|  |  |
| --- | --- |
| **Utvecklingen av kvantsystem**  *Bild: Googles ”Willow” via. New York Times* | *Kvant datorn "Willow" utvecklad av Google.* |

*Teknik uppgift: teknikutveckling*

UrsprungEn fysikbransch under början av 1960-talet tog studie av kvant mekaniker för att kunna förklara materia på atomskala vilket till slut ledde till utvecklingen av transistorer, lasrar och magnetisk resonanstomografi *(d.v.s. röntgenmaskineri)*.

År 1994 uppfann matematikern Peter Shor ett kvantalgoritm *(Shor’s Algorithm)* som kan hitta primfaktorerna av höga tal effektivare än toppmoderna algoritmer genom att använda kvant principer. Nästan alla betalningssystem är beroende av RSA *(Rivest-Shamir-Adleman)*, ett faktor-baserat kryptosystem vilket bär risken till dekryptering. *(GAMBLE S, 2019)*

Behov och påverkanKvantsystem kan simulera intrikata kemiska beteenden och samspel på molekylär skala vilket är centralt till utvecklingen av nya mediciner, något som kräver extrema resurser för att utföra genom klassiska system. *(IBM, n.d.-a)*

Benjamin Boeser, chefen över innovation hos Mercedes-Benz Nord Amerikanska R&D *(forskning och utveckling)* förväntar att den nästa genombrottet skulle troligtvis vara energi-tät litium-svavel, en teoretisk batteriteknologi. Avancerade molokylsimuleringar skulle kunna möjliggöra forskningen. Forskare kan utföra digitaliserade experiment, utvärdera effektivitet och hitta fungerande lösningar utan att en fysisk prototyp behövs. *(IBM, n.d.-b)*

Påverkan av kvantsystem idag är mest teoretisk bortom initiativ till att utveckla kvant-säkra krypteringssystem och lösningar. Hur långt tid det kommer dröja tills kvantsystem kommer tillförlitligt överträffa klassiska system är en omstridd fråga. Vissa som påstår att det är i närheten av år medan andra menar decennier. *(Beyond Technology, 2025)*  
  
Enligt Jensen Huang, verkställande direktör av chiptillverkaren Nvidia påstår han att användbara kvantdator med generell kapacitet kan ta mellan 13 och 30 år innan det kommer till marknaden. *(Leswing, 2025)*

# Drivande figurer

1. **David Deutsch**En brittisk fysiker vid Oxfords Universitet ofta kallad ”fadern av kvantforskning”. Han formulerade en teoretisk beskrivning för en kvant-Turings maskin baserat på forskaren Paul Benioffs, ett ramverk som etablerade möjligheten att kvantgrindar kan fungera likt binära logikgrindar i klassisk hårdvara. *("David Deutsch", 2025) (”Quantum Turing Machine”, 2025)*
2. **Richard Feynman**En Nobel pris vinnande amerikansk teoretisk fysiker som genomsåg studien av kvantelektrodynamik, teorin över samverkan mellan ljus och materia. Han uppfann problem-lösande verktyg, såsom bildmässiga representationer av partikel samverkande (Feynman diagrams). *(Gleick, 2025)*
3. **Peter Shor**En amerikanskt teoretisk dataforskare, skaparen av det kända ”Shor’s algorithm”. Han har jobbat som professor hos Massachusetts Institute of Technology (MIT) sedan 2003. Hans forskning belyste möjligheterna och riskerna av kvantsystem. *(”Peter Shor”, 2025)*

# Funktion

Kvantdatorer utnyttjar kvanteffekterna som uppstår på mikroskopiska skalor, specifikt ”superposition” fenomenenet. Kvantforskare har upptäckt att objekt inte har en bestämd position tills den inspekteras vilket leder till att den ”kollapsar” till en position som demonstrerat av dubbelslitsexperimentet. Två tunna snitt är skurna på en skärm där en foton kan ses genom båda springorna. I stället för att fotonen har en bestämd position så har den en superposition av alla möjliga spår.

