الحوسبة الكمومية

مبروكة مسعود مفتاح[1] ، مسرة محمد عبد السلام[2]
ماجستير،فيزياء، قسم الفيزياء، كلية التربية قصر بن غشير،جامعة طرابلس ،ليبيا[1]
mabroukadeban@gmail.com
بكالوريوس ،فيزياء، قسم الفيزياء،كلية التربية قصر بن غشير،جامعة طرابلس ،ليبيا[2]
masarra.ef@gmail.com

تاريخ الاستلام: 2025/06/30م
القبول: 2025/07/15م
تاريخ النشر: 2025/09/20م

ملخص البحث:
يختبر هذا البحث فعالية خوارزمية جروفر في إيجاد عنصر مميز ضمن فضاء بحث معين حيث تهدف التجربة إلى مقارنة أداء البحث الكلاسيكي مقابل البحث الكمومي باستخدام خوارزمية جروفر، وذلك من حيث الزمن المستغرق للوصول إلى العنصر المطلوب داخل قاعدة بيانات غير مرتبة تتكوّن من 100,000 عنصر. حيث ظهر بوضوح أن خط البحث الكمومي يرتفع ببطء أكبر مقارنة بالبحث التقليدي، مما يعكس تفوقه في معالجة أحجام كبيرة من البيانات،هذا الاختلاف في الأداء يرجع إلى إن البحث التقليدي في الخوارزميات الكلاسيكية، يتم عن طريق المرور على كل عنصر على حدى حتى يتم العثور على العنصر المطلوب. وبالتالي، كلما زاد عدد العناصر، زادت عدد العمليات اللازمة بمعدل خطي. في المقابل، تُحقق خوارزمية البحث الكمي لجروفر تسريعًا تربيعيًا$O(\sqrt{N})$مقارنةً بالطرق الكلاسيكية O(N) مما يجعلها مُفيدة بشكل خاص لقواعد البيانات الكبيرة غير المُهيكلة.

الكلمات المفتاحية: الحوسبة ،الخورزميات ،الحوسبة الكمومية ،التشابك الكمومي

Quantum computing

Mabrouka Masoud Meftah[1], Masarra Mohamed Abdulsalam[2]
Master's ,Physics Department ,Physics, Faculty of Education , Qasr Bin Ghashir, University of Tripoli, Libya[1]
mabroukadeban@gmail.com

Bachelor's ,Physics Department ,Physics, Faculty of Education Qasr Bin Ghashir,University of Tripoli, Libya
masarra.ef@gmail.com

Received (date): م2025/06/30
Accepted (date): م2025/07/15
Published (date): م2025/09/20

Abstract: .
This study investigates the efficiency of Grover's algorithm in identifying a specific element within a given search space. The experiment compares the performance of classical search versus quantum search using Grover's algorithm, focusing on the time required to locate the target element in an unsorted database of 100,000 entries. The results demonstrate that the quantum search exhibits a significantly slower rise in computational time compared to classical search, highlighting its superior efficiency in processing large-scale datasets.

This performance disparity arises because classical search algorithms operate by sequentially checking each element until the target is found, resulting in a linear increase in the number of operations as the dataset grows.

In contrast, Grover's quantum search algorithm achieves a quadratic speedup (O(N) over classical approaches (O(N), making it particularly advantageous for large, unstructured databases

Keyword: Quantum computing , Quantum entanglement, Superposition

المقدمة:

تمثل الحوسبة التقليدية التي نعرفها اليوم حصيلة تطور دام عقوداً، حيث تعتمد على معالجة المعلومات بشكل ثنائي (0 و1) عبر دارات كهربائية تنفذ عمليات منطقية متسلسلة. لكن مع تسارع وتيرة التقدم في مجال تكنولوجيا المعلومات، واجه قطاع صناعة الحواسيب صعوبات تتعلق بتصغير المكونات الإلكترونية، خاصة الترانزستورات التي تمثل المكون الاساسي للمعالجات الدقيقة وذلك لان التقليص المستمر للترانزستورات إلى مقاييس نانومترية يُواجه قيودا عملية تفرضها قوانين المادة التي تحكم الكون عند هذه المقاييس الدقيقة في إطار قوانين الفيزياء الكلاسيكية ،ومنها برزت الحاجة إلى نموذج حوسبي جديد يتجاوز قيود الفيزياء الكلاسيكية. هنا يأتي دور ميكانيكا الكم التي تقدم مفهوماً مختلفاً لمعالجة المعلومات.

