



“क्वांटम संगणक” हा एक संगणक आहे जो क्वांटम यांत्रिक घटनांचा फायदा घेतो.

लहान स्केलवर, भौतिक पदार्थ कण आणि लहरी या दोन्हीचे गुणधर्म प्रदर्शित करतात आणि क्वांटम कंप्युटिंग या वर्तनाचा फायदा घेते, विशेषतः क्वांटम सुपरपोजिशन आणि एन्टॅंगलमेंट, विशेष हार्डवेअर वापरून जे क्वांटम स्थिती तयार करण्यास आणि हाताळण्यास समर्थन देते. कोणत्याही शास्त्रीय संगणकापेक्षा 100 दशलक्ष पट वेगवान आहे

शास्त्रीय भौतिकशास्त्र या क्वांटम उपकरणांच्या ऑपरेशनचे स्पष्टीकरण देऊ शकत नाही आणि स्केलेबल क्वांटम संगणक कोणत्याही आधुनिक "शास्त्रीय" संगणकापेक्षा वेगाने (इनपुट आकार स्केलिंगच्या संदर्भात) काही गणना करू शकतो. विशेषतः, मोठ्या प्रमाणातील क्वांटम संगणक मोठ्या प्रमाणात वापरल्या जाणाऱ्या एन्क्रिप्शन योजनांचा भंग करू शकतो आणि भौतिक सिम्युलेशन करण्यात भौतिकशास्त्रज्ञांना मदत करू शकतो; तथापि, कलाची सद्यस्थिती मुख्यत्वे प्रायोगिक आणि अव्यवहार्य आहे, उपयुक्त अनुप्रयोगांमध्ये अनेक अडथळे आहेत. शिवाय, स्केलेबल क्वांटम संगणक अनेक व्यावहारिक कार्यांसाठी वचन देत नाहीत आणि अनेक महत्वाच्या कामांसाठी क्वांटम स्पीडअप अशक्य असल्याचे सिद्ध झाले आहे.

क्वांटम कंप्युटिंगमधील माहितीचे मूलभूत एकक म्हणजे क्यूबिट, पारंपारिक डिजिटल इलेक्ट्रॉनिक्समधील बिट प्रमाणेच. शास्त्रीय बिटाच्या विपरीत, क्यूबिट त्याच्या दोन "आधार" अवस्थांच्या सुपरपोजिशनमध्ये अस्तित्वात असू शकतो. क्यूबिट मोजताना, परिणाम म्हणजे शास्त्रीय बिटचे संभाव्य आउटपुट, म्हणून क्वांटम संगणक सर्वसाधारणपणे नॉनडेटरमिनिस्टिक बनवतात. जर एखादा क्वांटम कॉम्प्युटर क्यूबिटमध्ये विशिष्ट प्रकारे फेरफार करत असेल, तर लहरी हस्तक्षेप प्रभाव इच्छित मापन परिणाम वाढवू शकतात. क्वांटम अल्गोरिदमच्या डिझाइनमध्ये कार्यपद्धती तयार करणे समाविष्ट आहे जे क्वांटम संगणकाला कार्यक्षमतेने आणि द्रुतपणे गणना करू देते.

भौतिकदृष्ट्या उच्च-गुणवत्तेच्या क्यूबिट्सचे अभियांत्रिकी करणे आव्हानात्मक सिद्ध झाले आहे. भौतिक क्यूबिट त्याच्या वातावरणापासून पुरेसे वेगळे नसल्यास, त्याला क्वांटम डीकोहेरेन्सचा त्रास होतो, ज्यामुळे गणनामध्ये आवाज येतो. विरोधाभासाने, क्यूबिट्स पूर्णपणे वेगळे करणे देखील अवांछित आहे कारण क्वांटम गणनेसाठी सामान्यतः क्यूबिट्स आरंभ करणे, नियंत्रित क्विट परस्पर क्रिया करणे आणि परिणामी क्वांटम अवस्था मोजणे आवश्यक आहे. त्या प्रत्येक ऑपरेशनमध्ये त्रुटी येतात आणि आवाजाचा त्रास होतो आणि अशा चुकीच्या गोष्टी जमा होतात. राष्ट्रीय सरकारांनी प्रायोगिक संशोधनात मोठ्या प्रमाणात गुंतवणूक केली आहे ज्याचा उद्देश दीर्घ सुसंगतता कालावधी आणि कमी त्रुटी दरांसह स्केलेबल क्यूबिट्स विकसित करणे आहे. दोन सर्वात आश्वासक तंत्रज्ञान आहेत सुपरकंडक्टर (जे विद्युत प्रतिरोधकता काढून टाकून विद्युत प्रवाह वेगळे करतात) आणि आयन ट्रॅप्स (जे इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक फील्ड वापरून एक आयन मर्यादित करतात).