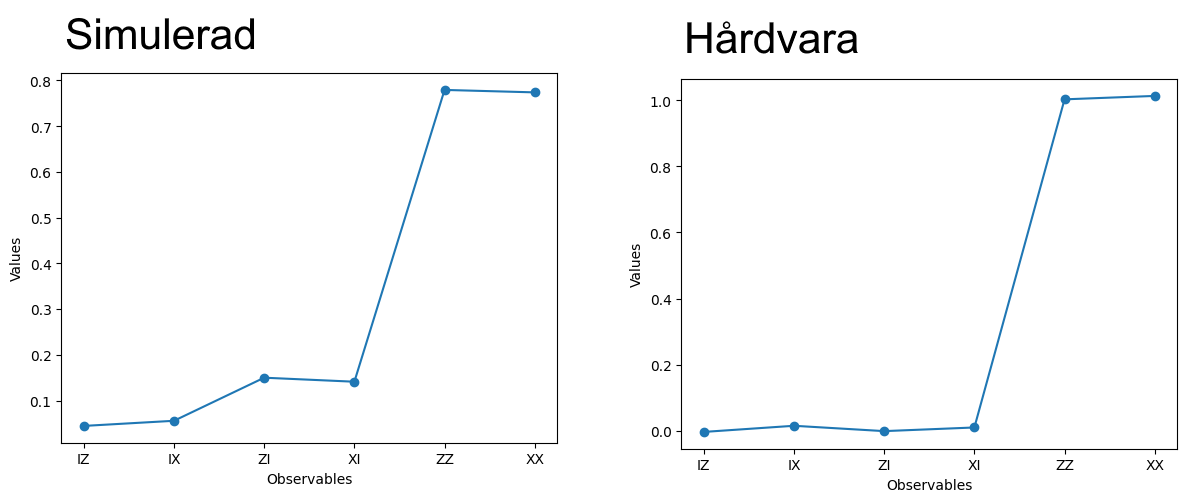


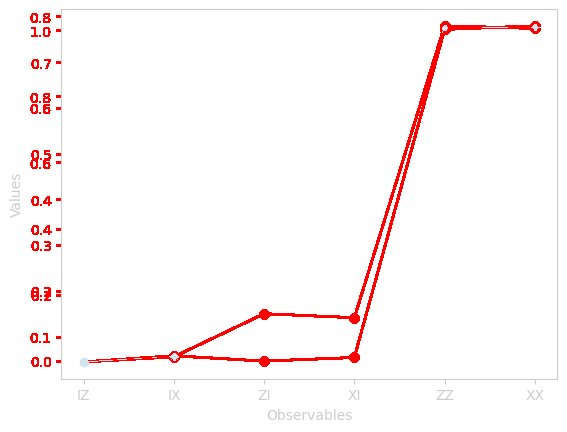
Figur 1. Ljuset från en grön laser som passerar mellan två snitt. 0.4mm bred, 0.1mm distans.  
  
  
Klassiska chip behandlar data i två möjliga positioner, 0 eller 1 (2¹) vilket kräver en extrem mängd av packade transistorer för att väga fram komplicerad logik.   
Kvantdatorer använder inte ett fixerat format utan en kvantenhets position (”qubit”) existerar i en probabilitets amplitud.  
  
Det kan beskrivas matematiskt som en linjär kombination mellan 0 och 1:  
  
  
  
Där ψ är kvantenheten och det komplexa variablerna α och β är sannolikhets amplituder. Relativa fasen mellan α och β ger ett kvantinterferensmönster av positioner, likt dubbel-snitt experimentet (se Figur 1).  
  
