WEEKLY FOCUS
#69, JULY 2022

VISIONIAS
INSPIRING INNOVATION

भारत में क्वांटम प्रौद्योगिकी:

भावी संभावनाओं की खोज

परिचय

क्वांटम प्रौद्योगिकियां 21वीं सदी की सबसे रोमांचक और तेजी से विकसित हो रही प्रौद्योगिकियों में से हैं। ऐसा माना जा रहा है कि इस क्षेत्र में वैश्विक स्तर पर विकसित हो रहे सिद्धांतों से कई व्यावसायिक अनुप्रयोग सामने आएंगे। ऐसे में क्वांटम प्रौद्योगिकी के क्षेत्र में महारत हासिल करने वाले देश कई गुना आर्थिक संवृद्धि तथा विश्व में अग्रणी भूमिका प्राप्त कर सकते हैं। इसी कारण से **भारत सरकार ने वर्ष 2019 में क्वांटम प्रौद्योगिकी को "राष्ट्रीय महत्व के मिशन"** (Mission of National Importance) **का दर्जा प्रदान** किया था। इसके परिणामस्वरूप, इसके प्रासंगिक कोर और एप्लाइड रिसर्च में अत्यधिक सार्वजनिक व निजी निवेश किया जा रहा है।

इसकी अहम भूमिका को देखते हुए, सबसे पहले क्वांटम प्रौद्योगिकी के मूल तथ्यों को समझना आवश्यक हो जाता है: जैसे– इसका अर्थ क्या है और इससे संबंधित वैज्ञानिक सिद्धांत क्या हैं? क्वांटम प्रौद्योगिकी के संभावित अनुप्रयोग क्या हैं तथा ऐसे अनुप्रयोग मानव जगत को कैसे परिवर्तित कर सकते हैं? इसके अलावा, हम इस तथ्य की भी जांच करेंगे कि भारत के लिए क्वांटम प्रौद्योगिकी पर ध्यान केंद्रित करना सबसे ज़रूरी क्यों है? क्वांटम उद्योग को मजबूत करने के लिए भारत में क्या उपाय किए गए हैं? भारत में इसके विकास और उपयोग से जुड़ी चुनौतियां क्या हैं? ऐसा क्या किया जाना चाहिए जिससे भारत में क्वांटम क्रांति की राह आसान हो? इस एडिशन में, हम इन सवालों के जवाब ढूंढने का प्रयास करेंगे।

क्वांटम प्रौद्योगिकी क्या है और इससे संबंधित प्रमुख वैज्ञानिक सिद्धांत क्या हैं?

- **क्वांटम प्रौद्योगिकी मुख्यत: क्वांटम मैकेनिक्स के सिद्धांतों पर आधारित है।** यह भौतिकी और इंजीनियरिंग का एक उभरता हुआ क्षेत्र है।
  - क्वांटम मैकेनिक्स भौतिकी का एक ऐसा क्षेत्र है जो **एटॉमिक या सब एटॉमिक कणों के स्तर पर पदार्थ और ऊर्जा की प्रकृति तथा व्यवहार की व्याख्या करता है।** क्वांटम कण के रूप में संदर्भित ऐसे सूक्ष्म कणों (जैसे फोटॉन, इलेक्ट्रॉन आदि) का व्यवहार सामान्यत: नग्न आँखों से दिखाई देने वाली वस्तुओं के व्यवहार से काफी अलग होता है।
- क्वांटम प्रौद्योगिकियों का लक्ष्य ऐसे कणों के गुणों को नियंत्रित करना या उनमें आवश्यक परिवर्तन लाना है। इसके द्वारा हम ऐसे कंप्यूटरों और अन्य प्रौद्योगिकियों का निर्माण कर सकते हैं जो हमारी वर्तमान प्रौद्योगिकीय क्षमताओं से कहीं बेहतर हों।

क्या आप जानते हैं?

भौतिकी में, क्वांटम किसी भी भौतिक गुण (फिज़िकल प्रॉपर्टी) की सबसे छोटी संभव असतत (discrete) इकाई है। यह आमतौर पर एटॉमिक या सब एटॉमिक कणों के गुणों को संदर्भित करता है, जैसे– इलेक्ट्रॉन, न्यूट्रिनो और फोटॉन।

- इस परिवर्तन के लिए क्वांटम मैकेनिक्स के दो सबसे महत्वपूर्ण सिद्धांतों का उपयोग किया जाता है–

सुपरपोजिशन (Superposition)

यह अंतिम मापन से पहले समान अवधि में क्वांटम कणों के कई अवस्थाओं में होने की क्षमता है, अर्थात् माप या अंतिम आकलन से पहले तक क्वांटम, सुपरपोज़िशन में होते हैं।

सिद्धांत की समझ

सिक्के को उछालना

मान लीजिए कि आप एक सिक्का उछाल रहे हैं। यदि सिक्का उछालने के दौरान हवा में आप सिक्के की दोनों स्थितियों एवं साथ ही इन दोनों के बीच की प्रत्येक अवस्था को देख पाएं तो सिक्का सुपरपोजिशन की स्थिति में होगा। अर्थात् एक ही समय में हेड और टेल और बीच की प्रत्येक अवस्था। हालांकि सिक्के के नीचे गिरने पर ही आप हेड या टेल को स्पष्ट रूप से देख पाएंगे।

	अग्रगामी / पूर्ववर्ती	प्रक्रिया	परिणाम
पारंपरिक रीति से सिक्के को उछालना	कणों का दो भिन्न अवस्थाओं में होना: हेड, टेल	प्रारंभ-->उछालना-->गिरना	50% हेड
क्वांटम सिक्के को उछालना	क्वांटम चरण — कण: हेड ⇄ टेल (सुपरपोजिशन)	प्रक्रिया: प्रारंभ ⇄ उछालना ⇄ गिरना (सुपरपोजिशन)	50% हेड

अथवा

श्रोडिंगर का बिल्ली प्रयोग (Schrodinger's Cat Experiment)

भौतिक विज्ञानी इरविन श्रोडिंगर के अनुसार, मान लीजिए आप एक बॉक्स में एक बिल्ली और कुछ ऐसी चीज़ रखते हैं जिससे बिल्ली की मौत हो सकती है (उदाहरण के लिए एक रेडियोधर्मी परमाणु)। आप उसे सील कर देते हैं। ऐसी हालत में, जब तक आप बॉक्स नहीं खोलते हैं, तब तक यह नहीं जान पाएंगे कि बिल्ली जीवित है या मर गई। इसलिए, जब तक बॉक्स नहीं खोला जाता, तब तक बिल्ली की अवस्था (एक अर्थ में) "मृत और जीवित" दोनों हो सकती है।

पदार्थ का रिसाव होता है; विष से बिल्ली की मृत्यु हो जाती है।

ऐसे में बिल्ली जीवित और मृत दोनों हो सकती है। अर्थात् यह "सुपरपोजिशन" की स्थिति में है।

एंटैंगलमेंट (Entanglement)

इसका आशय ऐसी स्थिति से है जहाँ दो या दो से अधिक क्वांटम कण इस तरह से जुड़े होते हैं कि उनका व्यक्तिगत रूप से मापन कर पाना असंभव होता है। फिर भी एक कण के मापन का उपयोग, ठीक उसी क्षण, दूसरे कणों के बारे में निष्कर्ष निकालने के लिए किया जा सकता है।

क्या आप जानते हैं ?

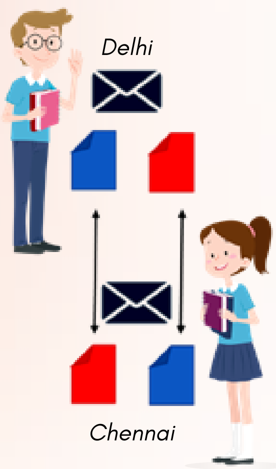
अधिक दूरी पर अलग-अलग स्थित एंटैंगल्ड क्वांटम कण, एक दूसरे के साथ प्रकाश की गति से भी तेज प्रतिक्रिया करते हुए प्रतीत होते हैं। इसलिए, अल्बर्ट आइंस्टीन ने इस घटना अर्थात् एंटैंगलमेंट को "कुछ दूरी पर होने वाली विचित्र घटना (spooky action at a distance)" कहा था।

इस सिद्धांत की समझ

एंटैंगलमेंट एनवेलप (लिफाफा)

मान लीजिए कि हमारे पास कागज के दो टुकड़े हैं, एक नीला और एक लाल।

हम प्रत्येक कागज को उसके अपने लिफाफे में डालते हैं। लिफाफों को बेतरतीब ढंग से विनी और विनय दोनों को दिया जाता है। फिर दोनों को अलग-अलग स्थानों पर भेजा जाता है। मान लेते हैं कि विनय को दिल्ली और विनी को चेन्नई भेजा जाता है। उन दोनों को बताया जाता है कि यदि एक के पास नीला कागज है, तो दूसरे के पास लाल है। इसी तरह इसके विपरीत स्थिति भी सत्य है। अब, यह कहा जा सकता है कि जैसे ही विनय अपना लिफाफा खोलता है, उसे न केवल अपने कागज का रंग, बल्कि तुरंत, विनी के कागज का रंग का पता चल जाएगा। इसी तरह विनी के साथ भी होगा। अतः हम कह सकते हैं कि दोनों कागज़ एंटैंगल्ड स्थिति में हैं।



या

फ़ास्ट फूड की दुकान पर भोजन घर ले जाने के लिए ऑर्डर देना

यदि आप बर्गर और ग्रिल्ड पनीर सैंडविच दोनों ऑर्डर करते हैं, तो आप बॉक्स खोलने से पहले तक नहीं जान सकते हैं कि किसमें क्या है?

