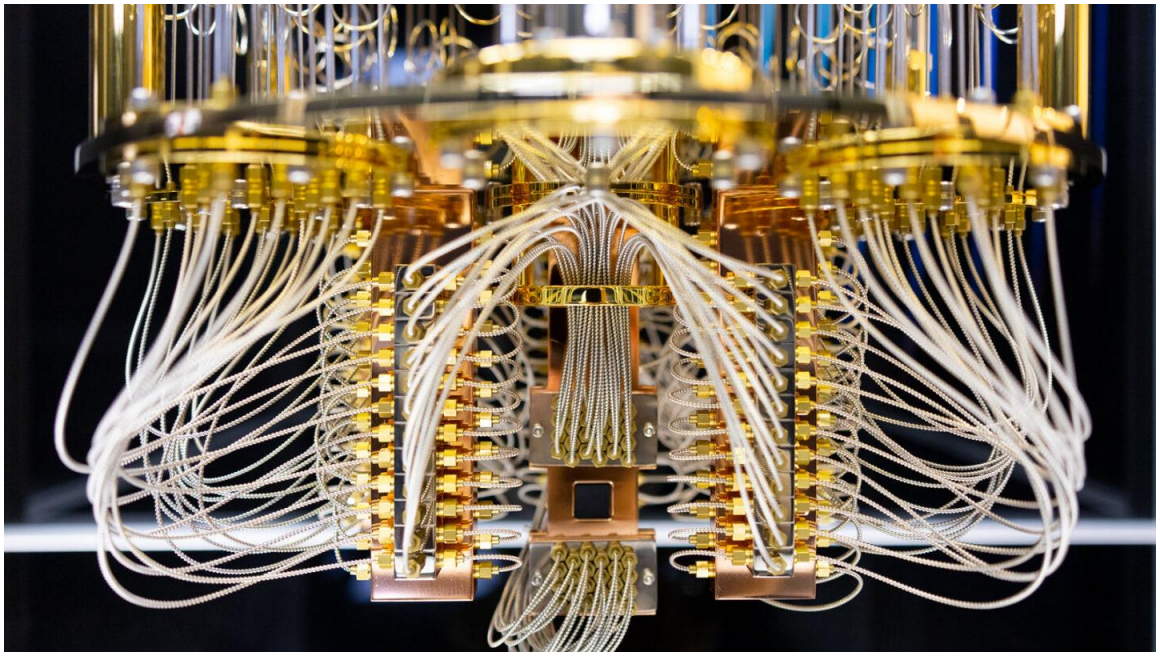
الجامعة الوطنية الخاصة

كلية الهندسة – قسم هندسة المعلوماتية

الحوسبة الكمومية

المفاهيم والتحديات والتطبيقات



إعداد

محمد حامض نور الدين نجار

إشراف : د.محمد سامر البابا

الحوسبة الكمومية

المفاهيم والتحديات والتطبيقات

المقدمة

في عصر تتسارع فيه التطورات العلمية والتكنولوجية، تقف فيزياء الكم كأحد أغرب الاكتشافات التي قد تغيّر فهمنا لطبيعة الكون، حيث أنها تدرس سلوك الجسيمات على المستويات دون الذرية، وإن من أبرز تطبيقاتها الحديثة، الحوسبة الكمومية، التي تعدّ من أكثر المجالات الواعدة في عالم التكنولوجيا والمعلومات. يوفر هذا المجال إمكانيات جديدة تتجاوز قدرات الحوسبة التقليدية، حيث تعتمد على مفاهيم معقدة مثل التراكب الكمومي والتشابك الكمومي، مما يمكّن من معالجة البيانات بسرعة فائقة. وقد دفع هذا التقدّم شركات كبرى مثل Google و Microsoft لاستثمار مليارات الدولارات في تطوير هذه التقنية وجعلها قابلة للتطبيق عمليًا.

تُعد IBM من الشركات الرائدة في مجال الحوسبة الكمومية، حيث طورت حواسيب كمومية مثل IBM Quantum ومنصة Qiskit، التي تتيح للمطورين والباحثين تجربة البرمجة الكمومية. كما حققت تقدمًا كبيرًا في تطوير المعالجات الكمومية، مثل Eagle و Osprey، لتسريع الأبحاث في مجالات مثل التشفير، الذكاء الاصطناعي، والفيزياء.

تستعرض هذه الحلقة البحثية المفاهيم الأساسية للحوسبة الكمومية، آلية عملها، والتحديات التي تواجهها، بالإضافة إلى تطبيقاتها المستقبلية.

أولا : مقارنة بين الحوسبة الكمومية والحوسبة التقليدية :

في الحوسبة التقليدية، يتم تمثيل المعلومات باستخدام البت (Bit) الذي يأخذ إحدى حالتين فقط 0 أو 1 أما في الحوسبة الكمومية، فإن الوحدة الأساسية للمعلومات تُسمى الكيوبت (Qubit) وهي تختلف عن البت العادي حيث أنها تتواجد في حالة تراكب (Superposition) بين 0 و 1 في نفس الوقت، مما يمنح الحواسيب الكمومية تفوقًا هائلًا في معالجة البيانات.