Målet är att förstärka det amplituder som leder till ett närmare korrekt resultat genom en kretssimulation. När den simulerade kretsen är tillräckligt stabil och överensstämmande kan en specifik kvantkrets designas enligt konfigurationen. Alternativt kan en ”generell” kvantdator kartlägga programmet till en rad inbyggda kretsar. ("Qubit", 2025), (”Quantum computing”, 2025)

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

# Kvantexperiment via. IBM:s Quantum Cloud

IBM erbjuder ett programmatiskt gränssnitt kallat Qiskit för programmeringsspråket Python så att forskare kan utveckla och simulera kvantkretsar lokalt. Via deras plattform kan kretsen utföras på äkta kvanthårdvara.

1. **Kvantinterferens, skillnad mellan simulering**Ett av de främsta hindren med utvecklingen av kvantsystem är ”bruset” som uppstår med dessa partiklar. Här är en jämförelse av en simulerad mätning *(optimal)* och ett resultat av 5000 iterationer:  
     
   ****

****  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
**Kod:**

import numpy as np  
import matplotlib.pyplot as plt

from qiskit import QuantumCircuit

from qiskit.primitives import Sampler

from qiskit\_ibm\_runtime import QiskitRuntimeService, Session, Sampler as IBMSampler

from qiskit\_aer.noise import NoiseModel

from qiskit\_aer.noise.errors import depolarizing\_error

import qiskit\_aer

qc = QuantumCircuit(2)

# Skapa en Bell stat

qc.h(0)       # Hadamard grind på qubit 0.

qc.cx(0, 1)   # CNOT grind med kontrol för qubit 0 med qubit 1 som fokus.

measure\_circ = QuantumCircuit(2, 2)

measure\_circ.measure\_all()

complete\_qc = qc.compose(measure\_circ)  
  
  
from qiskit import QuantumCircuit

from qiskit.quantum\_info import SparsePauliOp

from qiskit.transpiler.preset\_passmanagers import generate\_preset\_pass\_manager

from qiskit\_ibm\_runtime import EstimatorV2 as Estimator

# Krets med 2 qubitar

qc = QuantumCircuit(2)

# Hadamard grind på qubit 0

qc.h(0)

# Controlled-X grind på qubit 1, kontrollerad av kubit 0.

qc.cx(0, 1)  
  
# Definiera Stater  
observables\_labels = ["IZ", "IX", "ZI", "XI", "ZZ", "XX"]

observables = [SparsePauliOp(label) for label in observables\_labels]  
  
  
from qiskit\_ibm\_runtime import QiskitRuntimeService

service = QiskitRuntimeService()

backend = service.least\_busy(simulator=False, operational=True)

# Omvandla till en Instruction Set Architecture (ISA) krets och mappera staterna.

pm = generate\_preset\_pass\_manager(backend=backend, optimization\_level=1)

isa\_circuit = pm.run(qc)  
  
# Konstruera Estimator enheten.  
estimator = Estimator(mode=backend)

estimator.options.resilience\_level = 1

estimator.options.default\_shots = 5000

mapped\_observables = [

    observable.apply\_layout(isa\_circuit.layout) for observable in observables

]

# En bas, en krets mot fem olika stater.

job = estimator.run([(isa\_circuit, mapped\_observables)])

from matplotlib import pyplot as plt

values = pub\_result.data.evs

errors = pub\_result.data.stds

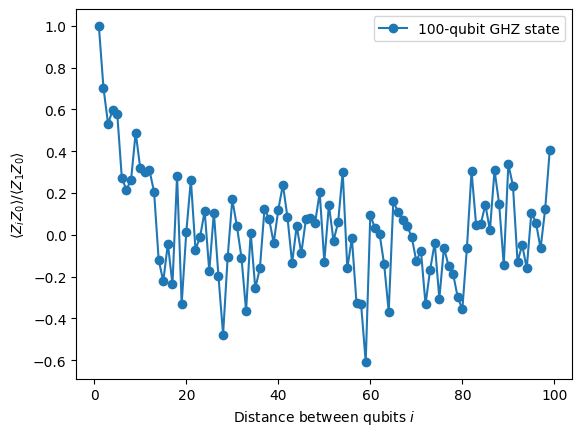
# Visualisera resultatet.