लेकिन जैसे ही आप एक बॉक्स को खोलते हैं, आपको बिना देखे तुरंत पता चल जाता है कि दूसरे में क्या है। यह सच है, भले ही दूसरा बॉक्स कितना भी दूर क्यों न हो? इसलिए यह कहा जा सकता है कि दोनों बॉक्स एंटैंगल्ड स्थिति में हैं।

मिथक बस्टर!

पहला मिथकः वर्तमान में हम पहली बार क्वांटम क्रांति देख रहे हैं।

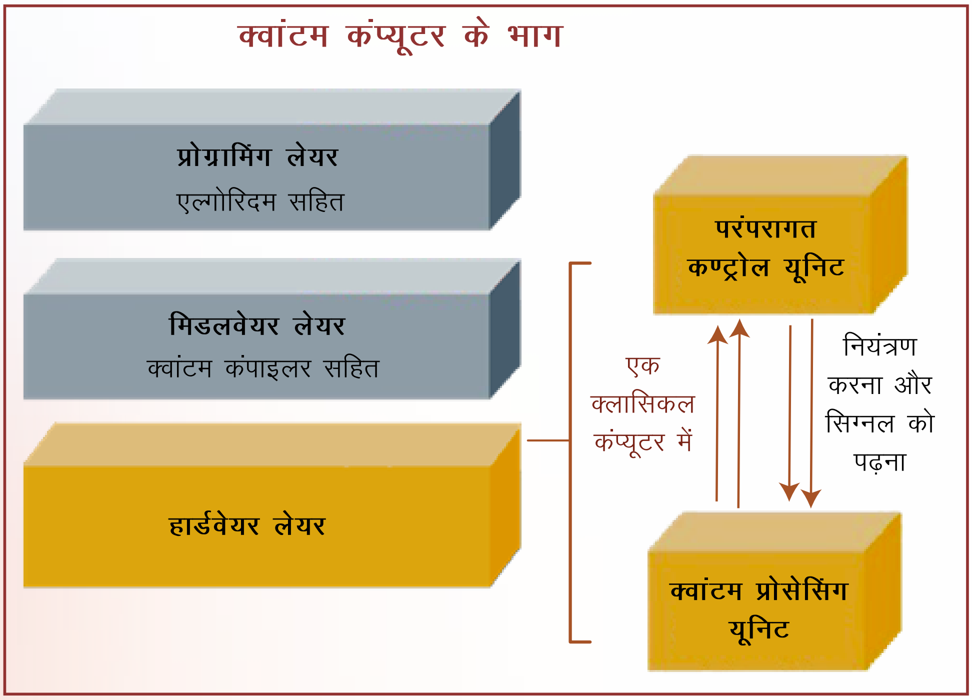
तथ्यः दुनिया इस समय क्वांटम क्रांति की दूसरी लहर देख रही है। पहली क्वांटम क्रांति पिछली शताब्दी के अंत में शुरू हुई थी। यह तरंग–कण द्वैतता (wave-particle duality) के मूल विचार पर आधारित थाः विशेष रूप से एक ऐसा विचार जिसके तहत यह माना जाता है कि पदार्थ के कण कभी–कभी तरंगों की तरह व्यवहार करते हैं तथा प्रकाश तरंगें कभी–कभी कणों की तरह व्यवहार करती हैं। 20वीं शताब्दी के अंत तक, क्वांटम यांत्रिकी की यह पहली क्रांति, आधुनिक समाज को आधार प्रदान करने वाली कई प्रमुख प्रौद्योगिकियों के रूप में विकसित हुई थी, जैसे– ट्रांजिस्टर, मैग्नेटिक रेजोनेंस इमेजिंग (MRI) स्कैनर, लेजर, एलईडी आदि।

क्वांटम प्रौद्योगिकी के संभावित अनुप्रयोग क्या हैं?

वर्तमान में, इस क्षेत्र में तकनीकी विकास अपनी प्रारंभिक अवस्था में हैं। इसका अर्थ है कि अब तक कोई प्रमाणित व्यावहारिक उपयोग विकसित नहीं किया गया है। लेकिन भविष्य में, क्वांटम प्रौद्योगिकी से व्यापक प्रसार वाले उपयोगों के साथ नए अवसर पैदा होने की उम्मीद है, विशेष रूप से कंप्यूटिंग, संचार, सिमुलेशन और सेंसिंग के क्षेत्र में।

क्वांटम कंप्यूटिंग (Quantum Computing)

- क्वांटम कंप्यूटर, क्वांटम मैकेनिक्स के अनोखे गुणों का उपयोग कंप्यूटिंग के लिए करते हैं। यह पारंपरिक प्रोग्रामिंग विधियों के लिए नए कॉन्सेप्ट्स उपलब्ध कराता है। एक क्वांटम कंप्यूटर की प्रोसेसिंग क्षमता पारंपरिक कंप्यूटिंग सिस्टम से कहीं अधिक होती है। इसलिए इससे **एक ही समय में, बहुत तेज़ गति से कई एप्लीकेशन चलाए जा सकते हैं।**
- **क्वांटम कंप्यूटिंग,** पारंपरिक या क्लासिकल कंप्यूटरों द्वारा उपयोग किए जाने वाले बाइनरी बिट्स (0 और 1) की जगह सूचनाओं की बुनियादी इकाई के रूप में **क्यूबिट्स** (qubits) **का उपयोग करता है।**



- जटिल समस्याओं को हल करने की क्षमता के कारण, ऐसे कंप्यूटरों की एयरो–स्पेस इंजीनियरिंग, संख्यात्मक मौसम पूर्वानुमान, औषधि विकास, उन्नत विनिर्माण, स्वास्थ्य, कृषि, शिक्षा आदि के क्षेत्र में व्यापक अनुप्रयोग होने की संभावना है।

मिथक बस्टर!

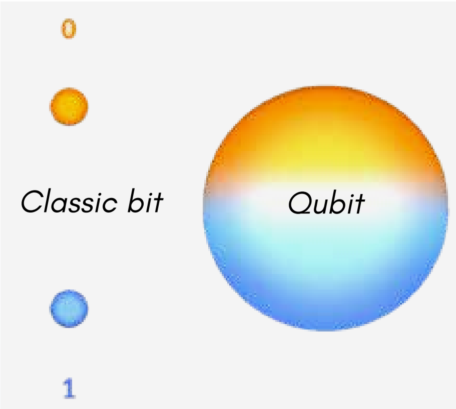
मिथक 2: क्वांटम कम्प्यूटिंग सामान्य कंप्यूटिंग व्यवस्था को समाप्त कर देगा।

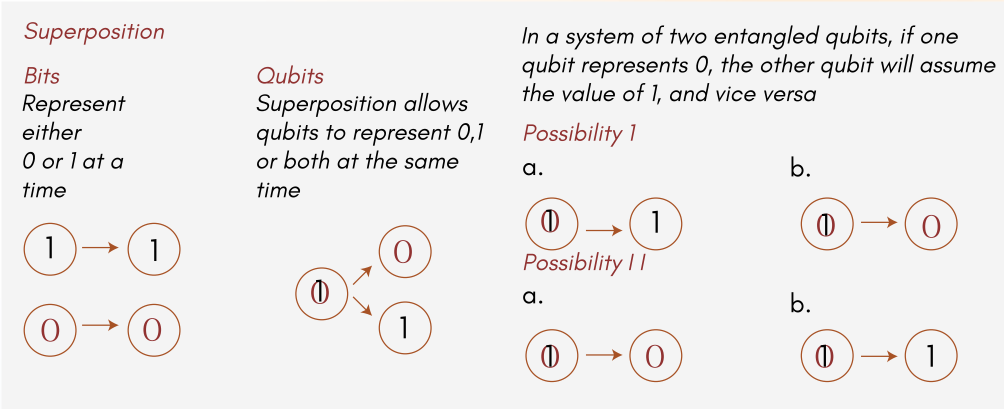
तथ्यः क्वांटम कंप्यूटर सामान्य कंप्यूटरों की जगह लेने के लिए विकसित नहीं किए जा रहे हैं। बल्कि यह उच्च–सटीकता के साथ, विशिष्ट गतिविधियों को करने के लिए डिज़ाइन की गई एक नई तरह की प्रौद्योगिकी है। हाई–डेफिनिशन वीडियो स्ट्रीमिंग से लेकर इस लेख को लिखने तक के दैनिक कार्यों के लिए– क्वांटम कंप्यूटर अभी तक अनुपयोगी ही रहे हैं।

विश्लेषण

क्यूबिट्स क्या हैं और वे बाइनरी बिट्स से कैसे भिन्न हैं?

