

विज्ञानको सागरमा

क्वान्टम भौतिकी

प्रा.डा. शोभाकान्त लामिछाने 'सिलिकन नानो टेक्नोलोजी'मा जे.एन.यू. बाट विद्यावारिधी हासिल गर्नुभएका त्रि.वि., पि.एन. क्याम्पस, विज्ञान शिक्षा विभागको प्रमुख हुनुहुन्छ। नेपाल विज्ञान तथा प्रविधि प्रज्ञा प्रतिष्ठानका 'प्राज्ञ' डा. लामिछाने, शिक्षा विज्ञान तथा प्रविधि मन्त्रालय, बी.पी. प्लानेटोरियमका पूर्व-कार्यकारी निर्देशक समेत हुनुहुन्छ। प्रशासनिक तथा प्राज्ञिक अनुभव हासिल गर्नुभएका लामिछानेले विभिन्न सङ्घ-संस्थामार्फत प्राज्ञिक-वैज्ञानिक परियोजनाहरू समेत सम्पन्न गरिसक्नुभएको छ।

अतिसूक्ष्म विज्ञान र प्रविधिमा गहिरो रुचि राख्नुहुने लामिछाने अनुसन्धान तथा आविष्कार केन्द्र पि.एन. क्याम्पस लगायत अन्य सार्वजनिक संस्थाका अनुसन्धान समितिसँग पनि आबद्ध हुनुहुन्छ। विभिन्न राष्ट्रिय तथा अन्तर्राष्ट्रिय गोष्ठीहरूमा व्याख्यान समेत दिइसक्नुभएका लामिछानेका राष्ट्रिय तथा अन्तर्राष्ट्रिय जर्नलहरूमा दर्जनौं शोध निष्कर्षहरू प्रकाशित छन्। शिक्षा सन्देश, हिमालयन साइन्टिफिक, हिमालयन फिजिक्सजस्ता जर्नलको संस्थापक एवं प्रधान सम्पादकको जिम्मेवारी सम्हालिसक्नुभएको छ। डा. लामिछानेका 'क्वान्टम सिद्धान्त' लगायत करिब आधा दर्जन पुस्तक प्रकाशित छन्। -सम्पादक मण्डल

सार-संक्षेप

क्वान्टम भौतिक विज्ञान, प्रकृतिमा भएका तत्त्वहरूको सबैभन्दा सानो इकाईबाट सिर्जना भए पनि यसको दायरा अत्यन्तै फराकिलो छ। यसभित्र पदार्थको अणु र परमाणु अर्थात् मानव शरीरको आधार भूत इकाई, कोषीय संरचनादेखि हाम्रो ब्रह्माण्डको प्रकाश-पुञ्जसम्मका आकृति समेटिएको छ। कोषीय संरचनामा न्यूक्लियसले जीवकोषलगायत मानव शरीर का सम्पूर्ण क्रियाकलापहरूमा नियन्त्रण कायम गरेको हुन्छ। त्यस्तै, प्रकाश-पुञ्जको संरचनामा सूर्यलगायतका आकाशीय पिण्डहरू: तारा, ग्रह, नक्षत्र, कृष्णबिबर (ब्ल्याकहोल) र आकाशगङ्गाजस्ता अति विशिष्ट सिर्जनाहरू समेटिएका हुन्छन्। यी सबैको केन्द्रमा कृष्णबिबर रहेको छ, जसले यी विशाल संरचनाहरूको नियन्त्रण कायम गरेको छ। आयामका दृष्टिले

भौतिक विज्ञानको यो फैलावट ज्यादै सानोदेखि विशाल आकृतिसम्म स्पष्ट ढङ्गले प्रस्तुत एवं व्याख्या गर्नसक्नु 'क्वान्टम भौतिकी'को महत्त्वपूर्ण विशेषता हो ।

आज, क्वान्टम भौतिकीले ब्रह्माण्डको हाम्रो बुझाइलाई अझ गहिरो बनाउँदै लगेको छ । पदार्थको आधारभूत जानकारी प्रदान गरेको छ र ग्राउन्डब्रेकिङ्ग टेक्नोलोजी सिर्जना गरी सेवा प्रदान गरिरहेको छ । क्वान्टम टेक्नोलोजीले हाम्रो दैनिक जीवनका विभिन्न पक्षहरूलाई परिवर्तन गरिरहेको छ/गर्नेछ । क्वान्टम कम्प्युटरदेखि अल्ट्रा-सटिक मापनयन्त्र र आउने पुस्ताका सामग्रीसम्मका धेरै प्रगतिहरू हासिल भइसकेका छन् । सुपरपोजिसन, तरङ्ग- कण द्वैधता र अनिश्चितताको सिद्धान्तसहित क्वान्टम विज्ञानको क्षेत्र अन्तर्निहित आधारभूत कणिक अवधारणामा केन्द्रित छ । यसर्थ, क्वान्टम भौतिकी आधुनिक विज्ञानको एक प्रमुख अविभाज्य स्तम्भ हो । यसको सफलता प्रारम्भिक 'क्वान्टम मेकानिकल मोडेल'बाट उन्नत 'क्वान्टम फिल्ड सिद्धान्त'सम्म फैलिएको छ । विज्ञानका विभिन्न विधामा नवीनतम खोजहरूलाई उत्प्रेरित गर्न एवं प्राप्त शोध-निष्कर्षलाई मानवीय हितमा क्वान्टम सिद्धान्तको उपयोग कसरी गरिँदै आएको छ ? सबैका सामु स्पष्ट छ । यस लेखमा तपाईंले अन्तर्निहित सिद्धान्तहरूको बारेमा जानकारी लिन सक्नुहुनेछ । र, क्वान्टम भौतिकीमा अन्तरदृष्टि प्राप्त गर्न सक्नुहुन्छ ।