تعيد مبادئ ميكانيكا الكم تعريف مفهوم الحوسبة من خلال ظواهر غير موجودة في العالم الكلاسيكي. فبينما تقتصر وحدة المعلومات التقليدية (البت) على حالة واحدة في كل لحظة، تسمح الكيوبتات - وهي الوحدات الأساسية في الحوسبة الكمومية - بوجود حالات متعددة في وقت واحد عبر مبدأ التراكب الكمومي. كما يمكن للكيوبتات أن ترتبط ببعضها عبر التشابك الكمومي، مما يخلق إمكانيات حسابية غير مسبوقة.

هذا التحول في البنية الأساسية للحوسبة أدى إلى ظهور فئة جديدة من الخوارزميات التي تستفيد من الخصائص الكمومية ، إذ لم تعد العمليات الحسابية مقيدة بالمسار الخطي التقليدي، بل أصبحت قادرة على استكشاف عدة مسارات حسابية متوازية بفضل ظاهرة التراكب الكمومي. وتتميز هذه الخوارزميات بقدرتها على معالجة المشكلات بطريقة احتمالية غير محددة، تعكس الطبيعة الجوهرية للعالم الكمومي.

أهمية البحث وأسباب اختياره:

تتمثل أهمية هذا البحث في تقصي كيف يمكن لميكانيكا الكم أن تكون الحل الامثل لتجاوز التحديات التي تواجه الحوسبة التقليدية مما يمهد الطريق للابتكارات في تكنولوجيا المعلومات كما يهتم البحث بعرض فهم أعمق لتأثيرات الكمومية وأثارها على مستقبل تكنولوجيا المعلومات مسلطا الضوء على إمكانيات الحوسبة الكمومية في إحداث ثوره تقنية.

مشكلة البحث:

مع استمرار التطور السريع في تكنولوجيا المعلومات أصبحت صناعة الحوسبة تواجه تحديات متزايدة تتعلق بتقليص حجم المكونات الالكترونية وأهمها الترانزستورات التي تعد الوحدة الاساسية للمعالجات الدقيقة وذلك ألن التقليص المستمر للترانزستورات إلى مقاييس نانومترية يُواجه قيودا عملية تفرضها قوانين المادة التي تحكم الكون عند هذه المقاييس الدقيقة في إطار قوانين الفيزياء الكلاسيكية مما يثير تساؤالت حول إمكانية استمرار هذا التقدم في ظل هذه القيود الفيزيائية ظهرت الحوسبة الكمومية كبديل واعد يمكن أن يحدث تحول جذريا في تكنولوجيا المعلومات وهذا الانتقال من الحوسبة التقليدية إلى الحوسبة كموميه يطرح اسئلة بحثية جوهرية حول عالقة ميكانيكا الكم بتطور تكنولوجيا المعلومات:

1 .كيف تسهم مبادئ ميكانيكا الكم في تطوير الحوسبة الكمومية وتعزيز تكنولوجيا المعلومات؟

2.ما الذي يمكن للحاسوب الكمي إضافته لتكنولوجيا المعلومات؟

3.ما هي التطبيقات العملية للحوسبة الكمومية التي يمكن أن تغير مستقبل تكنولوجيا المعلومات؟

أهداف البحث

1-دراسة دور مبادئ ميكانيكا الكم في تطوير الحوسبة الكمومية وتعزيز تكنولوجيا المعلومات.

2 -معرفة كيف يمكن استخدام مبادئ ميكانيكا الكم مثل التراكب الكمومي، التشابك لتجاوز التحديات التي تواجهها الفيزياء التقليدية عند تصغير المكونات الإلكترونية مثل الترانزستورات.

3 -تحليل القدرات الحسابية الفريدة للحواسيب الكمومية مقارنة بالحواسيب التقليدية، ودراسة كيف يمكن أن تسهم في توسيع حدود المعرفة اإلنسانية في عدة مجالات مثل الفيزياء، الكيمياء، والذكاء الاصطناعي.

4 -معرفة التطبيقات العملية للحوسبة الكمومية في مجاالت مختلفة مثل التشفير الآمن، تحسين خوارزميات، الذكاء الاصطناعي، محاكاة الجزيئات الكيميائية لتطوير أدوية جديدة.

الدراسات السابقة:

شهدت تكنولوجيا الحوسبة منذ ظهورها في منتصف القرن العشرين سلسلة من التحسينات المتلاحقة،

حيث بدأت بأجهزة ضخمة تعتمد على الأنابيب المفرغة (tubes vacuum) التي تميزت باستهلاكها العالي للطاقة، وبطء أدائها، واحتياجها لمساحات تشغيل واسعة.