- **क्यूबिट्स आमतौर पर सब–एटॉमिक कण होते हैं,** जैसे– इलेक्ट्रॉन या फोटॉन, जबकि बिट **विद्युत या ऑप्टिकल पल्स की एक धारा का प्रतिनिधित्व करता है** जो 1 या 0 को दर्शाते हैं।
- वे क्वांटम कंप्यूटिंग में ठीक वैसी ही भूमिका निभाते हैं जैसे परंपरागत कंप्यूटिंग में बिट्स करते हैं लेकिन ये व्यवहार में पूर्णतः एक दूसरे से भिन्न होते हैं।
- हालांकि बिट्स **केवल 0 या 1 की अवस्था में प्रोसेस (गणना) किए जा सकते हैं, जबकि क्यूबिट्स सभी संभावित अवस्थाओं (1 और 0 दोनों अवस्थाओं में) में हो सकते हैं जो एक सुपरपोजिशन स्थिति** को दर्शाता है।





- उपर्युक्त परिलक्षित क्यूबिट्स के गुण और उनका एक सम्बद्ध समूह, इसी संख्या के बाइनरी बिट्स की तुलना में अधिक प्रोसेसिंग क्षमता प्रदान कर सकते हैं।

क्वांटम संचार

क्वांटम संचार, डेटा सुरक्षा के लिए क्वांटम यांत्रिकी के नियमों का प्रयोग करता है। यह ऑप्टिकल केबल्स के साथ डेटा को संचारित करने के लिए क्वांटम बिट्स (सामान्यतः प्रकाश के फोटॉन) का उपयोग करता है। क्वांटम संचार की सर्वाधिक सामान्य प्रौद्योगिकियों के अंतर्गत निम्नलिखित प्रौद्योगिकियां शामिल हैं जो वर्तमान में विकास के विभिन्न चरणों में हैं–

- **क्वांटम की डिस्ट्रीब्यूशन** (Quantum Key Distribution: QKD): यह सुरक्षित संचार वाली एक तकनीक है जो दो पक्षों को आपस में रैंडम सीक्रेट कीज़ (keys) को साझा करने में सक्षम बनाती है। हालांकि इसे केवल दो पक्षों के बीच ही साझा किया जाता है । इसका उपयोग संदेशों को एन्क्रिप्ट या डिक्रिप्ट करने के लिए भी किया जा सकता है।
  - इसके अंतर्गत एन्क्रिप्टेड डेटा को नेटवर्क पर परंपरागत बिट्स के रूप में भेजा जाता है। तो वहीं क्यूबिट्स का उपयोग करके सूचनाओं को डिक्रिप्ट करने हेतु कीज़ को एन्कोड किया जाता है और क्वांटम अवस्था में सूचनाओं को ट्रांसमिट कर दिया जाता है।
  - QKD की एक उल्लेखनीय विशेषता यह है कि यह संचार कड़ी पर मौजूद किसी तीसरे पक्ष की उपस्थिति का पता लगा सकता है।
- **क्वांटम रैंडम नंबर जेनरेशन** (Quantum Random Number Generation): क्रिप्टो प्रणाली में कीज़ उत्पन्न करने के लिए रैंडम नंबर का उपयोग मुख्य रूप से सीड (seed) अथवा प्रथम सिद्धांत के रूप में किया जाता है। (विशिष्ट सुरक्षा सेवा जैसे–एन्क्रिप्शन को लागू करने के लिए क्रिप्टोग्राफिक एल्गोरिदम्स की आवश्यकता पड़ती है)। इन कीज़ की क्षमता इनपुट की रैंडमनेस पर निर्भर करती है।
  - QRNG, रैंडम क्वांटम घटनाओं का पता लगाता है और उन्हें बाइनरी अंकों की एक धारा में परिवर्तित करता है। क्वांटम मैकेनिक्स में वास्तविक रैंडम नंबर प्रदान करने की अंतर्निहित क्षमता है। इस प्रकार यह रैंडमनेस की आवश्यकता वाले वैज्ञानिक उपयोगों के लिए पसंदीदा विकल्प बन गया है।

क्वांटम सिमुलेशन

क्वांटम सिमुलेटर, विशेष रूप से तैयार किया गया एक क्वांटम कंप्यूटर है जिसे **भौतिक दुनिया के घटकों या रासायनिक प्रतिक्रियाओं के अनुरूप विकसित किया गया है।**

- सिमुलेशन का उद्देश्य वास्तविक सामग्रियों के डिजाइन या रासायनिक प्रक्रियाओं के अनुप्रयोग से पहले परिणामों को जानना है। इन परिणामों को जानने के लिए यह नई प्रक्रियाओं या गुणों की खोज को, एक उपकरण के रूप में प्रयोग करने का अवसर प्रदान करता है।
- क्वांटम सिमुलेशन के संभावित अनुप्रयोगों में औषधि के डिजाइन, सुपरकंडक्टिंग सामग्री, जटिल आणविक संरचनाएं आदि शामिल हैं।

क्वांटम सेंसिंग और मेट्रोलॉजी (माप–पद्धति)

- क्वांटम सेंसिंग का उद्देश्य अलग–अलग कणों जैसे **फोटॉन और इलेक्ट्रॉन का सेंसर के रूप** में उपयोग करना है। यह उपयोग बलों, गुरुत्वाकर्षण, विद्युत क्षेत्रों आदि के मापन से संबंधित वर्तमान तकनीकों में किया जा सकता है।
  - यह सूचनाओं में सूक्ष्म परिवर्तनों का पता लगाने और ऐसे मापनों में उच्च संवेदनशीलता व रेज़ोल्यूशन प्राप्त करने के लिए क्वांटम सुपरपोजिशन और/या एंटैंगलमेंट का उपयोग करता है।
- इसके अलावा, क्वांटम सेंसिंग और मेट्रोलॉजी का उपयोग क्वांटम घड़ियों को विकसित करने के लिए भी किया जा सकता है। ये मौजूदा परमाणु घड़ियों का अपग्रेडेड संस्करण हैं, जिनका उपयोग समय को अत्यधिक परिशुद्धता से मापने के लिए किया जाता है।

अन्य संभावित अनुप्रयोगः मौजूदा क्वांटम अनुसंधान जगत में इसकी स्थिति

- **क्वांटम इंटरनेटः** सरल शब्दों में, इसमें एक दूसरे से अलग रखे गए एक से अधिक क्वांटम उपकरणों के नेटवर्क में क्यूबिट्स को भेजा जाएगा। इस प्रकार का इंटरनेट, प्रकाश की गति से अधिक गति पर, बड़ी मात्रा में डेटा को अत्यधिक दूरी तक ट्रांसमिट करने और अत्यधिक–सुरक्षित संचार प्राप्त करने में मदद करेगा।
- **क्वांटम टेलीपोर्टेशनः** यह वस्तुतः किसी प्रेषक द्वारा एक स्थान से कुछ दूरी पर स्थित किसी रिसीवर तक क्वांटम सूचनाओं को भेजने की तकनीक है। इसमें कण स्वयं वास्तव में टेलीपोर्ट नहीं होते हैं, बल्कि एक कण की अवस्था को एक तरफ नष्ट (डिस्ट्रॉय) कर दूसरी तरफ से उसे एक्स्ट्रैक्ट (निष्कर्षित) किया जाता है। इसका अर्थ है कि कण की अवस्था में एन्कोड की जाने वाली सूचनाओं को एक ओर से दूसरी ओर भेजा जाता है।
  - साइंस फिक्शन में टेलीपोर्टेशन से भौतिक वस्तुओं को एक जगह से दूसरी जगह पर स्थानांतरित करते हुए दिखाया जाता है। इसके विपरीत क्वांटम टेलीपोर्टेशन केवल क्वांटम सूचनाओं को स्थानांतरित करता है ताकि सुरक्षित संचार प्राप्त किया जा सके।

कैसे इन अनुप्रयोगों से दुनिया में बदलाव की उम्मीद की जा सकती है?

क्वांटम प्रौद्योगिकी के विभिन्न अनुप्रयोगों की परिकल्पना की गई है। इनका उद्देश्य विभिन्न क्षेत्रों में व्यापक प्रभाव के साथ आधुनिक प्रौद्योगिकियों में आमूलचूल परिवर्तन लाना है। इनमें से ज़्यादातर प्रभाव, मानव गतिविधियों को बढ़ाने और इनकी क्षमता को बेहतर बनाने में मदद करेंगे, हालांकि इनके कुछ संभावित जोखिम भी हैं।

क्वांटम प्रौद्योगिकी मानव के लिए कैसे लाभदायक हो सकती है?