तत्त्वतः, एक नॉन-क्वांटम (शास्त्रीय) संगणक क्वांटम संगणकाप्रमाणेच संगणकीय समस्या सोडवू शकतो, पुरेसा वेळ देऊन. क्वांटम फायदा संगणनक्षमतेऐवजी वेळेच्या जटिलतेच्या रूपात येतो आणि क्वांटम कॉम्प्लेक्सिटी सिद्धांत असे दर्शविते की काळजीपूर्वक निवडलेल्या कार्यांसाठी काही क्वांटम अल्गोरिदमला सर्वोत्कृष्ट ज्ञात नॉन-क्वांटम अल्गोरिदमपेक्षा वेगाने कमी संगणकीय चरणांची आवश्यकता असते. अशी कार्ये सैद्धांतिकदृष्ट्या मोठ्या प्रमाणात क्वांटम संगणकावर सोडविली जाऊ शकतात तर शास्त्रीय संगणक कोणत्याही वाजवी वेळेत गणना पूर्ण करू शकत नाहीत. तथापि, क्वांटम स्पीडअप सार्वभौमिक किंवा संगणकीय कार्यांमध्ये अगदी वैशिष्ट्यपूर्ण नाही, कारण वर्गीकरणासारखी मूलभूत कार्ये कोणत्याही एसिम्प्टोटिक क्वांटम स्पीडअपला परवानगी देत नाहीत हे सिद्ध झाले आहे. क्वांटम वर्चस्वाच्या दाव्यांनी शिस्तीकडे लक्षणीय लक्ष वेधले आहे, परंतु ते काल्पनिक कार्यांवर प्रदर्शित केले आहे, तर जवळ-अवधि व्यावहारिक वापर प्रकरणे मर्यादित आहेत.

क्वांटम कॉम्प्युटिंगबद्दल आशावाद हा क्वांटम फिजिक्सद्वारे सुलभ नवीन सैद्धांतिक हार्डवेअर शक्यतांच्या विस्तृत श्रेणीद्वारे वाढविला जातो, परंतु क्वांटम संगणन मर्यादांबद्दलची समज सुधारणे या आशावादाला संतुलित करते. विशेषतः, क्वांटम स्पीडअपचा पारंपारिकपणे नीरवरहित क्वांटम संगणकांसाठी अंदाज लावला गेला आहे, तर आवाजाचा प्रभाव आणि क्वांटम त्रुटी-सुधारणेचा वापर कमी-पॉलोनॉमियल स्पीडअपला कमजोर करू शकतो.

• इतिहास

अनेक वर्षांपासून, क्वांटम मेकॅनिक्स आणि कॉम्प्युटर सायन्स या क्षेत्रांनी वेगळे शैक्षणिक समुदाय तयार केले. आधुनिक क्वांटम सिद्धांत 1920 मध्ये अणू स्केलवर पाळलेल्या लहरी-कण द्वैताचे स्पष्टीकरण देण्यासाठी विकसित झाला आणि पुढील दशकांमध्ये कंटाळवाणा गणनेसाठी मानवी संगणकांची जागा घेण्यासाठी डिजिटल संगणकांचा उदय झाला. दुसऱ्या महायुद्धात दोन्ही विषयांचा व्यावहारिक उपयोग होता; युद्धकाळातील क्रिप्टोग्राफीमध्ये संगणकांची प्रमुख भूमिका होती आणि मॅनहॅटन प्रकल्पात वापरल्या जाणाऱ्या आण्विक भौतिकशास्त्रासाठी क्वांटम भौतिकशास्त्र आवश्यक होते.

