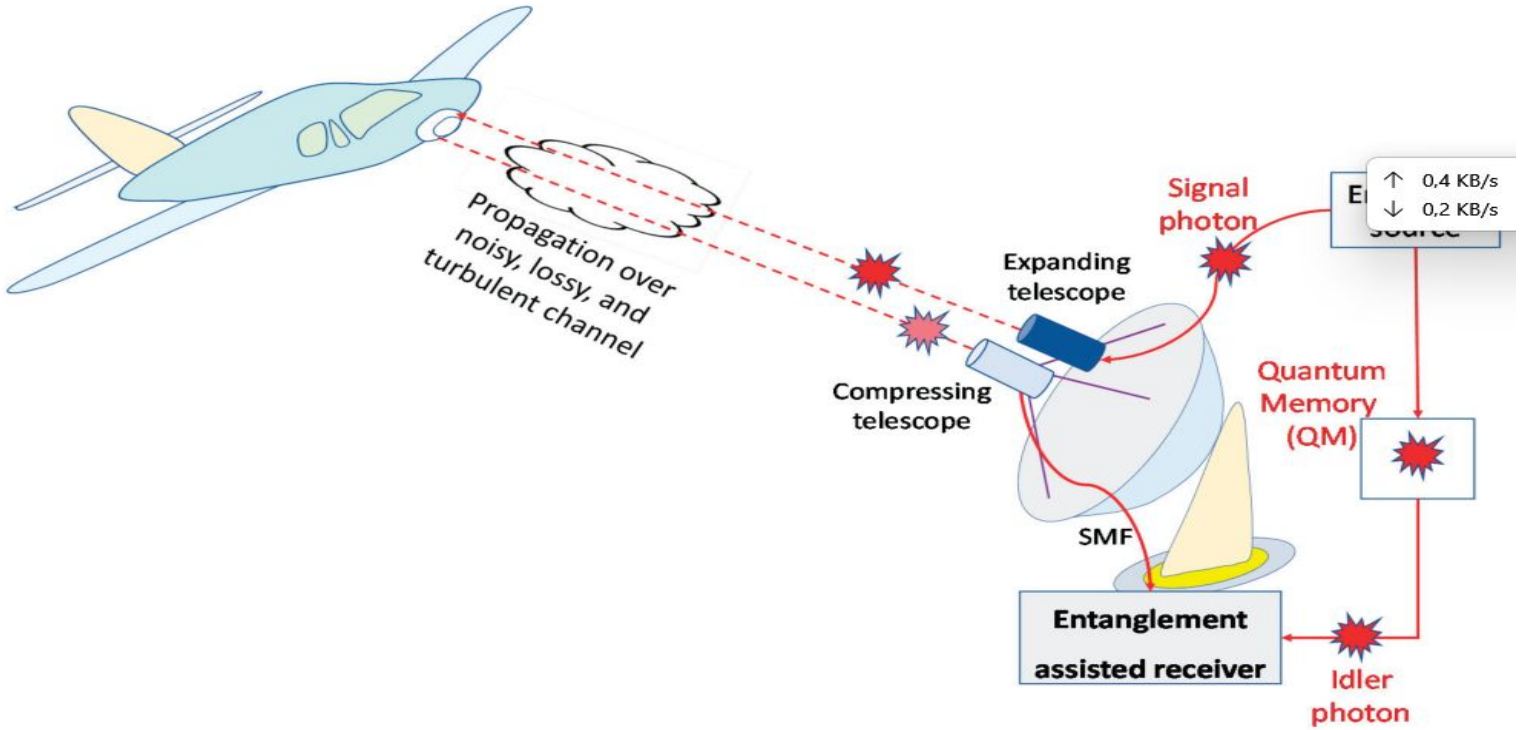
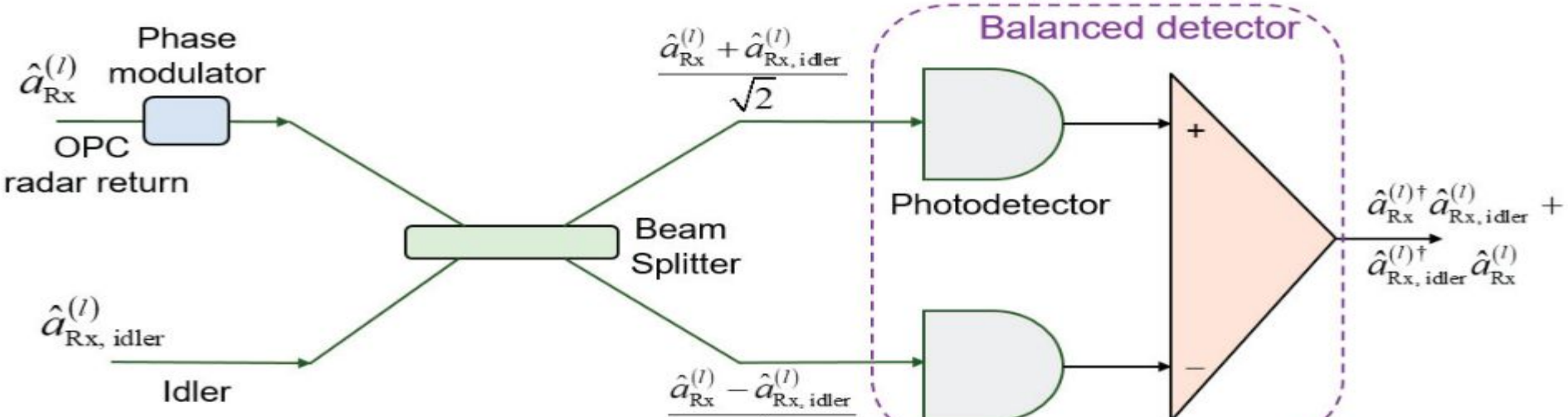
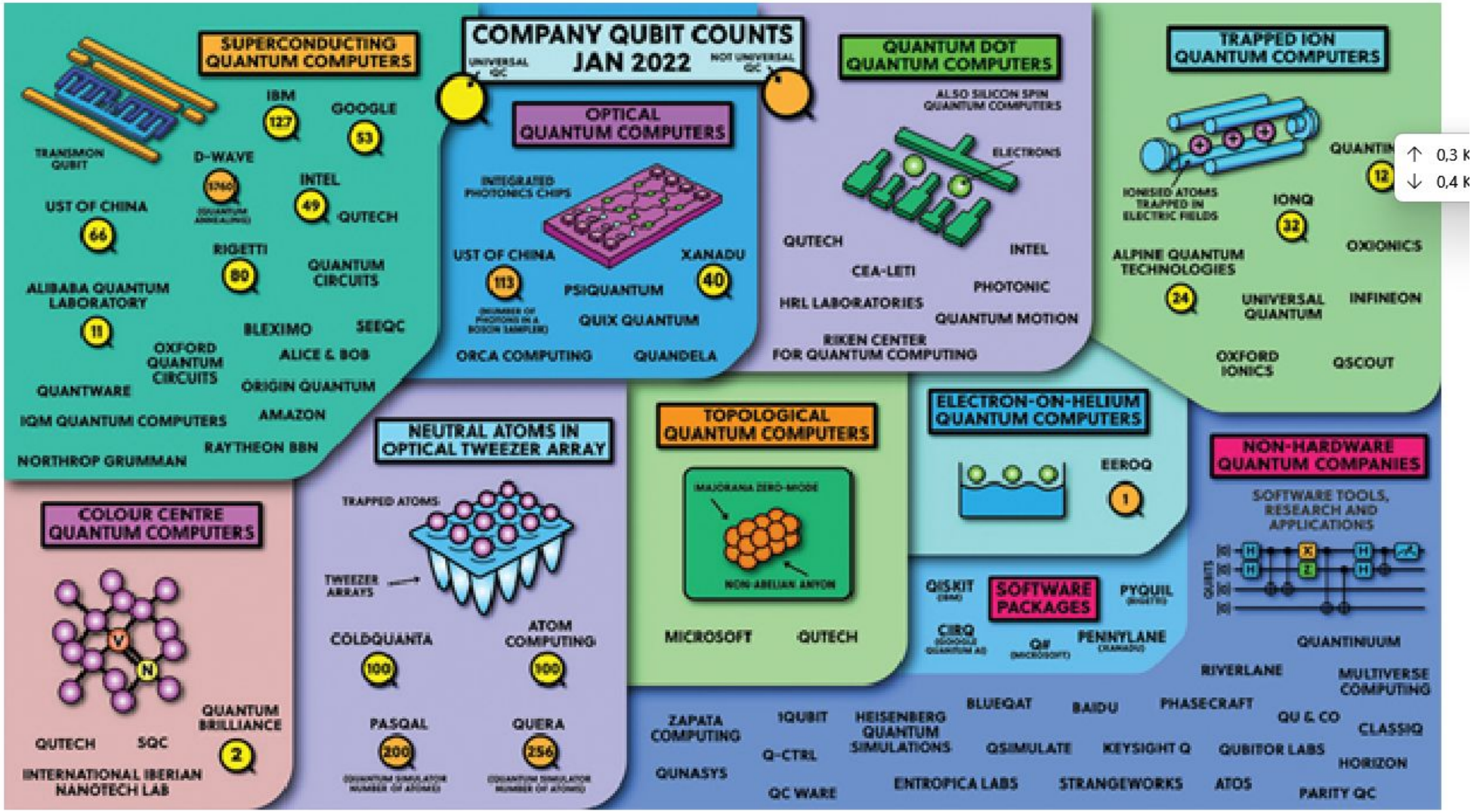