- जटिल समस्याओं का समाधानः क्वांटम कंप्यूटर, आधुनिक समय के कंप्यूटर की प्रोसेसिंग क्षमताओं में असाधारण वृद्धि करने में मदद करेंगे। इससे वे बड़े डेटा सेट का अधिक सटीक विश्लेषण कर सकेंगे और अंततः जटिल समस्याओं (जटिल तरीकों से एक दूसरे को प्रभावित करने वाले ढेर सारे वेरिएबल्स से उत्पन्न) को हल कर सकेंगे। साथ ही यह कई क्षेत्रों में महत्वपूर्ण खोजों को बढ़ावा देगा जैसे–
  - **मशीन लर्निंग और आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस** (AI): AI समाधानों को बेहतर बनाने के लिए तीव्र मशीन लर्निंग की प्रक्रिया को सुनिश्चित किया जा सकता है।
  - **वित्तीय सेवाएंः** यह वित्तीय पूर्वानुमान, गहन विश्लेषण, व्यापार को तीव्र बनाने, अधिक सटीक जोखिम आकलन, अति–सुरक्षित लेनदेन आदि में सुधार कर सकता है।
  - **मौसम पूर्वानुमानः** मौसम प्रणाली की मॉडलिंग को बेहतर बनाकर वैज्ञानिक बदलते मौसम के पैटर्न की कुछ ही समय में और सटीक भविष्यवाणी कर सकते हैं।
  - **लॉजिस्टिक्सः** यह बेहतर डेटा विश्लेषण और मजबूत मॉडलिंग को सुनिश्चित कर सकता है। इससे लॉजिस्टिक्स का उपयुक्त प्रयोग करना आसान हो जाएगा। इसके साथ ही आपूर्ति–श्रृंखला प्रबंधन से जुड़े कार्यों की शेड्यूलिंग करना भी आसान हो जाएगा। इन कार्यों में यातायात प्रबंधन, नौसैनिक बेड़े का संचालन, हवाई यातायात नियंत्रण, माल ढुलाई एवं वितरण इत्यादि शामिल हैं।
  - **ऊर्जाः** इनसे लार्ज–ग्रिड डेटा ऑप्टिमाइजेशन से संबंधित मुद्दों को हल किया जा सकता है। साथ ही हाई फिडेलिटी (HiFi) और ऐसी ही अन्य सुविधाएं भी प्रदान की जा सकती हैं।
  - **वैज्ञानिक अनुसंधानः** गणित, भौतिकी, रसायन विज्ञान आदि जैसे क्षेत्रों में समस्याओं के समाधान प्राप्त करना आसान हो जाएगा। विशेषकर ऐसी समस्याओं का जिनकी जटिलता के कारण पारंपरिक कंप्यूटर उन्हें हल नहीं कर पाते हैं। अतः क्वांटम प्रौद्योगिकी से विज्ञान में नई खोजों को बढ़ावा मिल सकता है।
  - **अन्य**– अनस्ट्रक्चर्ड डेटा सर्चेज़ का बिग डेटा एनालिसिस, अतिचालकों (superconductors) का विकास, औषधि अनुसंधान, विमान, इमारतों, कारों आदि के कुशल डिजाइन तैयार किए जा सकते हैं।

* **बेहतर भूवैज्ञानिक मानचित्रण और अन्वेषण:** शक्तिशाली क्वांटम सेंसर का उपयोग गुरुत्वाकर्षण संबंधी स्थानिक भिन्नताओं को मापने एवं खनिजों, जल या एम्बेडेड पाइपलाइनों को खोजने में किया जा सकता है। साथ ही इनका उपयोग भूकंप और ज्वालामुखी विस्फोट हेतु उन्नत चेतावनी प्रणाली विकसित करने के लिए भी किया जा सकता है।
* **साइबर सुरक्षा से जुड़े जोखिमों से निपटना:** क्वांटम नेटवर्क संभावित रूप से हैक न किए जा सकने वाले संचार को स्थापित करने में मदद कर सकते हैं। इससे दुनिया भर में व्यक्तिगत और अन्य निजी डेटा की गोपनीयता और सुरक्षा पहले से बेहतर हो सकती है।
* **पोजिशनिंग, नेविगेशन और टाइमिंग में सुधार:** क्वांटम घड़ी की उच्च परिशुद्धता, पोजिशनिंग एवं नेविगेशन की सटीकता में सुधार कर सकती है।
* **बेहतर चिकित्सा निदान एवं देखभाल:** क्वांटम सिमुलेटर से नई दवाओं की खोज और उनके डिजाइन हेतु अवसर पैदा होंगे। साथ ही क्वांटम इमेजिंग से जैविक प्रक्रियाओं की मैपिंग, एकल प्रोटीन अणुओं की 3–डी मैपिंग आदि की जा सकेगी। इस तरह के प्रयास गैर–इनवेसिव (बिना किसी उपकरण को शरीर में डाले) और सटीक निदान एवं लक्षित औषधि विकास के लिए सहायक सिद्ध हो सकते हैं।

विश्लेषण

जलवायु परिवर्तन के शमन और अनुकूलन में क्वांटम कंप्यूटर कैसे महत्वपूर्ण योगदान दे सकते हैं?

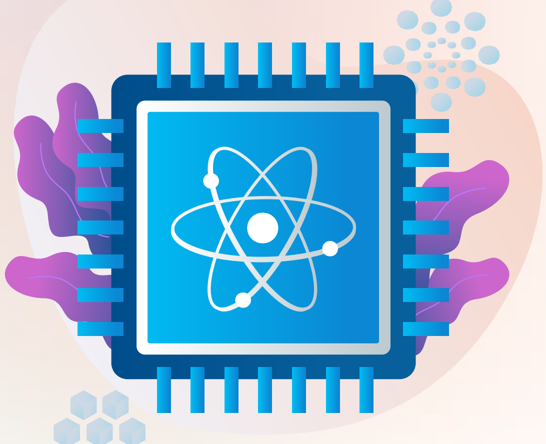
क्वांटम कंप्यूटर संभावित रूप से जलवायु परिवर्तन से संबंधित कुछ बड़ी चुनौतियों को हल करने में मदद कर सकते हैं, जैसे–

* यह नए CO_2 उत्प्रेरकों की खोज में तेज़ी ला सकते हैं। ऐसे उत्प्रेरक जो CO_2 की कुशल रीसाइक्लिंग को सुनिश्चित करें। साथ ही इस प्रक्रिया में हाइड्रोजन एवं कार्बन मोनोऑक्साइड जैसी उपयोगी गैसों का उत्पादन करें।
* ये मौसम वैज्ञानिकों को अधिक विस्तृत जलवायु मॉडल तैयार करने और उनका विश्लेषण करने में मदद कर सकते हैं। साथ ही ये जलवायु परिवर्तन, उसके प्रभावों और उसे अनुकूलित या कम करने के तरीकों में बेहतर अंतर्दृष्टि प्रदान कर सकते हैं।
* ये अधिक दक्ष बैटरियों या उर्वरकों के निर्माण को बढ़ावा दे सकते हैं।
* ये ट्रैफिक जाम और वाहनों के लिए ईंधन की बर्बादी को कम कर शहर में यातायात प्रवाह को दुरुस्त कर सकते हैं।

इसके अलावा, ये कार्बन उत्सर्जन को भी कम करने में मदद करेंगे। ऐसा इसलिए क्योंकि क्वांटम कंप्यूटर बनाने के लिए प्रयुक्त तकनीकें आज के कंप्यूटरों में उपयोग किए जाने वाले ट्रांजिस्टर की तुलना में बहुत कम विद्युत का उपयोग करती हैं।

क्वांटम प्रौद्योगिकी से संबंधित जोखिम क्या हैं?

* **क्वांटम युद्ध का खतरा:** क्वांटम प्रौद्योगिकी वस्तुतः एक दोहरे उपयोग वाली तकनीक है जिसका रक्षा और वाणिज्यिक उत्पादन दोनों में संभावित अनुप्रयोग हो सकता है। इस प्रकार, इसके सैन्य दुरुपयोग से राष्ट्रीय सुरक्षा के समक्ष खतरा उत्पन्न हो सकता है, विशेष रूप से पिछड़े देशों के समक्ष।
* **वर्तमान संचार अवसंरचना द्वारा स्थानांतरित किए जाने वाले डेटा पर क्वांटम हमले:** क्वांटम कंप्यूटर बहुत जल्द ही इतने शक्तिशाली हो सकते हैं कि अधिकांश पब्लिक की एन्क्रिप्शन स्कीम्स के लिए खतरनाक हो जाएं। सैद्धांतिक रूप से ये इतने सक्षम हो सकते हैं कि ईमेल्स और अन्य इंटरनेट क्रियाओं को सुरक्षित करने के लिए किए गए एन्क्रिप्शन्स के बड़े हिस्से को क्रैक कर लें।



विश्लेषण

क्वांटम प्रौद्योगिकी के संभावित सैन्य अनुप्रयोग क्या हैं?

* क्वांटम मेट्रोलॉजी **कैमरे, रडार आदि के आधुनिक रूपों के विकास में मदद कर सकती है। ये खुफिया जानकारी प्राप्त करने के अधिक सक्षम साधन हो सकते हैं।** साथ ही ये स्टील्थ एयरक्राफ्ट (क्वांटम रडार) से लेकर सबमरीन (क्वांटम घोस्ट इमेजिंग), भूमिगत सुविधाओं (क्वांटम ग्रैविमेट्री) तक हर चीज का पता लगा सकते हैं।
* क्वांटम AI उपकरण **स्वायत्त हथियार और ड्रोन जैसे मोबाइल प्लेटफॉर्म प्रदान कर सकते हैं।** इनमें GPS की सहायता से वंचित क्षेत्रों में **उन्नत सेंसिंग, नेविगेशन और पोजिशनिंग विकल्प आदि शामिल हैं।**
* क्वांटम कंप्यूटिंग का उपयोग अन्य देशों की **रक्षा संचार लाइनों के कोड को रोकने और उन्हें आसानी से तोड़ने** (यदि उन्होंने क्वांटम–सुरक्षित एन्क्रिप्शन नहीं किया है) **के लिए किया जा सकता है।**

