



information quantique

présentation de la mineure

olivier eizratty
consultant et auteur

olivier@oezratty.net www.oezratty.net @olivez

Kremlin-Bicêtre, 14 septembre 2021

contenu

cette mineure constituée de 12 modules de 3h permet de découvrir les technologies de l'informatique quantique intégrant le calcul, la cryptographie et les télécommunications quantique. Les modules couvrent le sujet à 360° et intègrent une partie sur les fondamentaux de la physique quantique, sur ses sous-jacents mathématiques comme l'algèbre linéaire, sur le fonctionnement logique et matériel des ordinateurs quantiques, sur l'état de l'art des machines existantes et à venir, sur l'ingénierie associée. Ils couvrent ensuite la partie algorithmes, outils de développement, logiciels et usages.

un module est dédié à la cryptographie et aux télécommunications quantiques.

les derniers modules couvrent les dimensions sociétales et économiques de l'informatique quantique et servent notamment à développer un esprit critique éclairé sur la question. La mineure se termine par un contrôle des connaissances sous la forme d'un QCM.

objectifs des participants

acquérir les bases de compréhension du jargon de l'informatique quantique.

comprendre les technologies quantiques à 360°, de la physique à l'algorithmie et au développement logiciel en passant par la cybersécurité.

évaluer les perspectives pratiques d'usages dans le domaine.

faire le lien entre informatique quantique et informatique classique.

découvrir les moyens de faire de l'autoapprentissage sur le sujet.

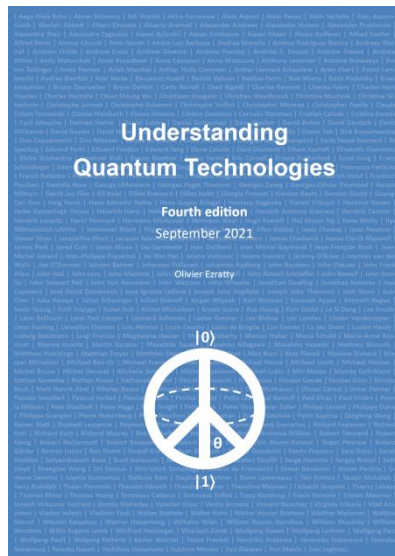
se préparer à suivre une formation complémentaire de type master puis éventuellement doctorale.

appréhender les opportunités d'emploi et de créations d'entreprise dans ce nouveau secteur.

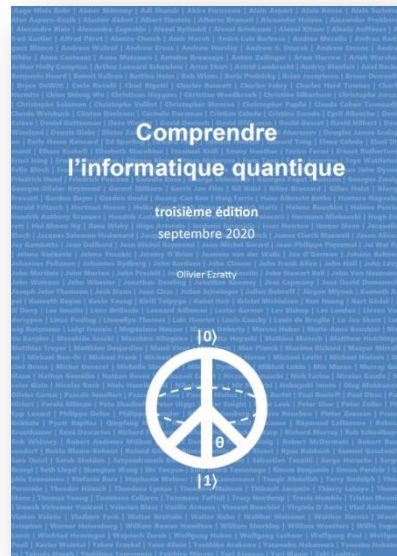
agenda et intervenants

- 1 - Histoire et fondamentaux de la physique quantique : 3h – Olivier Ezratty.**
- 2 - Fondamentaux des qubits avec éléments mathématiques : 3h – Olivier Ezratty.**
- 3 - Ingénierie du calcul quantique : 3h – Olivier Ezratty.**
- 4 - Architecture d'un ordinateur quantique et technologies habilitantes : 3h – Olivier Ezratty.**
- 5 - Différents types de qubits et de calculateurs quantiques : 3h – Olivier Ezratty.**
- 6 - Algorithmie quantique 1 : 3h - David Herrera-Marti, chercheur au CEA-LIST.**
- 7 - Algorithmie quantique 2 : 3h - David Herrera-Marti.**
- 8 - Outils de développement : 3h - David Herrera-Marti.**
- 9 - Cas d'usage métiers et offres clouds : 3h – Olivier Ezratty avec Georges Uzelger d'IBM.**
- 10 - Télécommunications et cryptographie quantique : 3h – Eleni Diamanti, Directrice de Recherche au CNRS, au laboratoire LIP6 de Sorbonne Université.**
- 11 - Questions sociétales, fausses sciences et fact-checking : 3h, Fanny Bouton (OVHcloud) et Olivier Ezratty.**
- 12 - Écosystème du marché, startups et opportunités : 3h – Christophe Jurczak, Directeur Général du fonds d'investissement quantique Quantonation.**