في أواخر أربعينيات القرن العشرين تم اختراع الترانزستور على يد العالم جون باردين ووليام شوكلي وآخرين. اسُتبدلت بذلك الأنابيب المفرغة بالترانزستورات مما سمح بتقليص حجم الأجهزة وزيادة سرعتها بشكل ملحوظ.

في ستينيات القرن الماضي اخترعت الدوائر المتكاملة (Circuits Integrated) هذا الابتكار الذي جمع عددا من الترانزستورات على شريحة واحده صغيره سمح بزيادة القوى الحاسوبية بشكل كبير مع تقليل التكلفة والحجم.

في عام 1965م دون جولد مور أحد مؤسسي شركة (Intel) ما لحظة حول هذا التطور تنص على أن عدد الترانزستورات في الشريحة الإلكترونية سوف يتضاعف مرة كل عامين تقريبا مما يؤدي إلى زيادة القوة الحاسوبية بشكل أسي وخفض التكلفة بمرور الوقت والذي أصبح يعرف الحقا بقانون مور.

ظل قانون مور صحيحا طيلة العقود التي مرت منذ ستينيات القرن العشرين ولكن منذ مطلع القرن الحادي والعشرين بدا العلماء يواجهون صعوبات في تحقيق هذا القانون إذا انه ال يمكن تصغير الترانزستورات إلى مالا نهاية بسبب طبيعة المادة التي يتغير سلوكها عند المقاييس النانومتريه.

احد هذه الصعوبات التي ظهرت مع تقليص حجم الترانزستورات إلي نطاق النانومتر (مليار جزء من متر(هي التأثيرات الكمومية التي تبدأ في السيطرة على سلوك الإلكترونات وتشمل هذه التأثيرات ظواهر مثل النفق الكمومي ، حيث تستطيع الإلكترونات اختراق الحواجز العازلة ، والتشتت الكمومي الذي يؤدي إلى تغيير الغير منتظم في تدفق الإلكترونات ،علاوة على ذلك تأثير الإلكترون الواحد حيث يصبح الترانزستور حساس لحركة إلكترون واحد فقط. هذه الظواهر تسبب في عيوب مثل تسرب التيار الكهربائي و زيادة استهلاك الطاقة وعدم استقرار أداء ترانزستور مما يهدد استمرارية التطور وفقا لقانون مور.

متن البحث:

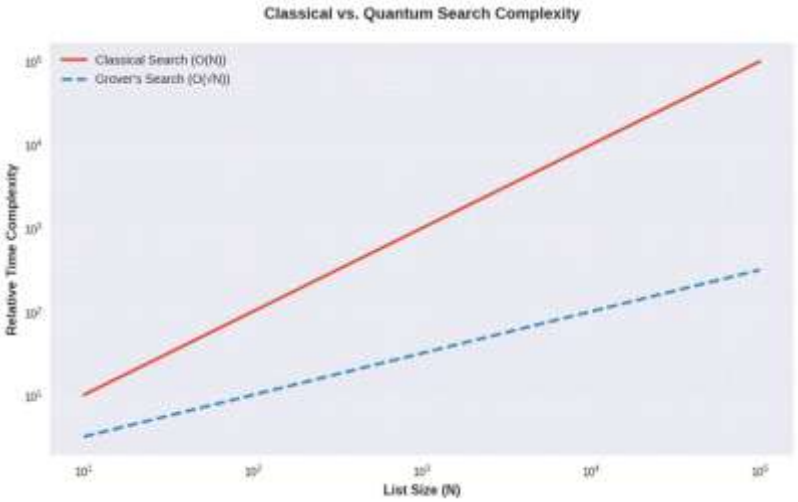
اعتمد هذا البحث على استخدام المنهج المقارن لمقارنة الحوسبة الكمومية بالحوسبة الكلاسيكية، من حيث السرعة، الكفاءة، والتطبيقات العملية، بهدف إبراز الاختلافات والإمكانات الفريدة للحوسبة الكمومية.وتم اختبار فعالية خوارزمية جروفر في إيجاد عنصر مميز ضمن فضاء بحث معين حيث تهدف التجربة إلى مقارنة أداء البحث الكلاسيكي مقابل البحث الكمومي باستخدام خوارزمية جروفر، وذلك من حيث الزمن المستغرق للوصول إلى العنصر المطلوب داخل قاعدة بيانات غير مرتبة تتكوّن من 100,000 عنصر. تأتي هذه التجربة لدعم الإطار النظري المتعلق بأداء الخوارزميات الكمومية، وإظهار الفارق العملي الذي يمكن أن تحققه خوارزمية جروفر مقارنة بالأساليب التقليدية المعتمدة على الفحص التسلسلي.