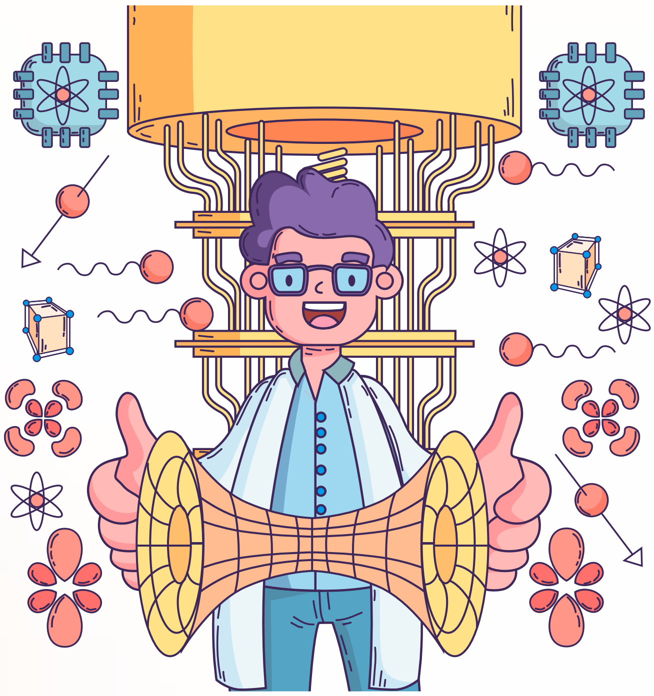
- क्वांटम–प्रतिरोधी सुरक्षा समाधानों के बिना, गोपनीयता, डेटा प्रबंधन आदि से संबंधित सभी नियमों और कानूनों को बनाए रखना लगभग असंभव हो जाएगा।

- **पर्यावरणीय जोखिम:** क्वांटम कंप्यूटरों के लिए संसाधनों तथा चिप्स का विनिर्माण पर्यावरण के समक्ष कुछ जोखिम पैदा कर सकता है, जैसे– खनन जनित प्रदूषण, अत्यधिक निष्कर्षण इत्यादि।
- **एकाधिकार:** क्वांटम कंप्यूटरों से जुड़ी उच्च लागत और तकनीकी विशेषज्ञता के कारण केवल कुछ ही गिने–चुने अभिकर्ता उन्हें बनाने में सक्षम होंगे। इसलिए क्वांटम प्रौद्योगिकियों पर एकाधिकार का जोखिम भी पैदा हो सकता है।
- **नैतिक सरोकार जैसे**–मानव डीएनए में हेरफेर, बिना अधिकार के प्रवेश करने वाली कृत्रिम बुद्धिमत्ता का विकास, लाभों और अनुप्रयोगों तक विकासशील देशों की असमान पहुंच को बढ़ावा इत्यादि भी इसमें शामिल हैं। इसके अलावा, किसी विशेष समूह को भू–रणनीतिक या प्रतिस्पर्धी लाभ प्रदान करने वाले अनुप्रयोगों को प्राथमिकता दी जा सकती है। इसके कारण सामाजिक रूप से लाभदायक उपयोगों को वरीयता नहीं दी जाएगी आदि।

इस प्रकार क्वांटम प्रौद्योगिकी की परिकल्पना विभिन्न क्षेत्रों में व्यापक और नवीन प्रगति लाने के लिए की गई है। इन क्षेत्रों में चिकित्सा, वित्त, ऊर्जा, परिवहन, संचार, आपदा प्रबंधन और यहां तक कि जलवायु परिवर्तन के क्षेत्र शामिल हैं। लेकिन साथ ही इसके जोखिमपूर्ण उपयोग से संबंधित खतरें भी विद्यमान हैं।

भारत के लिए क्वांटम प्रौद्योगिकी पर ध्यान देना क्यों महत्वपूर्ण है?

- **विघटन से पूर्व अपने को तैयार रखने हेतु:** क्वांटम कंप्यूटिंग एक उभरती हुई और सर्वाधिक क्रांतिकारी प्रौद्योगिकियों में से एक रही है। इससे विश्व आर्थिक व्यवस्था में आमूलचूल परिवर्तन होने की संभावना है। हालांकि इस उभरते हुए क्षेत्र में शुरुआती बढ़त हासिल करने हेतु स्वयं सरकार और उद्योगों दोनों द्वारा उपयुक्त प्रयास करना अनिवार्य हो गया है।
- **राष्ट्रीय सुरक्षा को बनाए रखने के लिए:** क्वांटम कंप्यूटरों का प्रतिकूल उपयोग संभवतः मौजूदा एन्क्रिप्शन को खतरे में डाल सकता है। यह देश के महत्वपूर्ण साइबर बुनियादी ढांचे, वित्तीय और निजी डेटा और गोपनीय सैन्य और रणनीतिक सूचनाओं को जोखिमपूर्ण बना सकता है। इससे राष्ट्रीय सुरक्षा बाधित हो सकती है।
- चीन से संभावित खतरों के आलोक में: चीन में शोधकर्ताओं ने पहले ही क्वांटम सुप्रीमेसी हासिल करने का दावा किया है। चीन ने एक 15–यूज़र क्वांटम सिक्योर डायरेक्ट कम्युनिकेशन नेटवर्क का निर्माण किया है। प्रौद्योगिकी के दोहरे उपयोग की प्रकृति के कारण, इस तरह की प्रगति भारत की राष्ट्रीय सुरक्षा के लिए भू–राजनीतिक जोखिम उत्पन्न कर सकती है।



- **मानवीय कल्याण वाले अनुसंधानों को बढ़ावा देने हेतु:** क्वांटम विज्ञान और प्रौद्योगिकी में उन्नत अनुसंधान को बढ़ावा देते हुए भारतीय विज्ञान, प्रौद्योगिकी और इंजीनियरिंग विषयों में प्रौद्योगिकी विकास और उच्च शिक्षा को अन्य विकसित देशों के समतुल्य बनाया जा सकता है।
- **आर्थिक विकास को प्रोत्साहन देने हेतु:** समग्र विकास के एक हिस्से के रूप में, भारत मुख्यतः क्वांटम अनुसंधान और विकास, सॉफ्टवेयर विकास एवं उपकरण निर्माण के लिए एक महत्वपूर्ण बाजार भी बन सकता है। नैसकॉम रिपोर्ट के अनुसार क्वांटम तकनीक से वर्ष 2030 तक भारतीय अर्थव्यवस्था में 310 अरब डॉलर तक का निवेश हो सकता है।
- **सामाजिक प्रगति को आगे बढ़ाने और जीवन की समग्र गुणवत्ता में सुधार करने के लिए:** क्वांटम प्रौद्योगिकी वस्तुतः स्वास्थ्य, ऊर्जा, उद्योग, नवाचार और बुनियादी ढांचे जैसे क्षेत्रों में क्रांतिकारी भूमिका निभा सकती है। इससे भारत को अपने जीवन स्तर को बढ़ाने और सतत विकास लक्ष्यों को प्राप्त करने में मदद मिल सकती है।
- **उद्यमिता और स्टार्टअप पारिस्थितिकी तंत्र के विकास को प्रोत्साहित करने हेतु:** क्वांटम विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी का अनुसंधान के क्षेत्र से निकलकर दैनिक जीवन से जुड़े अनुप्रयोगों की ओर स्थानांतरण आवश्यक है। यह समय के हिसाब से एक उपयुक्त कदम साबित हो सकता है। ऐसा इसलिए क्योंकि यह कई स्टार्टअप कंपनियों को बनाने और विकसित करने की दिशा में आवश्यक आधार प्रदान कर सकता है।

एक छोटी सी वार्ता!

क्वांटम सुप्रीमेसी का क्या अर्थ है?

विनी: अरे विनय! क्या हाल है? आप वहां कौन सी किताब पढ़ रहे हैं?

विनय: अरे विनी! यह भौतिकी श्रृंखला पर आधारित द फेनमैन लेक्चर्स की पुस्तकों में से एक है।

विनी: ओह! हां, मैंने उनके बारे में सुना है। यह किस बारे में हैं?

विनय: यह क्वांटम मैकेनिक्स के बारे में है।

विनी: दिलचस्प! मुझे नहीं पता था कि आप क्वांटम मैकेनिक्स में रुचि रखते हैं। यह मुझे याद दिलाता है कि मैंने हाल ही में सुना है कि कुछ चीनी वैज्ञानिकों ने दावा किया है कि उन्होंने क्वांटम सुप्रीमेसी हासिल कर ली है। तो, क्या आप मुझे बता सकते हैं कि इसका वास्तव में क्या मतलब है?

विनय: ज़रूर। पहले मैं पूछता हूँ, क्या सुपर कंप्यूटर के बारे में कुछ जानते हैं?

विनी: हाँ। ये बहुत ही उच्च स्तरीय कम्प्यूटेशनल क्षमता वाले अत्यंत शक्तिशाली कंप्यूटर होते हैं। ये विशेष रूप से जटिल वैज्ञानिक और औद्योगिक चुनौतियों को हल करने के लिए डिज़ाइन किए गए हैं।

विनय: सही कहा। अच्छा तो अब एक ऐसे कंप्यूटर की कल्पना करिए जो दुनिया के सबसे उन्नत सुपर कंप्यूटरों की तुलना में लगभग 100 ट्रिलियन गुना तेजी से संगणना करने में सक्षम है और यहां तक कि उन समस्याओं को भी हल कर सकता है जो उनकी पहुंच से बाहर हैं।

विनी: क्या यह भी संभव है?