भौतिकशास्त्रज्ञांनी संगणकीय समस्यांसाठी क्वांटम मेकॅनिकल मॉडेल लागू केले आणि क्यूबिट्ससाठी डिजिटल बिट्स बदलले, क्वांटम मेकॅनिक्स आणि संगणक विज्ञानाची क्षेत्रे एकत्र येऊ लागली. 1980 मध्ये, पॉल बेनिऑफ यांनी क्वांटम ट्युरिंग मशीन सादर केले, जे सरलीकृत संगणकाचे वर्णन करण्यासाठी क्वांटम सिद्धांत वापरते. जेव्हा डिजिटल संगणक अधिक वेगवान झाले, तेव्हा भौतिकशास्त्रज्ञांना क्वांटम डायनॅमिक्सचे अनुकरण करताना ओव्हरहेडमध्ये घातांकीय वाढीचा सामना करावा लागला, युरी मॅनिन आणि रिचर्ड फेनमन यांना स्वतंत्रपणे असे सुचविले की क्वांटम घटनांवर आधारित हार्डवेअर संगणक सिम्युलेशनसाठी अधिक कार्यक्षम असू शकतात. 1984 च्या पेपरमध्ये, चार्ल्स बेनेट आणि गिल्स ब्रासाई यांनी क्रिप्टोग्राफी प्रोटोकॉलमध्ये क्वांटम सिद्धांत लागू केला आणि क्वांटम की वितरण माहिती सुरक्षितता वाढवू शकते हे दाखवून दिले.

क्वांटम अल्गोरिदम नंतर ओरॅकल समस्यांचे निराकरण करण्यासाठी उदयास आले, जसे की 1985 मध्ये ड्यूशचे अल्गोरिदम, 1993 मध्ये बर्नस्टाईन-वाझिरानी अल्गोरिदम आणि 1994 मध्ये सायमनचे अल्गोरिदम. या अल्गोरिदमने व्यावहारिक समस्या सोडवल्या नाहीत, परंतु गणिताद्वारे अधिक माहिती मिळवू शकते हे दाखवून दिले. सुपरपोझिशनमध्ये क्वांटम स्थितीसह ब्लॅक बॉक्स, कधीकधी क्वांटम समांतरता म्हणून संदर्भित. पीटर शोरने मोठ्या प्रमाणावर वापरले जाणारे RSA आणि Diffie-Hellman एन्क्रिप्शन प्रोटोकॉल तोडण्यासाठी त्याच्या 1994 अल्गोरिदमसह या निकालांवर आधारित तयार केले, ज्याने क्वांटम संगणन क्षेत्राकडे लक्षणीय लक्ष वेधले. 1996 मध्ये, ग्रोव्हरच्या अल्गोरिदमने व्यापकपणे लागू होणाऱ्या असंरचित शोध समस्येसाठी क्वांटम स्पीडअप स्थापित केला. त्याच वर्षी, सेठ लॉयड यांनी सिद्ध केले की क्वांटम संगणक शास्त्रीय सिम्युलेशनमध्ये घातांकीय ओव्हरहेडशिवाय क्वांटम सिस्टमचे अनुकरण करू शकतात, फेनमनच्या 1982 च्या अनुमानाचे प्रमाणीकरण.

गेल्या काही वर्षांमध्ये, प्रायोगिकांनी फसलेले आयन आणि सुपरकंडक्टर वापरून लहान आकाराचे क्वांटम संगणक तयार केले आहेत. 1998 मध्ये, दोन-क्यूबिट क्वांटम संगणकाने तंत्रज्ञानाची व्यवहार्यता दर्शविली आणि त्यानंतरच्या प्रयोगांमुळे क्विटची संख्या वाढली आणि त्रुटी दर कमी झाला. 2019 मध्ये, Google AI आणि NASA ने घोषित केले की त्यांनी 54-qubit मशीनसह क्वांटम सर्वोच्चता प्राप्त केली आहे, अशी गणना केली आहे जी कोणत्याही शास्त्रीय संगणकासाठी अशक्य आहे. तथापि, या दाव्याची वैधता अद्याप सक्रियपणे संशोधन केली जात आहे.

थ्रेशोल्ड प्रमेय दर्शविते की क्यूबिट्सची संख्या वाढवण्यामुळे त्रुटी कशा कमी होऊ शकतात, तरीही पूर्णतः दोष-सहिष्णु क्वांटम संगणन "एक दूरचे स्वप्न" राहते. काही संशोधकांच्या मते, नजीकच्या भविष्यात नॉइझी इंटरमीडिएट-स्केल क्वांटम (NISQ) मशीन्सचा विशेष उपयोग होऊ शकतो, परंतु क्वांटम गेट्समधील आवाज त्यांची विश्वासार्हता मर्यादित करतो.

क्वांटम कॉम्प्युटिंग संशोधनातील गुंतवणूक सार्वजनिक आणि खाजगी क्षेत्रात वाढली आहे. एका सल्लागार फर्मने सारांशित केल्याप्रमाणे, गुंतवणुकीचे डॉलर्स ओतत आहेत, आणि क्वांटम-कंप्युटिंग स्टार्ट-अप्सचा प्रसार होत आहे. ... क्वांटम कंप्युटिंग व्यवसायांना पारंपारिक उच्च-कार्यक्षमता संगणकांच्या आवाक्याबाहेरच्या आणि गतीच्या पलीकडे असलेल्या समस्यांचे निराकरण करण्यात मदत करण्याचे वचन देत असताना, या प्रारंभिक टप्प्यावर वापर प्रकरणे मोठ्या प्रमाणावर प्रायोगिक आणि काल्पनिक आहेत.