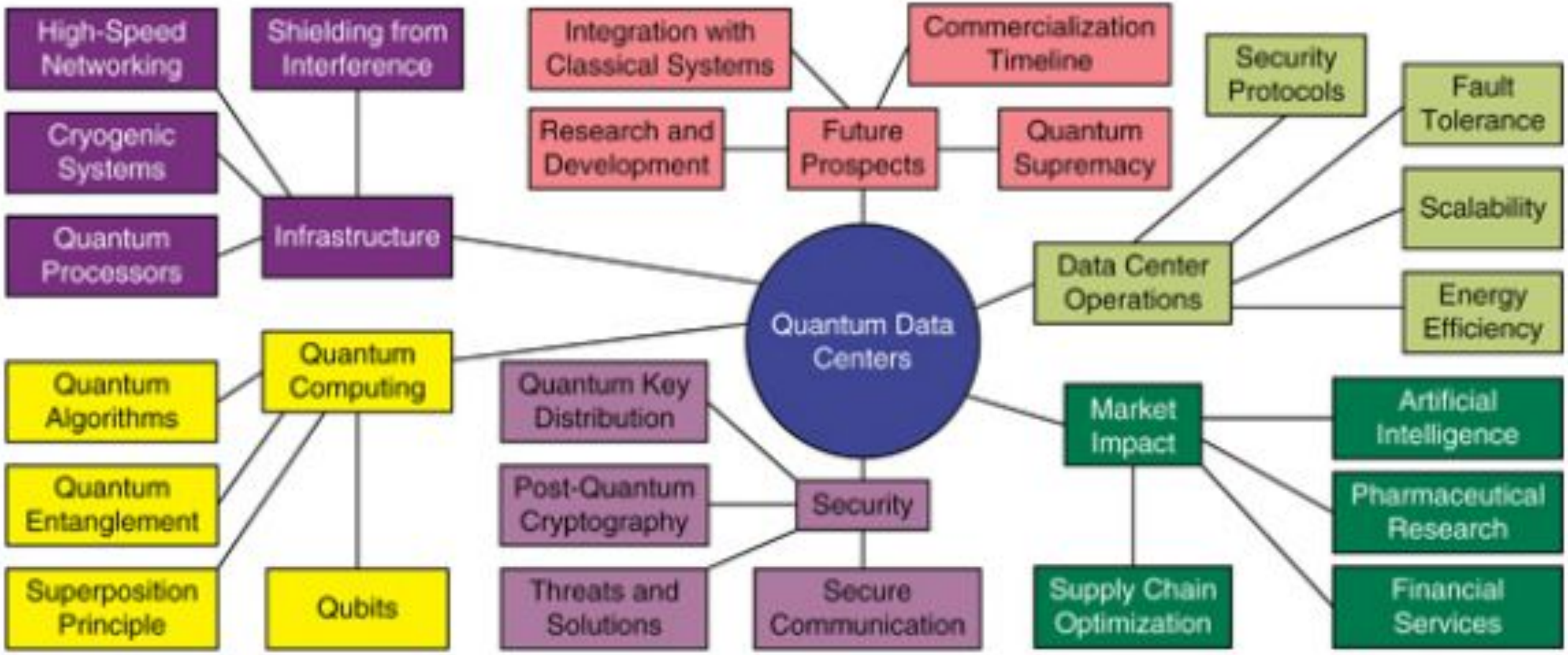
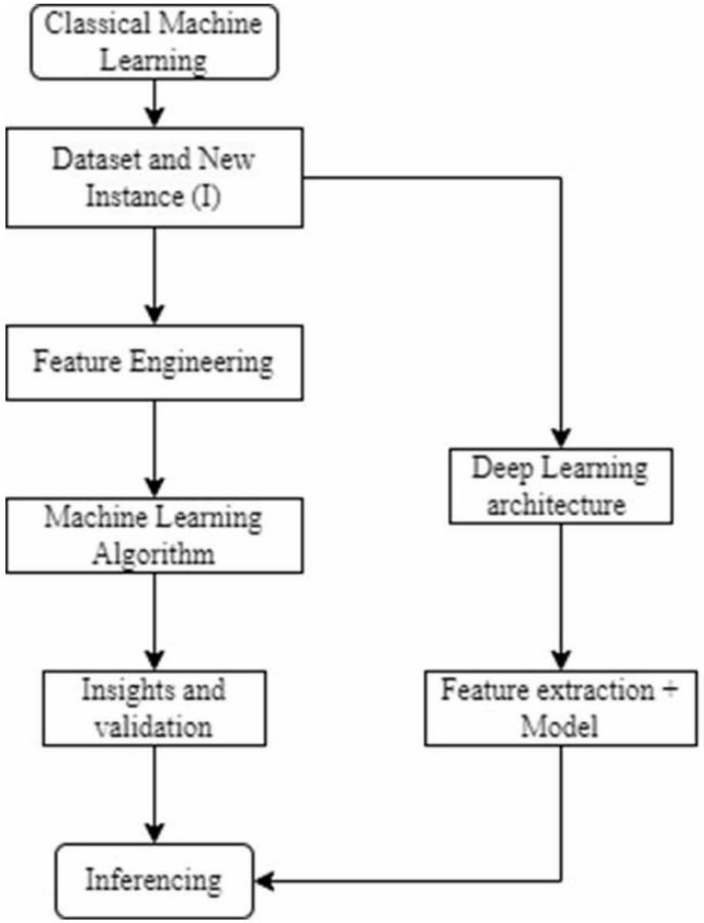
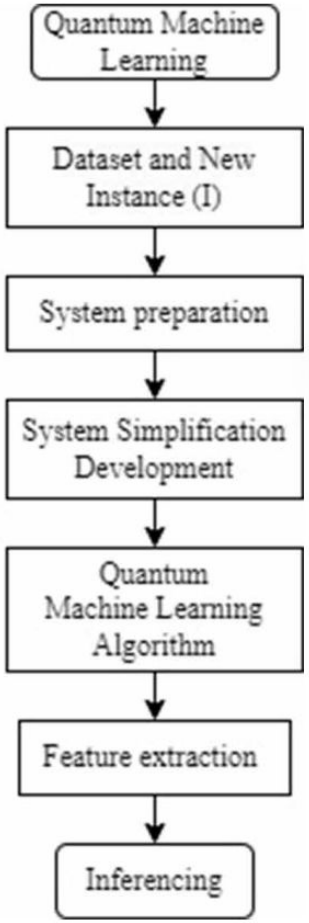

**Figure 2.** The EA monostatic quantum radar.



# Company Qubit Counts (January 2022)



# Quantum Data Center Principal Build-Up



## Classical Mashine vs Quantum Mashine Learning