विनय: हमारे परंपरागत कंप्यूटरों के साथ ऐसा संभव नहीं है। लेकिन कई वैज्ञानिक वर्तमान में क्वांटम कंप्यूटर विकसित करने की कोशिश कर रहे हैं जो उन जटिल समस्याओं को हल कर सकते हैं जिसे एक परंपरागत कंप्यूटर, यहां तक कि सबसे शक्तिशाली सुपर कंप्यूटर भी हल नहीं कर सकते। क्वांटम कंप्यूटर द्वारा ऐसी क्षमता के प्रदर्शन को ही क्वांटम सुप्रीमेसी के रूप में वर्णित किया गया है।

विनी: विनय, समझाने के लिए आपका धन्यवाद!

क्वांटम उद्योग को मजबूत बनाने के लिए भारत में क्या उपाय किए गए हैं?

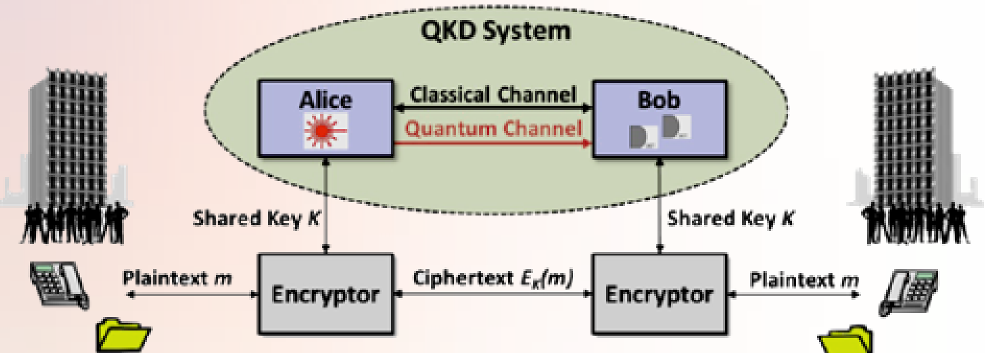
भारत सरकार कथित तौर पर वर्ष 2026 तक लगभग 50 क्यूबिट्स युक्त एक क्वांटम कंप्यूटर विकसित करने की योजना पर विचार कर रही है। हालांकि इस कार्य को पूरा करने और क्षेत्र में समग्र विकास को बढ़ावा देने के लिए, सरकार ने कई कदम उठाए हैं जैसे–

- **क्वांटम टेक्नोलॉजी और एप्लीकेशन पर राष्ट्रीय मिशन** (National Mission on Quantum Technologies & Applications: NMQTA): वर्ष 2020 के बजट भाषण में इस मिशन की घोषणा की गई थी। इसे 8,000 करोड़ रुपये के कुल बजट परिव्यय (Budget outlay) के साथ पांच वर्ष की अवधि के लिए शुरू किया गया है। इसका कार्यान्वयन विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी विभाग (Department of Science & Technology: DST) द्वारा किया जाएगा।
  - इसका उद्देश्य अत्यधिक सुरक्षित क्वांटम संचार, क्वांटम की डिस्ट्रीब्यूशन (QKD), क्वांटम घड़ियों, सेंसर, इमेजिंग उपकरणों और स्टार्टअप सहयोग के साथ क्वांटम कंप्यूटर विकसित करना है।
- विभिन्न क्षेत्रों में अनुसंधान की सुविधा के लिए कई प्रयोगशालाएं और केंद्र स्थापित किए गए हैं। उदाहरण के लिए:
  - भारतीय सेना ने महू, मध्य प्रदेश में राष्ट्रीय सुरक्षा परिषद सचिवालय (National Security Council Secretariat : NSCS) द्वारा समर्थित एक सैन्य इंजीनियरिंग संस्थान में क्वांटम कंप्यूटिंग प्रयोगशाला और एआई (AI) केंद्र स्थापित किया है।
  - डिफेंस इंस्टीट्यूट ऑफ एडवांस टेक्नोलॉजी (DIAT) और सेंटर फॉर डेवलपमेंट ऑफ एडवांस कंप्यूटिंग (C–DAC) ने क्वांटम कंप्यूटरों के सहयोग और विकास के लिए अपनी सहमति प्रदान की है।
  - DST और IISER पुणे के लगभग 13 अनुसंधान समूहों ने क्वांटम प्रौद्योगिकी के विकास को आगे बढ़ाने के लिए आई–हब क्वांटम टेक्नोलॉजी फाउंडेशन (I–HUB QTF) का शुभारंभ किया है।
  - क्वांटम कंप्यूटिंग आधारित अनुसंधान और विकास को सुविधाजनक बनाने के लिए इलेक्ट्रॉनिक्स और सूचना प्रौद्योगिकी मंत्रालय (MeitY) ने अमेजन वेब सर्विसेज (AWS) के सहयोग से एक **क्वांटम कंप्यूटिंग एप्लीकेशन लैब** की स्थापना की है।
  - बेंगलुरु में रमन रिसर्च इंस्टीट्यूट (RRI) ने भारतीय अंतरिक्ष अनुसंधान संगठन (इसरो) के साथ भागीदारी प्रयासों को बढ़ावा देने के लिए पहलें शुरू की हैं। इसका उद्देश्य इसरो द्वारा प्रक्षेपित किए जाने वाले उपग्रहों हेतु आवश्यक क्वांटम प्रौद्योगिकियों का विकास करना है।

- **क्वांटम–सक्षम विज्ञान और प्रौद्योगिकी** (Quantum – Enabled Science and Technology : QuEST) **पहल:** बुनियादी ढांचे को तैयार करने और क्षेत्र में अनुसंधान को सुविधाजनक बनाने के लिए 80 करोड़ रुपये के निवेश के साथ इसे DST द्वारा लॉन्च किया गया था।
- प्रधानमंत्री विज्ञान, प्रौद्योगिकी और नवाचार सलाहकार परिषद (PM–STIAC) द्वारा शुरू किए गए क्वांटम फ्रंटियर मिशन का उद्देश्य क्वांटम मैकेनिकल प्रणाली के प्रति समझ विकसित करना और इस दिशा में पकड़ हासिल करना है।
- **क्वांटम कंप्यूटर सिम्युलेटर** (QSim) **टूलकिट:** इसे इलेक्ट्रॉनिक्स और सूचना प्रौद्योगिकी मंत्रालय (MeitY) द्वारा लॉन्च किया गया था। इसका उद्देश्य शोधकर्ताओं और छात्रों को क्वांटम कोड विकसित करने और उसे डीबग (दोषमुक्त) करने हेतु अवसर प्रदान करना था। लेकिन इस क्वांटम कोड को, क्वांटम एल्गोरिदम को विकसित करने और लागत प्रभावी तरीके से क्षेत्र में अनुसंधान को प्रोत्साहित करने की दिशा में भी अत्यंत महत्वपूर्ण माना गया है।

अपने समर्पित प्रयासों के परिणामस्वरूप भारत निम्नलिखित उपलब्धियां प्राप्त करने में सफल रहा है:

- DRDO और IIT दिल्ली के वैज्ञानिकों की एक टीम ने प्रयागराज और विंध्याचल, उत्तर प्रदेश के मध्य (100 किलोमीटर से अधिक के क्षेत्र में) क्वांटम की डिस्ट्रीब्यूशन (QKD) लिंक का सफलतापूर्वक प्रदर्शन किया है।
- इसरो ने 300 मीटर की दूरी से मुक्त अंतरिक्ष क्वांटम संचार (free–space Quantum Communication) का सफलतापूर्वक प्रदर्शन किया है।



- DRDO यंग साइंटिस्ट लेबोरेटरी फॉर क्वांटम टेक्नोलॉजीज़ (DYSL–QT), ने क्वांटम रैंडम नंबर जनरेटर को सफलतापूर्वक विकसित किया है। गौरतलब है कि DYSL–QT मुंबई स्थित एक DRDO सुविधा केंद्र है।

भारत में क्वांटम प्रौद्योगिकी के विकास और उपयोग से जुड़ी चुनौतियां क्या हैं?