बिझनेस मॅनेजमेंटच्या दृष्टिकोनावर लक्ष केंद्रित करून, क्वांटम कॉम्प्युटिंगचे चार प्रमुख श्रेणींमध्ये संभाव्य अनुप्रयोग म्हणजे सायबरसुरक्षा, डेटा विश्लेषण आणि कृत्रिम बुद्धिमत्ता, ऑप्टिमायझेशन आणि सिम्युलेशन आणि डेटा व्यवस्थापन आणि शोध.

डिसेंबर 2023 मध्ये, भौतिकशास्त्रज्ञांनी, प्रथमच, वैयक्तिक रेणूंच्या अडकल्याचा अहवाल दिला, ज्यांचे क्वांटम संगणनामध्ये महत्वपूर्ण अनुप्रयोग असू शकतात. तसेच डिसेंबर

2023 मध्ये, हार्वर्डमधील शास्त्रज्ञांनी यशस्वीरित्या "क्वांटम सर्किट्स" तयार केले जे पर्यायी पद्धतीपेक्षा अधिक कार्यक्षमतेने चुका सुधारतात, ज्यामुळे व्यावहारिक क्वांटम संगणकांमधला मोठा अडथळा दूर होऊ शकतो. हार्वर्ड रिसर्च टीमला MIT, QuEra Computing, Caltech आणि Princeton द्वारे समर्थित आणि DARPA च्या Optimization with Noisy Intermediate-scale Quantum devices (ONISQ) प्रोग्रामद्वारे निधी दिला गेला.

- **क्वांटम माहिती प्रक्रिया**

संगणक अभियंते सामान्यतः शास्त्रीय इलेक्ट्रोडायनामिक्सच्या दृष्टीने आधुनिक संगणकाच्या ऑपरेशनचे वर्णन करतात. या "शास्त्रीय" संगणकांमध्ये, काही घटक (जसे की सेमीकंडक्टर आणि यादृच्छिक संख्या जनरेटर) क्वांटम वर्तनावर अवलंबून असू शकतात, परंतु हे घटक त्यांच्या वातावरणापासून वेगळे नसतात, त्यामुळे कोणतीही क्वांटम माहिती त्वरीत डिकोहेर होते. यादृच्छिक अल्गोरिदमची रचना करताना प्रोग्रॅमर संभाव्यता सिद्धांतावर अवलंबून असू शकतात, तर सुपरपोझिशन आणि इंटरफेरन्स सारख्या क्वांटम मेकॅनिकल कल्पना प्रोग्राम विश्लेषणासाठी मोठ्या प्रमाणात अप्रासंगिक असतात.

क्वांटम प्रोग्राम्स, याउलट, सुसंगत क्वांटम सिस्टमच्या अचूक नियंत्रणावर अवलंबून असतात. भौतिकशास्त्रज्ञ रेखीय बीजगणित वापरून या प्रणालींचे गणितीय वर्णन करतात. कॉम्प्लेक्स संख्या मॉडेल संभाव्यता मोठेपणा, व्हेक्टर मॉडेल क्वांटम अवस्था आणि मॅट्रिक्स या अवस्थांवर केल्या जाऊ शकणाऱ्या ऑपरेशन्सचे मॉडेल करतात. क्वांटम कॉम्प्युटरचे प्रोग्रॅमिंग म्हणजे ऑपरेशन्स अशा प्रकारे तयार करण्याची बाब आहे की परिणामी प्रोग्राम सिद्धांतानुसार उपयुक्त परिणामांची गणना करेल आणि व्यवहारात अंमलबजावणी करता येईल.

भौतिकशास्त्रज्ञ चार्ली बेनेट यांनी क्वांटम आणि शास्त्रीय संगणकांमधील संबंधांचे वर्णन केल्याप्रमाणे, शास्त्रीय संगणक हा एक क्वांटम संगणक आहे ... म्हणून आपण "क्वांटम स्पीडअप्स कुठून येतात?" याबद्दल विचारू नये. आपण म्हणायला हवे, "ठीक आहे, सर्व संगणक क्वांटम आहेत. ...!"