plt.plot(observables\_labels, values, "-o")

plt.xlabel("Observables")

plt.ylabel("Values")

plt.show()

**2. 100 kvantbits krets**Denna krets visar hur styrkan i korrelationerna mellan qubit 0 och de andra qubiterna förändras med avståndet. I ett perfekt GHZ-tillstånd med 100 qubits skulle alla kvantbitar vara lika korrelerade (en nästan platt linje). På grund av brus försvagas korrelationen när avståndet ökar. ****  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
**Kod:**

from qiskit import QuantumCircuit

def get\_qc\_for\_n\_qubit\_GHZ\_state(n: int) -> QuantumCircuit:

    if isinstance(n, int) and n >= 2:

        qc = QuantumCircuit(n)

        qc.h(0)

        for i in range(n - 1):

            qc.cx(i, i + 1)

    else:

        raise Exception("n is not a valid input")

    return qc

# Skapa en ny krets med två kvantbitar (första parametern) och två klassiska bitar (andra parametern)

n = 100

qc = get\_qc\_for\_n\_qubit\_GHZ\_state(n)  
  
from qiskit.quantum\_info import SparsePauliOp

# Definiera adresser, ZZII...II, ZIZI...II, ... , ZIII...IZ

operator\_strings = [

    "Z" + "I" \* i + "Z" + "I" \* (n - 2 - i) for i in range(n - 1)

]

operators = [SparsePauliOp(operator) for operator in operator\_strings]  
  
# Koppla till molnservice  
from qiskit.transpiler.preset\_passmanagers import generate\_preset\_pass\_manager

from qiskit\_ibm\_runtime import QiskitRuntimeService

service = QiskitRuntimeService()

backend = service.least\_busy(

    simulator=False, operational=True, min\_num\_qubits=100

)

pm = generate\_preset\_pass\_manager(optimization\_level=1, backend=backend)

isa\_circuit = pm.run(qc)

isa\_operators\_list = [op.apply\_layout(isa\_circuit.layout) for op in operators]

from qiskit\_ibm\_runtime import EstimatorOptions

from qiskit\_ibm\_runtime import EstimatorV2 as Estimator

options = EstimatorOptions()

options.resilience\_level = 1

options.dynamical\_decoupling.enable = True

options.dynamical\_decoupling.sequence\_type = "XY4"

# Skapa Estimator objektet

estimator = Estimator(backend, options=options)  
  
# Förlägg kretsen via Estimatorn och kör

job = estimator.run([(isa\_circuit, isa\_operators\_list)])  
  
import matplotlib.pyplot as plt

from qiskit\_ibm\_runtime import QiskitRuntimeService

# Visualisera resultatet

data = list(range(1, len(operators) + 1))  # Distansen mellan Z operatorerna

result = job.result()[0]

values = result.data.evs  # Norm värdet för varje Z operator.

values = [

    v / values[0] for v in values

]  # Jämför norm värden med distans.

# Visualisera grafen.

plt.plot(data, values, marker="o", label="100-qubit GHZ state")

plt.xlabel("Distance between qubits $i$")

plt.ylabel(r"$\langle Z\_i Z\_0 \rangle / \langle Z\_1 Z\_0 \rangle $")

plt.legend()

plt.show()

FramväxtÅr 1998 byggdes den första kvantdatorn med 2 kvantbitar som använde kärnmagnetiskt resonans. Forskare vid Oxford University, IBM Almaden Research Center, UC Berkeley, Stanford University, University of California och MIT demonstrerade den första experimentella kvantalgoritmen vilket löste [Deutschs problem](https://en.wikipedia.org/wiki/Deutsch%E2%80%93Jozsa_algorithm) vilket visade det potentiella möjligheterna. *(SpinQ, 2025)*  
  