- **अल्प मानकीकृत अनुसंधान पारिस्थितिकी तंत्र:** भारतीय प्रौद्योगिकी क्षेत्र में निजी क्षेत्रक की भागीदारी सीमित रही है। साथ ही इस क्षेत्र में एक व्यापक बहु-हितधारक अनुसंधान नेटवर्क का अभाव रहा है। इसके अलावा, चीन और यू.एस.ए. जैसे प्रतिस्पर्धी देशों की तुलना में भारत में अनुसंधान और विकास (R&D) पर अत्यंत कम खर्च किया जाता है।
  - भारत में क्वांटम प्रौद्योगिकियों से संबंधित लगभग 100 परियोजनाओं (ऑपरेशनल) में से लगभग 92% सरकार द्वारा प्रायोजित हैं।
- **लक्ष्यों के संबंध में स्पष्टता का अभाव:** भारत के क्वांटम प्रयासों से जुड़े परिणामों के आकलन हेतु आवश्यक मापन व्यवस्था को स्पष्ट रूप से परिभाषित नहीं किया गया है। साथ ही यह भी स्पष्ट नहीं है कि भारत निकट अवधि के क्वांटम अनुप्रयोगों पर ध्यान केंद्रित करेगा या दीर्घकालिक अनुप्रयोगों अथवा दोनों पर।
- **मानव संसाधन की कमी:** भारत में क्वांटम प्रौद्योगिकी के क्षेत्र में कुशल पेशेवरों की संख्या अत्यंत कम है।
- असंगठित अनुसंधान: वर्तमान में एक साझा मंच के अभाव में अनुसंधान कार्य को गुप्त रूप से किया जाता है तथा ज्ञान का आदान-प्रदान भी व्यवस्थित नहीं है।
- अतिचालक सामग्री, भौतिक क्यूबिट, डेटा प्लेन, चिप्स, प्रोसेसर और फैब्रिकेशन लैब जैसे **महत्वपूर्ण क्वांटम घटकों के घरेलू विकास को व्यापक स्तर पर परिचालित नहीं किया गया है।**
- **उद्योग-अकादमिक अंतराल:** क्वांटम से संबंधित अधिकांश अनुसंधान और विकास विश्वविद्यालय परिसरों में किया जाता है। उन्हें मापनीय (स्केलेबल) अनुप्रयोगों में विकसित करने के लिए उद्योगों के साथ जोड़ना आवश्यक है।
- **अन्य मुद्दे:**
  - भारत में पेटेंट के कम आवेदन।
  - क्वांटम प्रौद्योगिकियों के वैश्विक शासन के लिए सामान्य मानकों, सिद्धांतों और प्रोटोकॉल के सेट का अभाव।
  - सीमित अंतर्राष्ट्रीय सहयोग।

- **क्वांटम प्रौद्योगिकी से जुड़ी अंतर्निहित तकनीकी चुनौतियां:**
  - **किसी कार्य को पूरा करने के लिए लंबे समय तक क्वांटम सुपरपोजिशन और एंटेंगलमेंट को बनाए रखना और इनका प्रबंधन करना कठिन है:** क्वांटम की सुपरपोजिशन और एंटेंगलमेंट अवस्थाएं बेहद नाजुक होती हैं। उचित तापमान और पर्यावरणीय परिस्थितियों के बिना, वे अपने गुणों को शीघ्र ही खो देती हैं। ऐसे में वे अनुचित तरीके से व्यवहार करने लगती हैं। इस प्रक्रिया को डीकोहेरेंस (decoherence) के रूप में जाना जाता है।
    - यही कारण है कि क्वांटम कंप्यूटरों को विद्युत चुम्बकीय रूप से शील्ड किया जाता है। इन्हें लगभग पूर्णतः शून्य डिग्री तापमान तक ठंडा किया जाता है। इसे बनाए रखना काफी खर्चीला होता है।
  - **प्रोसेसर चिप पर क्यूबिट्स की संख्या बढ़ाना:** एक पारंपरिक कंप्यूटर के बिट प्रोसेसर (यानी, 32-बिट या 64-बिट प्रोसेसर) की तरह, क्वांटम कंप्यूटरों को जटिल संगणनाओं को सटीक रूप से पूरा करने के लिए सैकड़ों या यहां तक कि लाखों क्यूबिट वाले क्यूबिट प्रोसेसर की आवश्यकता होती है। इतनी बड़ी संख्या में क्यूबिट्स को नियंत्रित कर पाना एक अत्यंत जटिल कार्य हो सकता है।
  - **विशेष बुनियादी ढांचे की आवश्यकता:** लंबी दूरी तक क्वांटम संचार लिंक के सृजन तथा सूचना की सुरक्षा और हेरफेर को सीमित करने के लिए एक विशेष बुनियादी ढांचे की आवश्यकता होगी, जैसे कि क्वांटम राउटर आदि।
  - **क्वांटम हमले:** क्वांटम इंटरनेट पर पूर्ण निर्भरता इसे नए और स्वयं क्वांटम तकनीक पर आधारित हमलों के प्रति संवेदनशील बना सकती है।

भारत में क्वांटम क्रांति को सुगम बनाने के लिए और क्या किए जाने की आवश्यकता है?

- **समर्पित क्वांटम समुदाय का निर्माण:** उद्यमिता, नवोन्मेष, विश्वविद्यालय पाठ्यक्रम, छात्रवृत्तियां, प्रशिक्षण कार्यक्रम आदि, ज्ञान आधारित पारिस्थितिकी तंत्र को विकसित करने और कौशल अंतर को पाटने की दिशा में महत्वपूर्ण सिद्ध हो सकते हैं।
  - यह महत्वपूर्ण बौद्धिक संपदा (IP) अवसंरचना के निर्माण में भी मदद कर सकता है जिसका उपयोग देश के कल्याण के लिए किया जा सकता है।
- **अनुसंधान के लिए समर्पित संस्थान:** शैक्षणिक संस्थानों के साथ-साथ सरकारी अनुसंधान संस्थानों के भीतर क्वांटम विज्ञान और प्रौद्योगिकी के लिए समर्पित उत्कृष्टता केंद्रों की स्थापना की जानी चाहिए।
- **राष्ट्रीय सुरक्षा की रक्षा के लिए प्राथमिकताएं निर्धारित करना:** वर्तमान दौर को देखते हुए क्रिप्टोग्राफिक प्रणालियों (जिसे पोस्ट-क्वांटम क्रिप्टोग्राफी भी कहा जाता है) को विकसित करना अत्यंत आवश्यक है जो क्वांटम और परंपरागत कंप्यूटर दोनों के प्रति सुरक्षित हों। साथ ही ये मौजूदा संचार प्रोटोकॉल तथा नेटवर्क के साथ इंटरऑपरेट भी किए जा सकते हों।
- **केंद्र और राज्य सरकारों के बीच प्रभावी समन्वय:** चयनित राज्य सरकारों के साथ साझेदारी में "क्वांटम इनोवेशन हब" की स्थापना से प्रत्यक्ष निवेश में मदद मिल सकती है। साथ ही यह अकादमिक और निजी क्षेत्र के बीच सहयोग के केंद्रों के रूप में भी कार्य कर सकता है।
- **अनुसंधान को वास्तविक दुनिया के अनुप्रयोगों के अनुकूल बनाने पर ध्यान केंद्रित करना:** इस उद्देश्य के लिए, भारत क्वांटम टेक कॉरपोरेशन एवं स्टार्टअप्स और भारत स्थित बिग टेक कॉर्पोरेशन की क्षमता का उपयोग कर सकता है।
  - उदाहरण के लिए, QNu Labs, BosonQ और Qulabs-ai जैसे कई भारतीय स्टार्टअप क्रिप्टोग्राफी, कंप्यूटिंग और साइबर सुरक्षा के लिए क्वांटम-आधारित एप्लिकेशन विकसित करने की दिशा में प्रयासरत हैं।
- **अंतर्राष्ट्रीय सहयोग को सुगम बनाना:** भारत के लिए महत्वपूर्ण प्रौद्योगिकी हस्तांतरण समझौतों को अंतिम रूप देना तथा बाह्य तकनीकी सलाह या परामर्श प्राप्त करना आवश्यक है। इसके अलावा क्वांटम प्रौद्योगिकियों पर संयुक्त अनुसंधान एवं विकास के लिए अत्याधुनिक सुविधाएं स्थापित करना अत्यंत अनिवार्य है। इसके लिए सरकार क्वाड और ब्रिक्स जैसे प्रमुख समूहों में अपने सहयोगियों के साथ भागीदारी प्रयास कर सकती है।
- **क्वांटम घटकों के विकास के लिए घरेलू विनिर्माण सुविधाओं और इकाइयों को बढ़ावा देना:** उदाहरण के लिए, सरकार, उत्पादन से जुड़ी प्रोत्साहन योजनाओं के माध्यम से बाजार से संबंधित अभिकर्ताओं को सहायता प्रदान कर सकती है। उदाहरण के लिए, यह इलेक्ट्रॉनिक घटकों और सेमीकंडक्टर के निर्माण को बढ़ावा देने के लिए प्रोत्साहन योजनाओं को आरंभ कर सकती है।
- **राष्ट्रीय नीतियों पर पुनर्विचार करना और उन पर फिर से काम करना:** उदाहरण के लिए, क्वांटम युद्ध के लिए नए सैन्य सिद्धांतों के सृजन, संशोधन या निर्माण तथा सैन्य परिदृश्यों को अपडेट किए जाने की आवश्यकता होगी। क्वांटम युग के लिए नई तकनीकों और हथियारों को विकसित करने और अर्जित करने की योजना की दिशा में भी प्रयास करना अत्यंत आवश्यक होगा।
  - इसके अतिरिक्त, ऐसी प्रौद्योगिकियों के दुरुपयोग को रोकने के लिए नैतिक दिशा-निर्देशों की भी आवश्यकता पड़ सकती है।

निष्कर्ष

भारत में क्वांटम प्रौद्योगिकी वस्तुतः पारिस्थितिकी तंत्र, सरकार के हस्तक्षेप, अकादमिक भागीदारी, सेवा प्रदाताओं और स्टार्टअप समुदाय के नेतृत्व में प्रगति की दिशा में अग्रसर है। एक ठोस अनुसंधान आधार तथा महत्वपूर्ण एवं विश्वसनीय सरकारी समर्थन पर स्थापित कार्यबल के साथ, यह उद्योगों द्वारा नवीन अनुप्रयोगों के निर्माण एवं आर्थिक विकास को बढ़ावा दे सकती है। इसके साथ ही यह जटिल एवं वर्तमान में न सुलझने वाली मानवीय समस्याओं के संभावित समाधान को सुनिश्चित कर सकता है।