تم تنفيذ التجربة على موقع Google Colabو هي واجهة سحابية مجانية على مرحلتين:

1-تطبيق خوارزمية بحث تقليدية باستخدام التكرار الخطي وذلك بكتابة كود برومجي بلغة Python للعثور على عنصر معين داخل قائمة غير مرتبة من 100,000 عنصر .

2-محاكاة خوارزمية جروفر كموميًا لنفس المهمة، وتقدير الزمن الكمومي اللازم لحل المشكلة بشكل تقريبي، ثم مقارنة الزمنين بيانيًا.

هذا الكود يهدف إلى إنشاء رسم بياني يقارن بين أداء البحث التقليدي الكلاسيكي وأداء البحث الكمومي، باستخدام مكتبة matplotlib للرسم البياني ومكتبةnumpy لإجراء الحسابات العددية. بالإضافة إلى ذلك، يتم استخدام خاصية التعليقات النمطية typing.Tuple لتعريف أنواع البيانات المعادة من بعض الدوال



الشكل (1) مقارنة بين البحث الكلاسيكي مقابل البحث الكمي باستخدام محاكاة خوارزمية جروفر

عند تنفيذ الكود، ظهر لنا رسم بياني يظهر فيه خطّان يمثلان تعقيد الزمن لكل من الخوارزميتين حيث :

الخط المستقيم الأحمر يمثل أداء البحث الكلاسيكي إذ يزداد الزمن بشكل خطي مع حجم القائمة، مما يعبر عن تعقيد زمني من الرتبة O(N)

الخط الأزرق المنقط يمثل الأداء الكمومي لخوارزمية جروفر، حيث يزداد الزمن بشكل أبطأ مع حجم القائمة، متبعًا تعقيدًا زمنيًا من الرتبة.

الرسم البياني يُظهر بوضوح أن خط البحث الكمومي يرتفع ببطء أكبر مقارنة بالبحث التقليدي، مما يعكس تفوقه في معالجة أحجام كبيرة من البيانات.

هذا الاختلاف في الأداء يرجع إلى أن البحث التقليدي في الخوارزميات الكلاسيكية، يتم عن طريق المرور على كل عنصر على حدى حتى يتم العثور على العنصر المطلوب. وبالتالي، كلما زاد عدد العناصر، زادت عدد العمليات اللازمة بمعدل خطي. هذا النموذج يُترجم إلى تعقيد زمني رياضي يعطى بالصيغة:

$$T_{classical}(N) \propto N \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1)$$

$T_{classical}(N)$ تعني الزمن الذي تستغرقه خوارزمية البحث التقليدية عندما يكون عدد العناصر هو N

تعني الزمن الذي تستغرقه خوارزمية البحث التقليدية عندما يكون عدد العناصر هو N

مما يعني أن الزمن يتضاعف كلما تضاعف عدد العناصر. في الرسم البياني، يظهر هذا في شكل خط مستقيم باستخدام مقياس لوغاريتمي، مما يعكس العلاقة الخطية

أما في البحث الكمومي يتم الاستفادة من التراكب الكمومي لتسريع عملية البحث فخوارزمية جروفر تستطيع إيجاد العنصر المطلوب بعد عدد خطوات يتناسب مع الجذر التربيعي لعدد العناصر:

$$\boldsymbol{T_{quantum}}\ (\boldsymbol{N}) \propto \sqrt{\boldsymbol{N}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (\mathbf{2})$$

$\boldsymbol{T_{quantum}}\ (\boldsymbol{N})$ تعني الزمن الذي تستغرقه خوارزمية البحث الكمومية عندما يكون عدد العناصر هو N

وهذا ما يؤدي إلى انخفاض كبير في عدد العمليات اللازمة مقارنة بالبحث التقليدي، خاصة مع القوائم الكبيرة. في الرسم البياني، يظهر هذا كخط أبطأ ارتفاعًا مقارنة بالخط التقليدي،.كلما زاد حجم القائمة، يتسارع الفارق بشكل كبير، بحيث يصبح البحث الكمومي أكثر تفوقًا أُسِّيًّا تقريبًا مقارنة بالبحث التقليدي

فعند الأحجام الضخمة مثل ملايين أو تريليونات من العناصر، يصبح الفرق بين البحث الكمومي والتقليدي بالأيام مقابل الثواني وهنا تبرز الكفاءة الزمنية المحققة

بيّنت المحاكاة أن التطبيق العملي لخوارزمية جروفر على حاسوب كمي حقيقي ممكن ويعطي نتائج دقيقة على المحاكي، مما يشير إلى إمكانية الانتقال للتنفيذ على أجهزة كمومية فعلية.