जशी बिट ही शास्त्रीय माहिती सिद्धांताची मूलभूत संकल्पना आहे, त्याचप्रमाणे क्यूबिट हे क्वांटम माहितीचे मूलभूत एकक आहे. क्यूबिट हाच शब्द अमूर्त गणितीय मॉडेल आणि त्या मॉडेलद्वारे दर्शविल्या जाणाऱ्या कोणत्याही भौतिक प्रणालीचा संदर्भ देण्यासाठी वापरला जातो. शास्त्रीय बिट, व्याख्येनुसार, दोन भौतिक अवस्थांपैकी कोणत्याही एकामध्ये अस्तित्वात आहे, ज्याला 0 आणि 1 असे सूचित केले जाऊ शकते. क्यूबिटचे वर्णन राज्याद्वारे देखील केले जाते आणि दोन अवस्था अनेकदा $|0\rangle$ आणि $|1\rangle$ लिहील्या जातात शास्त्रीय अवस्था 0 आणि 1. तथापि, क्वांटम अवस्था $|0\rangle$ आणि $|1\rangle$ वेक्टर स्पेसशी संबंधित आहेत, म्हणजे त्यांना स्थिरांकांनी गुणाकार केला जाऊ शकतो आणि एकत्र जोडला जाऊ शकतो, आणि परिणाम पुन्हा वैध क्वांटम स्थिती आहे. अशा संयोजनाला $|0\rangle$ आणि $|1\rangle$ चे सुपरपोझिशन म्हणून ओळखले जाते.

द्विमितीय वेक्टर गणितीयदृष्ट्या क्यूबिट स्थिती दर्शवतो. भौतिकशास्त्रज्ञ सामान्यतः क्वांटम मेकॅनिकल रेखीय बीजगणितासाठी डायरेक्ट नोटेशन वापरतात, ψ लेबल केलेल्या वेक्टरसाठी $|\psi\rangle$ 'ket psi' लिहितात. क्यूबिट ही दोन-स्थिती प्रणाली असल्यामुळे, कोणतीही क्यूबिट अवस्था $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ फॉर्म धारण करते, जिथे $|0\rangle$ आणि $|1\rangle$ मानक आधार अवस्था आहेत आणि α आणि β संभाव्यता मोठेपणा आहेत, जे सामान्य जटिल संख्या आहेत. α किंवा β एकतर शून्य असल्यास, qubit प्रभावीपणे शास्त्रीय बिट आहे; जेव्हा दोन्ही शून्य असतात, तेव्हा क्यूबिट सुपरपोजिशनमध्ये असते. असा क्वांटम स्टेट वेक्टर (शास्त्रीय) संभाव्यता वेक्टर प्रमाणेच कार्य करतो, एका महत्त्वाच्या फरकासह: संभाव्यतेच्या विपरीत, संभाव्यतेचे मोठेपणा सकारात्मक संख्या असणे आवश्यक नाही. नकारात्मक मोठेपणा विध्वंसक लहरी हस्तक्षेप करण्यास परवानगी देतात.

- **क्वांटम समांतरवाद**

क्वांटम समांतरता हे एक ह्युरिस्टिक आहे की क्वांटम संगणक एकाच वेळी एकाधिक इनपुट मूल्यांसाठी फंक्शनचे मूल्यांकन म्हणून विचार केला जाऊ शकतो. इनपुट स्थितींच्या सुपरपोजिशनमध्ये क्वांटम सिस्टम तयार करून आणि मूल्यमापन करण्यासाठी फंक्शन एन्कोड करणारे एकात्मक परिवर्तन लागू करून हे साध्य केले जाऊ शकते. परिणामी स्थिती सुपरपोजिशनमधील सर्व इनपुट मूल्यांसाठी फंक्शनची आउटपुट मूल्ये एन्कोड करते, ज्यामुळे एकाच वेळी अनेक आउटपुटची गणना करता येते. हा गुणधर्म अनेक क्वांटम अल्गोरिदमच्या गतीसाठी महत्त्वाचा आहे. तथापि, या अर्थाने "समांतरता" गणनेला गती देण्यासाठी अपुरी आहे, कारण गणनेच्या शेवटी मोजमाप फक्त एक मूल्य देते. उपयुक्त होण्यासाठी, क्वांटम अल्गोरिदममध्ये काही इतर संकल्पनात्मक घटक देखील समाविष्ट करणे आवश्यक आहे.

-शुभम दिलीप पगारे.

(SY-COMPUTER TECHNOLOGY)

Written by: Pagare Shubham Dilip
Class: SYCM-Lin