टॉपिक – एक नजर में

क्वांटम प्रौद्योगिकी
यह क्वांटम यांत्रिकी द्वारा परिभाषित सिद्धांतों पर आधारित तथा भौतिकी और इंजीनियरिंग का एक उभरता हुआ क्षेत्र है। यह भौतिकी का एक ऐसा उपक्षेत्र है जो एटॉमिक और सब एटॉमिक स्तर पर पदार्थ एवं ऊर्जा की प्रकृति तथा व्यवहार की व्याख्या करता है।

क्वांटम टेक्नोलॉजी के लिए उपयोग किए जाने वाले वैज्ञानिक सिद्धांत

सुपरपोजिशनः क्वांटम कणों की एक ही समय में कई अवस्थाओं (अंतिम मापन/परिणाम प्राप्त होने से पहले की स्थिति) में होने की क्षमता को संदर्भित करता है।

एंटैंगलमेंटः यह एक ऐसी स्थिति को संदर्भित करता है जिसमें दो या दो से अधिक क्वांटम कण इस तरह से जुड़े होते हैं कि उनका व्यक्तिगत रूप से मापन कर पाना असंभव होता है। तथापि एक कण के मापन का उपयोग उसी क्षण दूसरे कणों के बारे में निष्कर्ष निकालने के लिए किया जा सकता है।

क्वांटम प्रौद्योगिकी के संभावित अनुप्रयोग

क्वांटम कम्प्यूटिंगः पारंपरिक या क्लासिकल कंप्यूटरों द्वारा उपयोग किए जाने वाले बाइनरी बिट्स (0 और 1) की जगह सूचनाओं की प्रोसेसिंग के लिए बुनियादी इकाई के रूप में क्यूबिट्स (एक प्रकार का सबएटॉमिक कण) का उपयोग करता है।

क्वांटम सिमुलेशनः यह विशेष रूप से तैयार किया गया एक क्वांटम कंप्यूटर है जिसे भौतिक दुनिया के घटकों या रासायनिक प्रतिक्रियाओं के अनुरूप विकसित किया गया है।

क्वांटम संचारः यह ऑप्टिकल केबल्स के साथ डेटा को संचारित करने के लिए क्वांटम बिट्स (सामान्यतः प्रकाश के फोटॉन) का उपयोग करता है। **इसमें क्वांटम की डिस्ट्रीब्यूशन और क्वांटम रैंडम नंबर जनरेशन** (QRNG) जैसी प्रौद्योगिकियां शामिल हैं।

क्वांटम सेंसिंग
क्वांटम सेंसिंग का उद्देश्य अलग-अलग कणों जैसे **फोटॉन और इलेक्ट्रॉन का सेंसर के रूप में उपयोग करना है।** यह उपयोग बलों, गुरुत्वाकर्षण, विद्युत क्षेत्रों आदि के मापन से संबंधित वर्तमान तकनीकों में किया जा सकता है।

मानवीय जीवन पर उभरते क्वांटम प्रौद्योगिकियों के अपेक्षित प्रभाव

संभावित लाभ

- **जटिल चुनौतियों का समाधानः** मशीन लर्निंग और आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस, वित्तीय सेवाओं, मौसम की भविष्यवाणी, रसद, ऊर्जा, वैज्ञानिक अनुसंधान आदि जैसे क्षेत्रों में विशेष बढ़त हासिल की जा सकती है।
- **बेहतर भूवैज्ञानिक मानचित्रण और अन्वेषण को सुनिश्चित** किया जा सकता है।
- हैकिंग रहित अर्थात् सुरक्षित संचार के साथ **साइबर सुरक्षा से जुड़े जोखिमों का निपटान किया जा सकता है।**
- बेहतर चिकित्सा निदान और देखभाल को सुनिश्चित किया जा सकता है।
- **जलवायु परिवर्तन शमन तथा अनुकूलन से जुड़ी बड़ी चुनौतियों के समाधान** को विकसित किया जा सकता है।

संभावित जोखिम

- क्वांटम प्रौद्योगिकियों के संभावित सैन्य अनुप्रयोगों से संबंधित होने के कारण **क्वांटम युद्ध का खतरा उत्पन्न** हो सकता है।
- **वर्तमान संचार अवसंरचना द्वारा स्थानांतरित किए जाने वाले डेटा पर क्वांटम हमले का जोखिम उत्पन्न हो सकता है।**
- क्वांटम कंप्यूटर के लिए संसाधनों और उसके आवश्यक घटकों के निर्माण से **पर्यावरणीय संबंधी जोखिम उत्पन्न हो सकते हैं।**
- सीमित प्रतिभागियों के कारण **क्वांटम प्रौद्योगिकियों पर एकाधिकार संबंधी जोखिम उत्पन्न हो सकता है।**
- मानव DNA में हेरफेर, इंट्रूसिव एआई (Intrusive AI) के विकास आदि के कारण नैतिक चिंताएं उत्पन्न हो सकती हैं।

भारत के संदर्भ में क्वांटम प्रौद्योगिकी का महत्व

- **व्यवधान या दुर्घटना से पूर्व अपने को तैयार** करना और इस उभरते हुए क्षेत्र में शुरुआती बढ़त हासिल करना।
- क्वांटम कंप्यूटरों के प्रतिकूल उपयोग से उत्पन्न **राष्ट्रीय सुरक्षा चुनौतियों के निपटान हेतु** स्वयं को तैयार करना।
- मानवीय कल्याण अथवा प्रायोगिक (ट्रांसलेशनल) अनुसंधान को बढ़ावा देना।
- क्वांटम अनुसंधान एवं विकास (R&D), सॉफ्टवेयर विकास और उपकरण निर्माण के लिए बाजार विकसित करके **आर्थिक विकास को बढ़ावा देना।**
- **क्वांटम प्रौद्योगिकी के अनुप्रयोगों के माध्यम से सामाजिक प्रगति को आगे बढ़ाना और जीवन की समग्र गुणवत्ता में सुधार करना।**
- **उद्यमिता और स्टार्टअप पारिस्थितिकी तंत्र के विकास को प्रोत्साहित करना।**

भारत में क्वांटम उद्योग को मजबूत करने के लिए किए गए उपाय

- 8000 करोड़ रुपये के कुल बजट परिव्यय के साथ क्वांटम टेक्नोलॉजीज एंड एप्लीकेशन पर राष्ट्रीय मिशन (NMQTA) की शुरुआत।
- क्वांटम-सक्षम विज्ञान और प्रौद्योगिकी (QuEST) पहल का आरंभ।
- क्वांटम कंप्यूटर सिम्युलेटर (QSim) टूलकिट।
- क्वांटम फ्रंटियर मिशन।
- समर्पित प्रयोगशालाओं और केंद्रों की स्थापना जैसे क्वांटम कंप्यूटिंग प्रयोगशाला और सैन्य इंजीनियरिंग संस्थान में एक आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस (AI) केंद्र की स्थापना।

भारत के सामने आने वाली बाधाएं

- निजी क्षेत्र की सीमित भागीदारी के साथ **शिथिल/ कमज़ोर अनुसंधान पारिस्थितिकी तंत्र की उपस्थिति।**
- **लक्ष्यों के संबंध में स्पष्टता का अभाव।**
- **क्वांटम प्रौद्योगिकी के क्षेत्र में कुशल पेशेवरों की संख्या का अत्यंत कम होना।**
- **असंगठित अनुसंधान** और साझे मंच का अभाव।
- **महत्वपूर्ण क्वांटम घटकों के घरेलू विकास को व्यापक स्तर पर परिचालित नहीं किया जाना।**
- **उद्योग-अकादमिक अंतराल** की समस्या के कारण अनुसंधानिक प्रयोगों का स्केलेबल अनुप्रयोगों में तब्दील न हो पाना।
- **अन्य मुद्देः** कम पेटेंट आवेदन, वैश्विक शासन के लिए सामान्य मानकों का अभाव, सीमित अंतरराष्ट्रीय सहयोग आदि।
- **अंतर्निहित तकनीकी चुनौतियां:**
  - क्वांटम सुपरपोजिशन और एंटेंगलमेंट को बनाए रखना और इनके प्रबंधन में कठिनाई आदि।

आगे की राह

- उद्यमिता, नवाचार, विश्वविद्यालय पाठ्यक्रम, छात्रवृत्ति, प्रशिक्षण कार्यक्रम आदि के माध्यम से एक **समर्पित क्वांटम समुदाय का निर्माण करना।**
- **अनुसंधान के लिए समर्पित केंद्रों या संस्थानों की स्थापना करना।**
- **राष्ट्रीय सुरक्षा को सुनिश्चित करने के लिए प्राथमिकताएं निर्धारित करना** जैसे कि पोस्ट-क्वांटम क्रिप्टोग्राफी में निवेश करना।
- **केंद्र और राज्य सरकारों के बीच प्रभावी समन्वय हेतु प्रयास करना।**
- **अनुसंधान को वास्तविक दुनिया के अनुप्रयोगों के अनुकूल तब्दील करने पर ध्यान केंद्रित करना।**
- **अंतर्राष्ट्रीय सहयोग को सुगम बनाना।**
- **घरेलू विनिर्माण इकाइयों को बढ़ावा देना आदि।**