تطبيقات الحوسبة الكمومية في تكنولوجيا المعلومات

1- المحاكاة الكمومية

عند محاولة فهم سلوك الأنظمة الكمومية المعقدة – مثل الجزيئات الكبيرة أو المواد ذات البنية الإلكترونية المعقدة – نلجأ عادةً إلى الحوسبة التقليدية كنظام مساعد للنمذجة الرياضية. لكن هذه الحواسيب مهما بلغت قوتها، تصطدم بعائق أساسي)كلما زاد عدد الجسيمات أو الإلكترونات في النظام، زاد حجم البيانات المطلوبة لوصف حالته بشكل دقيق، و ليس بشكل خطي بل بشكل أُسِّي).

لتوضيح ذلك، نتخيّل أننا نريد نمذجة جزيء يحتوي على 50 إلكترونًا، حيث أن الحالة الكمومية لكل إلكترون قد تعتمد على حالات الجزيئات الأخرى، في هذه الحالة فإن عدد الحالات الممكنة لهذا

النظام يمكن أن يصل إلى2^{50}، أي أكثر من ألف تريليون حالة تخزين، هذا الكم الهائل من المعلومات وتحليل تفاعله غير ممكن فعليًا باستخدام الحواسيب الكلاسيكية الحالية.

هذه المشكلة لم تكن مجرد تحدٍّ تقني، بل عقبة نظرية أظهرت أن الطبيعة الكمومية لا يمكن اختزالها أو تمثيلها بدقة باستخدام أدوات كلاسيكية. ومن هنا، ظهر التساؤلات المنطقي التالية: لماذا نحاول استخدام نظام كلاسيكي لمحاكاة نظام كمومي؟ ولماذا لا نستخدم نظامًا كموميًا لمحاكاة نظام كمومي آخر؟

هذه التساؤلات كانت نقطة التحول التي قادت الفيزيائيين، وعلى رأسهم العالم ريتشارد فاينمان، إلى اقتراح مفهوم المحاكاة الكمومية كحل طبيعي لمشكلة مستعصية في النمذجة الكلاسيكية.

تُستخدم المحاكاة الكمومية لتمثيل سلوك الإلكترونات والأنوية في الجزيئات باستخدام أنظمة كمومية قابلة للضبط. هذا يتيح استكشاف التفاعلات الكيميائية وتصميم مواد جديدة دون الحاجة إلى حل معادلة شرودنغر مباشرةً بأجهزة تقليدية." [Feynman, 1982, p. 473]

و لكن لماذا نسعى إلى نمذجة الجزيئات الكبيرة والمواد ذات البنية الإلكترونية المعقدة؟ الهدف من نمذجة الجزيئات والمواد المعقدة هو الوصول إلى فهم دقيق لتفاعلاتها الإلكترونية والكمومية، وهو أمر بالغ الأهمية في عدة مجالات علمية وتطبيقية، منها:

- صناعة الادوية

تُعد صناعة الأدوية من أكثر المجالات التي يمكن أن تستفيد بشكل مباشر من قدرات المحاكاة الكمومية. فعملية اكتشاف دواء جديد تمر بمراحل طويلة ومعقدة، تبدأ من فهم المرض والمادة البيولوجية المستهدفة التي غالبًا ما تكون بروتين معين في الخلية، ثم البحث عن جزيئات كيميائية يمكنها الارتباط بهذا البروتين وتعديل وظيفته. [Ganguly, 2022, p. 113]

لكن ما يجعل هذه العملية بطيئة ومكلفة هو أننا – بالحوسبة الكلاسيكية – لا نستطيع دائمًا تمثيل التفاعلات الكيميائية بدقة، وخاصةً عندما يتعلق الأمر بجزيئات كبيرة تحتوي على عشرات أو مئات الذرات، وتحدث فيها تفاعلات معقدة بين الإلكترونات.

ففي المستوى الذري، تتحدد سلوكيات الجزيئات عبر قوانين ميكانيكا الكم، مثل توزيع الإلكترونات، وطاقات الروابط، والاحتمالات المكانية لتواجد الجسيمات.

وهنا تظهر المحاكاة الكمومية كحل لهذه المشكلة، فباستخدام الحواسيب الكمومية، يمكن تمثيل الجزيئات كنظم كمومية مباشرة، ودراسة كيفية تفاعلها مع جزيئات أخرى مثل البروتينات أو الإنزيمات.