الحالة	الكيوبت (Qubit) في الحوسبة الكمومية	البت (Bit) في الحوسبة التقليدية
تعدد الحالات	يمكن أن يكون 0 و 1في نفس الوقت (تراكب)	إما 0 أو 1 فقط
التوازي	يمكن تنفيذ عمليات متعددة بالتوازي	تعالج العمليات بشكل تسلسلي
التشابك الكمومي	يمكن ربط عدة كيوبتات عبر التشابك الكمومي	غير ممكن
سرعة الأداء	يتفوق في معالجة البيانات الضخمة والخوارزميات المعقدة	محدود في المهام المعقدة

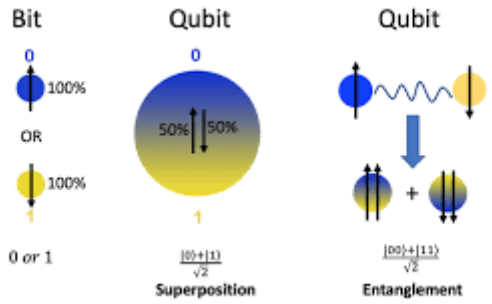
الجدول رقم (1): مقارنة بين البت والكيوبت

ثانيا : المفاهيم الأساسية في الحوسبة الكمومية:

تعتمد الحوسبة الكمومية على ثلاث ظواهر كمومية رئيسية:

أ .التراكب الكمومي(Superposition)

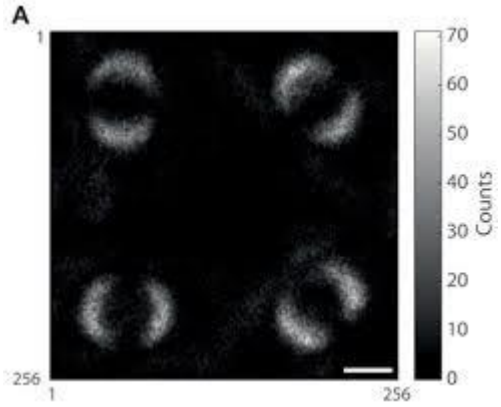
التراكب الكمومي(الشكل 1) هو قدرة الكيوبت على أن يكون في أكثر من حالة في نفس الوقت .بمعنى آخر، يمكن للكيوبت أن يكون في حالة 0 وحالة 1 في نفس الوقت إلى أن يتم قياسه .هذه الخاصية تمكّن الحواسيب الكمومية من إجراء العديد من العمليات الحسابية بالتوازي، مما يجعلها أسرع وأكثر قدرة على حل المسائل المعقدة مقارنة بالحوسبة التقليدية.



الشكل (1): التراكب الكمومي

ب .التشابك الكمومي(Entanglement)

التشابك الكمومي (الشكل 2) هو ظاهرة أخرى فريدة في ميكانيكا الكم، حيث يتم ربط كيوبتين أو أكثر بحيث تصبح حالة أحدهما معتمدة على الحالة الأخرى، حتى لو كانا بعيدين عن بعضهما البعض .هذا يعني أنه عند قياس حالة أحد الكيوبتات المتشابكة، تؤثر هذه القياسات فورًا على الكيوبتات الأخرى، مما يسمح بإجراء عمليات معقدة ومعالجة معلومات بطريقة غير ممكنة في الحوسبة التقليدية .



الشكل (2) : أول صورة للتشابك الكمومي في العالم

ج . التداخل الكمومي :(Interference) تُستخدم خوارزميات كمومية لتوجيه تداخل الحالات الكمومية، مما يعزز النتائج الصحيحة ويُلغي تلك الخاطئة.

ثالثا: البنية الفيزيائية للحواسيب الكمومية :

تعتمد كيفية تنفيذ الكويبتات على تقنيات مختلفة، منها:

- **الكويبتات فائقة التوصيل (Superconducting Qubits)** تُستخدم في أنظمة مثل حواسيب IBM و Google، وتعتمد على دارات كهربائية فائقة التوصيل عند درجات حرارة منخفضة جدًا (قريبة من الصفر المطلق).
- **أيونات محصورة (Trapped Ions)** كما في حواسيب شركةIonQ ، حيث تُستخدم أيونات مُعلَّقة في مجال كهربائي وتُتحكم فيها بواسطة ليزر.
- **الفوتونات (Photonic Qubits)** تُستخدم في أنظمة الاتصالات الكمومية، مثل تلك التي طورتها شركة Xanadu.

الدوائر والبوابات المستخدمة في الحواسيب الكمومية

- **البوابات الكمومية(Quantum Gates)**

على غرار البوابات المنطقية في الحوسبة التقليدية، تستخدم الحواسيب الكمومية بوابات كمومية لتنفيذ العمليات الحسابية، حيث يتم التحكم في حالات الكيوبتات من خلال هذه البوابات لاستغلال ظاهرتي التراكب الكمومي والتشابك الكمومي لتحقيق أداء أقوى وأسرع .