références bibliographiques



understanding quantum technologies
fourth edition
free ebook of 784 pages
end of september 2021



comprendre l'informatique quantique
troisième édition
ebook gratuit de 684 pages
septembre 2020



Listen to **Quantum** in your favorite apps.

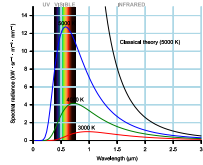


Quantum : *le podcast de l'actualité quantique*
un épisode tous les quinze jours
Fanny Bouton et Olivier Ezratty

Decode Quantum : *les entretiens du quantique*
deux à trois épisodes par mois
avec les chercheurs et entrepreneurs du quantique
Olivier Ezratty, Fanny Bouton et Richard Menneveux
(Frenchweb / Decode Media)

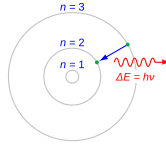
exemples de contenus

quantum physics beginnings



1900  1918

Max Planck
black body radiation
energy quanta
Planck constant



1913  1922

Niels Bohr
hydrogen atom
model

1924  1929

Louis de Broglie
wave-particle duality

1926  1933

Erwin Schrödinger
wave function

$$i\hbar \frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t} = H\Psi(x,t)$$

1935

Einstein, Podolski, Rosen
EPR paradox

1935

Erwin Schrödinger
cat

1900

1905

1910

1915

1920

1925

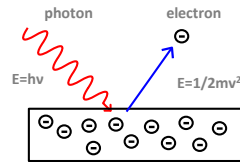
1930

1935

1940

1905  1921

Albert Einstein
photoelectric effect



1922  1944

Stern-Gerlach experiment
atoms angular
momentum

1945  1924

Wolfgang Pauli
exclusion principle

1927  1932

Werner Heisenberg
indetermination

1926  1954

Max Born
quantum probabilities

1925

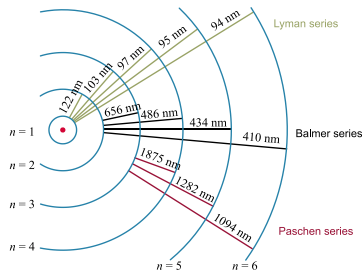
Uhlenbeck-Goudsmit
electron spin

1937

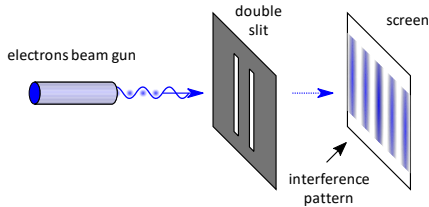
Ettore Majorana
fermion

quantum physics 101

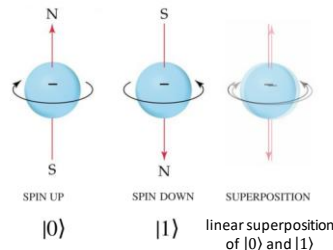
- energy comes in discrete packets.
- everything is probability, very little is absolutely certain.
- wave-particles duality explains superposition.
- looking at something changes how it behaves.