هذا يسمح للباحثين بالتنبؤ بشكل الجزيء ثلاثي الأبعاد بدقة عالية، بما في ذلك زوايا الروابط وتوزيع الشحنات الإلكترونية داخله، مما يؤثر مباشرة في كيفية تفاعله مع الأهداف البيولوجية، كما تتيح المحاكاة الكمومية تحليل طبيعة التفاعل بين الجزيء الدوائي والبروتين المستهدف، وتحديد ما إذا كان الشكل الإلكتروني للجزيء مناسبًا للارتباط الفعّال. إلى جانب ذلك، يمكن تقدير طاقة التفاعل بين الجزيئين، الأمر الذي يساعد على معرفة مدى استقرار المركب الناتج، وبالتالي تقييم فعاليته المحتملة كدواء. ومن خلال هذه العملية، يصبح بالإمكان تصفية آلاف الجزيئات الكيميائية المحتملة على المستوى النظري فقط، قبل الخوض في التجارب المخبرية، مما يساهم في توفير الوقت والتكاليف وتسريع وتيرة تطوير العلاجات الجديدة.

مثال على ذلك، شركة مثل IBM أو Google Quantum AI تعمل حاليًا على نمذجة جزيئات دوائية بسيطة مثل "فورمالدهيد" و"ليثيوم هيدريد"، كنماذج أولية نحو القدرة على محاكاة جزيئات عضوية معقدة مستقبلًا.

ومن المتوقع أنه مع تطور الحوسبة الكمومية، سنصل إلى مرحلة يمكن فيها تصميم الأدوية على الحاسوب الكمومي أولًا، وتجربة الأفضل منها فقط في المختبر، مما يُحدث نقلة نوعية في مجال الطب والعلاج الموجّه

- تحضير مواد جديدة

يُعد تحضير مواد جديدة من أهم مجالات البحث العلمي التي تستفيد من قدرات المحاكاة الكمومية، وذلك لأن العديد من الخصائص الفيزيائية التي نرغب في التحكم بها – مثل الموصلية الكهربائية، والخصائص المغناطيسية، والصلابة، والاستجابة للحرارة أو الضوء – تعتمد بشكل مباشر على سلوك الإلكترونات داخل المادة، وهو سلوك كمومي في جوهره.

في الحوسبة التقليدية، تمثيل هذه التفاعلات الإلكترونية داخل مواد معقدة يتطلب حسابات ضخمة لا يمكن إنجازها إلا بشكل تقريبي. أما مع المحاكاة الكمومية، يمكننا دراسة هذه المواد على المستوى الذري والإلكتروني بدقة أعلى، لأن الحاسوب الكمومي يستطيع تمثيل الحالات الكمومية لهذه الإلكترونات بشكل طبيعي. [Preskill, 1998, p. 33]

هذا الفهم الدقيق يمكن أن يؤدي إلى ابتكار مواد جديدة تمامًا، يتم التحكم في خصائصها مسبقًا، بدلًا من اكتشافها بالصدفة أو التجريب العشوائي. على سبيل المثال، يمكن تحضير مواد فائقة التوصيل اذ تم إجراء محاكاة كمومية على مواد مثل النحاس والحديد لتحديد الظروف المثالية التي تجعلها فائقة التوصيل عند درجات حرارة أعلى. هذه المواد قد تُستخدم في نقل الطاقة الكهربائية بشكل فعال دون فقدان، وهو ما قد يغير بشكل كبير من كفاءة شبكات الكهرباء العالمية

كما أظهرت المحاكاة الكمومية إمكانية تحسين الخلايا الشمسية العضوية باستخدام مواد جديدة، حيث يمكن تحضيرمواد ضوئية تمتص الضوء بشكل أكثر فعالية وتحوّله إلى طاقة كهربائية بشكل أفضل من الخلايا الشمسية التقليدية. مثلًا، تم محاكاة تفاعلات الإلكترونات في خلايا شمسية تعتمد على البوليمرات، مما أدى إلى تحسين كفاءتها

وفي مجال الطاقة المخزنة، تم استخدام المحاكاة الكمومية لدراسة خصائص مواد الليثيوم داخل البطاريات، مما يساعد في تصميم بطاريات أكثر كفاءة في تخزين الطاقة، وأطول عمرًا. هذه المحاكاة تتيح استكشاف طرق جديدة لتحسين الأداء وتقليل التكلفة.