- **الدوائر الكمومية(Quantum Circuits)**

تُستخدم الدوائر الكمومية لتنظيم العمليات الحسابية، حيث يتم ترتيب الكيوبتات وتطبيق البوابات الكمومية عليها وفق تسلسل معين لتنفيذ مهام محددة مثل حل المعادلات الرياضية المعقدة أو تحليل البيانات الكبيرة.

- **تصحيح الأخطاء الكمومية**

نظرًا لحساسية الكيوبتات، فإن الحواسيب الكمومية عرضة للأخطاء الناتجة عن التداخل البيئي، لذا يتم تطوير تقنيات تصحيح الأخطاء الكمومية لضمان استقرار العمليات الحسابية ودقتها.

رابعاً: التحديات التي تواجه الحوسبة الكمومية

على الرغم من الإمكانات الضخمة، تواجه الحوسبة الكمومية عدة تحديات، منها:

1- **صعوبة تصنيع الكيوبتات واستقرارها** :تحتاج إلى درجات حرارة قريبة من الصفر المطلق للحفاظ على حالتها الكمومية. الحاجة إلى تقنيات تصحيح الأخطاء الكمومية :لضمان دقة العمليات الحسابية ومنع الأخطاء الناجمة عن البيئة المحيطة.

2- **الحفاظ على التماسك الكمومي (Decoherence)** فالكيوبيتات حساسة للاضطرابات الخارجية (كالحرارة أو المجالات الكهرومغناطيسية)، مما يؤدي إلى فقدان المعلومات بسرعة. يتطلب هذا عزل أنظمة الكم في درجات حرارة قريبة من الصفر المطلق.

3- **التوسع :(Scalability)** زيادة عدد الكويبتات مع الحفاظ على دقتها تحدي تقني، حيث تعاني الأجهزة الحالية (مثل جهاز IBM الذي يحتوي على 1,000 كويبت) من محدودية في الأداء العملي.

4- **التكامل مع البنية التحتية الحالية** :يحتاج تطوير البرمجيات والأجهزة المتوافقة مع الأنظمة الكلاسيكية إلى استثمارات ضخمة وكوادر متخصصة.

5- **التكلفة العالية والتعقيد الهندسي** حيث أن بناء الحواسيب الكمومية يتطلب استثمارات ضخمة، وهو ما جعل الشركات الكبرى تستثمر في أبحاثها بقوة.

خامساً: التطبيقات الحالية والمستقبلية للحوسبة الكمومية

- **التشفير وفك التشفير**

يمكن للحوسبة الكمومية أن تهدد أنظمة التشفير التقليدية، ولكنها في المقابل توفّر تقنيات تشفير جديدة تعتمد على قوانين الكم، مثل التشفير الكمومي الآمن ضد الاختراق.

- **محاكاة الظواهر الفيزيائية والكيميائية**

يمكن استخدامها لمحاكاة الجزيئات والتفاعلات الكيميائية بدقة، مما يساعد في تطوير أدوية جديدة واكتشاف مواد متقدمة.

- **تحسين الخوارزميات وتحليل البيانات الضخمة**

بفضل قدرتها على معالجة البيانات بطريقة غير تقليدية، يمكن للحوسبة الكمومية إحداث ثورة في الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات الضخمة.

- **اكتشاف الأدوية والمواد الجديدة**

تتيح المحاكاة الكمومية نمذجة التفاعلات الجزيئية بدقة، مما قد يُسرع تطوير أدوية أو مواد فائقة التوصيل.

- **الذكاء الاصطناعي**

قد تُحسن الحوسبة الكمومية خوارزميات التعلم الآلي عبر معالجة مجموعات بيانات ضخمة بسرعة أكبر.

الخاتمة:

تعدّ الحوسبة الكمومية واحدة من أكثر التقنيات إثارة في العصر الحديث، حيث تستند إلى مبادئ ميكانيكا الكم لتوفير قدرات حسابية غير مسبوقة. رغم التحديات التقنية الكبيرة، فإن التقدّم المستمر في هذا المجال يبشّر بإمكانات هائلة قد تغيّر كيفية تعاملنا مع المعلومات والأمن السيبراني والمحاكاة العلمية. ومع استمرار الأبحاث والاستثمارات، قد نشهد خلال العقود القادمة تحولًا جذريًا في عالم الحوسبة والتكنولوجيا.

المراجع :

1. Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. (2010). Quantum Computation and Quantum Information. Cambridge University Press.
2. Shor, P. W. (1997). Polynomial-Time Algorithms for Prime Factorization and Discrete Logarithms on a Quantum Computer. SIAM Journal on Computing, 26(5), 1484-1509.
3. Arute, F., et al. (2019). Quantum supremacy using a programmable superconducting processor. Nature, 574(7779), 505-510.
4. Preskill, J. (2018). Quantum Computing in the NISQ era and beyond. Quantum, 2, 79
5. Google AI Quantum. (2020). Hartree-Fock on a superconducting qubit quantum computer. Science, 369(6507), 1084-1089.

.