quantization

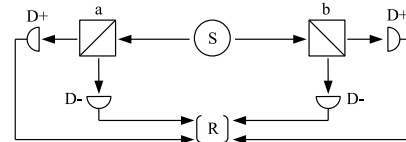


wave-particle duality



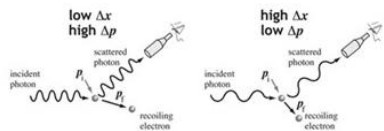
state superposition

Aspect experiment, 1982

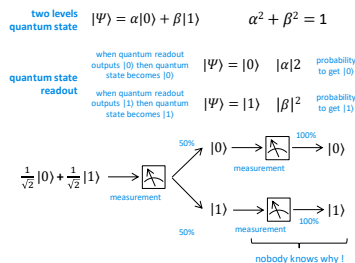


entanglement

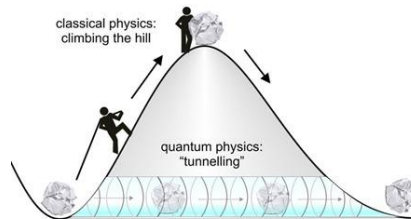
$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$



indetermination



measurement



tunnel effect

No Cloning Assume we have a unitary operator U_{ψ} and two quantum states $|\phi\rangle$ and $|\psi\rangle$ which U_{ψ} copies, i.e.,

$$|\phi\rangle \otimes |0\rangle \xrightarrow{U_{\psi}} |\phi\rangle \otimes |\phi\rangle$$

$$|\psi\rangle \otimes |0\rangle \xrightarrow{U_{\psi}} |\psi\rangle \otimes |\psi\rangle$$

Then $\langle\phi|\psi\rangle$ is 0 or 1.

Proof 1: $\langle\phi|\psi\rangle = \langle\phi| \otimes \langle 0| (U_{\psi}(|\phi\rangle \otimes |0\rangle)) = (\langle\phi| \otimes \langle 0|) (|\phi\rangle \otimes |\phi\rangle) = \langle\phi|\phi\rangle = 1$. In the second equality we used the fact that U_{ψ} being unitary, preserves inner products. $\square$

Proof 2: Suppose there exists a unitary operator U_{ψ} that can indeed clone an unknown quantum state $|\phi\rangle = \alpha|\phi\rangle + \beta|1\rangle$. Then

$$|\phi\rangle \otimes |0\rangle \xrightarrow{U_{\psi}} |\phi\rangle \otimes |\phi\rangle = (\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) \otimes (\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) = \alpha^2|00\rangle + \beta\alpha|01\rangle + \alpha\beta|10\rangle + \beta^2|11\rangle$$