  
Nuvarandekvantdatorer använder extrem kyla för att manipulera och mäta kvantpartiklar som fotoner, elektroner, fångade joner och atomer för att förminska oönskat ”brus”. Kvantbitar *(qubits)* kontrolleras för att existera i olika superpositioner för att representera en kombination av 0 och 1 på samma gång. Kvantinterferens används för att amplifiera amplituder i kretsen som, när systemet är observerat, leder till ett nära korrekt resultat. *(IBM, 2025-c)*

|  |  |
| --- | --- |
| Ett kvadratiskt avrundat kvantchip med en guld ram och en röd insida med olika komponenter. | En annan arkitektur är vad Microsoft kallar en *”topologiskt kärna”.* Chippet använder världens första ”topokonduktor”, ett material som kan observera och kontrollera Majorana partiklar vilket ska leda till stabilare beteende. Arkitekturen ska möjliggöra målet att rymma en miljon kvantbitar på ett kvantchip i en liten formfaktor.  Majorana chippet manipulerar ett supertopologiskt material, en ny form av materia som existerar i en topologisk fas som består av indiumarsenid och aluminium. *(Bolgar, 2025)* |

**Referenser**

GAMBLE S. Quantum Computing: What It Is, Why We Want It, and How We're Trying to Get It. In: National Academy of Engineering. Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2018 Symposium. Washington (DC): National Academies Press (US); 2019 Jan 28. Tillgängligt från: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538701/>

Stark, G. (2025, februari 3). light. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/light/Youngs-double-slit-experiment>

I. (n.d.). *Modeling realistic chemistry with quantum computing*. ibm.com. Hämtad mars 7, 2025, från <https://www.ibm.com/quantum/case-studies/modeling-realistic-chemistry>  
I. (n.d.). Envisioning a new wave in power. ibm.com. Hämtad mars 7, 2025, från <https://www.ibm.com/case-studies/daimler>  
  
Beyond Technology (2024, maj 30). *Quantum Computing: What it is, How it Works, and its Impact on the Industry*. Hämtad Mars 14, 2025, från https://beyondtechnology.net/quantum-computing-what-it-is-how-it-works-and-its-impact-on-the-industry/  
Leswing, K. (2025, januari 8). *Nvidia’s Jensen Huang is ‘dead wrong’ about quantum computers, D-Wave CEO says*. Hämtad mars 14, 2025, från <https://www.cnbc.com/2025/01/08/nvidia-ceo-jensen-huang-is-dead-wrong-about-quantum-d-wave-ceo.html>  
  
Gleick, J. (2025, februari 20). *Richard Feynman*. Hämtad mars 10, 2025, från <https://www.britannica.com/biography/Richard-Feynman>  
David Deutsch. (2025, March 8). Från *Wikipedia*. <https://en.wikipedia.org/wiki/David_Deutsch>  
Quantum Turing Machine. (2025, januari 15). Från *Wikipedia*. <https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_Turing_machine>

Peter Shor. (2025, mars 8). Från *Wikipedia*.  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Peter_Shor>  
Qubit. (2025, februari 21). In *Wikipedia*. <https://en.wikipedia.org/wiki/Qubit>  
Quantum computing. (2025, Mars 19). In *Wikipedia*. <https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_computing>  
Shenzhen SpinQ Technology Co (2025, februari 5). *The First Quantum Computer: Everything You Need to Know*. Spinquanta. https://www.spinquanta.com/news-detail/the-first-quantum-computer-everything-you-need-to-know20250214081413

IBM (2024, August 5). *What is quantum computing?* Hämtad mars 20, 2025, från <https://www.ibm.com/think/topics/quantum-computing>  
Bolgar, C. (2025, February 19). *Microsoft’s Majorana 1 chip carves new path for quantum computing*. Microsoft News. Hämtad mars 28, 2025, från https://news.microsoft.com/source/features/innovation/microsofts-majorana-1-chip-carves-new-path-for-quantum-computing/