تكمن أهمية المحاكاة في أن المواد التي نستخدمها في الصناعة، والطب، والتكنولوجيا، وحتى في الحياة اليومية تعتمد في خصائصها على تركيبتها الذرية وطريقة ترتيب الإلكترونات فيها. فكلما فهمنا هذا الترتيب بشكل أفضل، استطعنا تحضير مواد تحقق أهدافًا تطبيقية بطريقة أكثر فعالية ودقة.

وعليه، فإن المحاكاة الكمومية لا تفتح لنا باب الفهم فقط، بل تمنحنا أداة تصميم استباقي، نرسم بها ملامح المادة قبل أن توجد في المختبر. وهذا يمثل تحولًا نوعيًا في طريقة تطوير التكنولوجيا يجعل العلم أكثر استهدافًا وأقل عشوائية

- استكشاف سلوك الأنظمة البيولوجية المعقدة

تُعد الأنظمة البيولوجية – مثل البروتينات، والإنزيمات، والأحماض النووية، والشبكات العصبية – من أكثر النظم الطبيعية تعقيدًا، نظرًا لتعدد المستويات البنيوية والتفاعلات الديناميكية الدقيقة التي تحكم عملها. وعلى الرغم من التقدم الكبير في أدوات النمذجة الكلاسيكية، إلا أن الكثير من العمليات البيولوجية الأساسية، ولا سيما تلك التي تعتمد على التفاعلات الإلكترونية والبروتونية الدقيقة، لا يمكن تفسيرها بدقة إلا في ضوء ميكانيكا الكم

فمثلا في مجال بيولوجيا الأعصاب، بدأت نماذج أولية بمحاولة فهم الآليات الكمومية المحتملة في الشم أو الإدراك الحسي، مثل نظرية "الكم في الدماغ" التي تفترض إمكانية وجود ظواهر كمومية في المشابك العصبية الدقيقة. [Kaye et al., 2007, p. 200]

أما في علم الجينات، يمكن استخدام المحاكاة الكمومية لدراسة آليات إصلاح الحمض النووي، أو تتبع انتشار الطفرات على المستوى الإلكتروني، مما يسهم في فهم أسباب بعض الأمراض الوراثية المعقدة.

2- البحث الكمومي

هو عملية حسابية كمومية تستخدم مشغل أوركل وديناميكية التداخل الكمومي لتضخيم سعة الاحتمالية للحلول المرغوبة ضمن فضاء البحث، محققة تسريعًا مربعياً مقارنة بالخوارزميات الكلاسيكية المكافئة. [Nielsen & Chuang, 2010, p. 250]

فالبحث الكمومي عملية تهدف إلى إيجاد عنصر محدد داخل مجموعة أو قاعدة بيانات غير مرتبة باستخدام تقنيات الحوسبة الكمومية. بخلاف البحث التقليدي الذي يعتمد على فحص كل عنصر على حدة وبالتالي يحتاج وقتًا يتناسب خطيًا مع عدد العناصر O(N) . يستخدم البحث الكمومي مبادئ ميكانيكا الكم كالتراكب لتسريع عملية البحث بشكل كبير، بحيث ينخفض الزمن المطلوب ليصبح متناسبًا مع الجذر التربيعي لعدد العناصر $O(\sqrt{N})$

بمعنى آخر، لا يمر على كل العناصر بشكل منفرد، بل يعمل بطريقة ذكية على معالجة جميع الحالات الممكنة بشكل متوازي، مما يؤدي إلى تعزيز احتمالية العثور على العنصر المطلوب خلال عدد أقل بكثير من الخطوات مقارنة بالخوارزميات التقليدية، وهذا التقليل في زمن البحث من O(N) إلى O($\sqrt{N}$) ، يعتبر تحسينًا غير مسبوق عندما يتعلق الأمر بالبحث ضمن قواعد بيانات ضخمة تحتوي على ملايين أو مليارات العناصر. و يفتح المجال أمام تطبيقات كانت تعد غير عملية سابقًا بسبب التعقيد الزمني نذكر من اهم هذه المجالات ما يلي:

- تحليل الأنماط في البيانات الجينية

في السابق وقبل ظهور الحوسبة الكمومية كنا بحاجة الى حوالي 10 سنوات لتحليل جين بشري واحد بالكامل، فـأول مشروع لمحاكاة الجينات البشرية كلاسيكيا بدأ عام 1990م وانتهى 2003 وتكلفة التحليل كانت أكثر من 3 مليارات دولار. حتى مع تطور الحوسبة والبرمجيات والخوارزميات أصبح بالإمكان تحليل الجين الكامل خلال 24 إلى 48 ساعة في المختبرات المتقدمة وانخفاض التكلفة إلى أقل من 1000 دولار للجين الكامل ومع ذلك، إذا كانت المسألة تتعلق بتحليل متطور أكثر، مثل البحث عن طفرات نادرة جدًا عبر آلاف أو ملايين الجينات، أو محاولة اكتشاف أنماط معقدة أو تفاعلات بين آلاف الجينات فإن التحليل قد يستغرق أيامًا إلى أسابيع من التشغيل المتواصل، حتى باستخدام الحواسيب العملاقة الحديثة.وقد يتطلب بنية تحتية هائلة جدًا لمعالجة البيانات، و مراكز بيانات ضخمة، حوسبة سحابية متطورة.