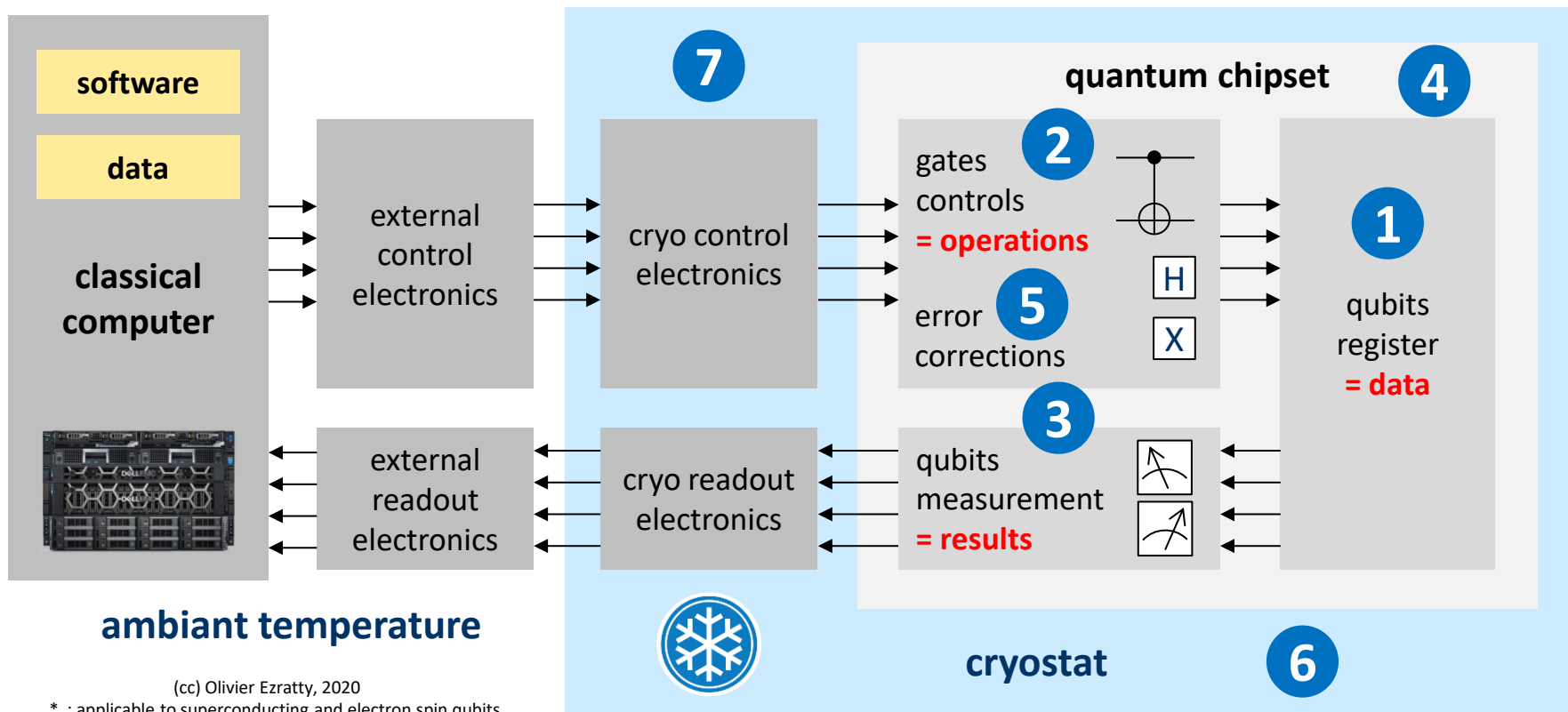
But now if we use U_{ψ} to clone the expansion of $|\phi\rangle$, we arrive at a different state:

$$(\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) \otimes |0\rangle \xrightarrow{U_{\psi}} \alpha|00\rangle + \beta|11\rangle$$

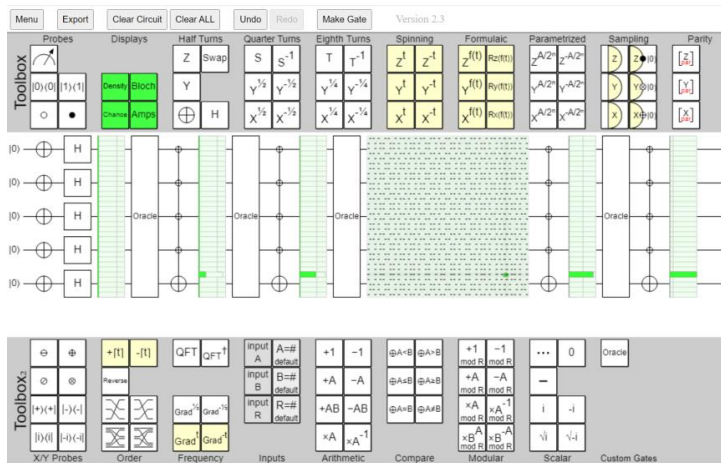
Here there are no cross terms. Thus we have a contradiction and therefore there cannot exist such a unitary operator U_{ψ} . $\square$

non cloning

quantum computer architecture *



a new programming model



<https://algassert.com/quirk>

online open source tool to learn
programming up to 16 qubits

and **AtoS**  myQLM

free on desktop/laptop, emulate physical
qubits characteristics

key differences

- graphical circuit design (optional)
- analog computing
- playing with qubits interferences
- uncopyable but transferable data
- computing timing constraints (on NISQ)
- no debugging breaking points
- multiple runs and results averages

variants

- classical/quantum hybrid algorithms
- quantum simulations (Hamiltonians)

quantum programming paradigms