فبظهور خوارزميات بحث كمومي مثل خوارزمية غروفر امكن تقليل عدد العمليات اللازمة للبحث، و بالتالي تقليل زمن التحليل من أيام إلى دقائق أو ثوانٍ، مما يسمح بالاكتشاف المبكر للأمراض الوراثية وتحسين العلاج الشخصي، والأهم من ذلك: يسمح بتحليل أنماط أكثر تعقيدًا

بكفاءة، حيث أن بعض التحليلات التي قد تكون شبه مستحيلة بسبب القيود الزمنية في الحوسبة التقليدية تصبح عملية وقابلة للتنفيذ. [Ganguly, 2022, p. 147]

- تصميم الأنظمة الحديثة

البحث الكمومي يفتح المجال لتصميم أنظمة أكثر كفاءة في إدارة واسترجاع المعلومات مثل أنظمة محركات البحث، إدارة قواعد البيانات، أنظمة الملاحة الذكية، وحتى تقنيات الذكاء الاصطناعي، كما يمكن الاستفادة من قدرات البحث الكمومي لتحسين أدائها بشكل ملحوظ، وفي مجال الأمن السيبراني، تعتمد بعض الهجمات الدفاعية أو طرق كسر التشفير على عمليات بحث مكثفة عبر فضاءات حلول ضخمة، فاستخدام البحث الكمومي يمكن أن يغير طبيعة هذه العمليات، مما يستدعي إعادة التفكير في معايير الأمان المستقبلية.لا يقتصر دور البحث الكمومي على البحث المباشر فقط، بل يدخل كخطوة فرعية في العديد من الخوارزميات الأخرى و اكتشاف الأنماط. ووجود طريقة بحث أكثر كفاءة يعني تحسين الأداء الكلي لهذه الخوارزميات بشكل أساسي.[Rieffel & Polak, 2011, p. 178]

الخلاصة

يمثل هذا البحث دراسة تطبيقية لمقارنة كفاءة خوارزمية جروفر الكمومية بطرق البحث الكلاسيكية في معالجة قواعد بيانات غير مرتبة ضخمة. تم تنفيذ تجربة محاكاة على قاعدة بيانات مكوّنة من 100,000 عنصر، حيث أظهرت النتائج أن خوارزمية جروفر تحقق تسريعًا زمنيًا ذا طبيعة تربيعية مقارنة بالتعقيد الخطي للبحث التقليدي، مما يجعلها أكثر فعالية في التعامل مع البيانات واسعة النطاق. ويعود هذا التفوق إلى استغلال مبدأي التراكب والتداخل الكمومي لزيادة احتمالية الوصول إلى العنصر المطلوب بعد عدد أقل من الخطوات. توضح الدراسة الإمكانات الكبيرة للحوسبة الكمومية في مجالات متعددة، بما في ذلك تحليل البيانات المعقدة، تصميم الأدوية، وتطوير المواد المتقدمة، مع التأكيد على أن التطورات المستقبلية في الأجهزة الكمومية ستعزز من قابلية تطبيق هذه الخوارزميات على نطاق عملي واسع

المصادر والمراجع:

1. Feynman, R. P. (1982). *Simulating physics with computers*. *International Journal of Theoretical Physics, 21*(6–7), 467–488.

https://doi.org/10.1007/BF02650179
2. Ganguly, S. (2022). *Quantum machine learning: An applied approach*. Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-7731-0
3. Kaye, P., Laflamme, R., & Mosca, M. (2007). *An introduction to quantum computing*. Oxford University Press.
4. Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. (2010). *Quantum computation and quantum information* (2nd ed.). Cambridge University Press.
5. Preskill, J. (1998). *Lecture notes on quantum computation*. California Institute of Technology. Retrieved from http://www.theory.caltech.edu/people/preskill/ph229/
6. Rieffel, E., & Polak, W. (2011). *Quantum computing: A gentle introduction*. MIT Press.