१. परिचय

उच्च नीलो आकाशको रूपमा देखिने हाम्रो ब्रह्माण्ड एक स्थूल, सरल र व्यवस्थित स्थलको रूपमा देखापर्यो । ब्रह्माण्डका सबै पदार्थ, जसका द्रव्यमान (पिण्ड) स-साना कण मिलि बनेका छन्, यी कणहरूको 'स्थान र गति' सटीक वर्णन गर्न सकिन्छ । तर, पिण्डरहित, इलेक्ट्रोम्याग्नेटिक विकिरण, जसको अन्तरिक्ष यात्रामा स्थिति निश्चित गर्न नसकिने गरी ऊर्जाको रूपमा वर्णन गरिएको छ । त्यसैले पदार्थ (कण) र ऊर्जा (इलेक्ट्रोम्याग्नेटिक विकिरण) लाई भिन्न र असम्बन्धित घटना मानिँदै आएको थियो । तथापि, वैज्ञानिकहरूले केही यस्ता असुविधाजनक घटनाहरूलाई अझ नजिकबाट हेर्नथाले, जुन समयमा उपलब्ध वैज्ञानिक सिद्धान्तहरूले यस्तो चरित्र व्याख्या गर्न सक्दैनथे । समयक्रमसँगै वैज्ञानिकहरूले पदार्थको कण र ऊर्जाको बारेमा चिन्तन-मनन यानेकि गहन अध्ययन जारी राखिरहे । म्याक्स प्लांकले पोस्ट्युलेट गरे कि ऊर्जा क्वान्टाइज्ड गर्न, उत्सर्जन वा अवशोषण गर्न सकिन्छ । उनी अगाडि भन्छन्- 'क्वान्टा भनेर चिनिने ऊर्जाको सबैभन्दा सानो इकाईको पूर्णाङ्क गुणामा समाहित गर्न

पनि सकिन्छ ।' उनले यस बारेमा थप प्रकाश पार्दै भने- क्वान्टा ऊर्जा विकिरणको फ्रिक्वेन्सीसँग समानुपातिक हुन्छ । प्राविधिक रूपमा आनुपातिक स्थिरता (एच) प्लांकको स्थिर राशि हो, जो पदार्थको आधारभूत गुणसँग सम्बन्धित छ । जसले कसरी क्वान्टाइज्ड ऊर्जा प्राप्त गर्न सकिन्छ भनेर निर्दिष्ट गर्दछ । यसको अर्थ हुन्छ ऊर्जाको मौलिक निर्माण खण्ड क्वान्टा हो भने पदार्थको आधारभूत निर्माण खण्ड परमाणु हो ।

२.१ म्याक्स प्लांकको क्वान्टम सिद्धान्त

बीसौं शताब्दीको सुरुवाती वर्ष (सन् १९००) मा जर्मन भौतिकशास्त्री म्याक्स प्लांकले क्वान्टमसम्बन्धी आफ्नो खोजकार्य 'जर्मन भौतिक समाज'को बैठकमा प्रस्तुत गरे । जसमा प्लांकले रातो-तातो र सेतो-तातो वस्तुहरू (बिजुलीको चिम / फिलामेन्ट) को चमकबाट उत्सर्जन भएको वर्णपट (स्पेक्ट्रम) मा देखिएका रङ्गहरूको]वितरणको व्याख्या गर्न एउटा समीकरणको भौतिक अनुभूति बनाए । उनको विचाराधीनमा रहेको यो प्रयोग केवल निश्चित रङ्गहरूको संयोजन (यद्यपि धेरै रङ्गहरू) बाट उत्सर्जन गरिएको थियो । यो चिन्तनले उनलाई गम्भीर बनायो । अन्ततः उनी यो निष्कर्षमा आइपुगे कि यसरी उत्सर्जन भएको शक्ति विशेष रूपमा ती केही आधारभूत मानको पूर्णाङ्क सङ्ख्याको गुणा हुनुपर्दछ । गणितीय भाषामा यसलाई, $E=nh\nu$ लेख्ने गरिन्छ । जहाँ $n= 1,2,3,\dots$ धनात्मक पूर्णाङ्क हो । • फ्रिक्वेन्सी र एक अचर राशि हो, जसलाई प्लांकको स्थिर राशि भनिन्छ । ऊर्जाको आधारभूत कण $h\nu$ लाई क्वान्टा भनिन्छ । आपूर्ति गरिएको तापशक्ति यदि विकिरण शक्तिभन्दा बढी (शर्त $kT \geq h\nu$) भएको खण्डमा मात्र उच्च फ्रिक्वेन्सीको प्रकाश उत्सर्जन हुन्छ । यसको अर्थ हुन्छ, फ्रिक्वेन्सीअनुसार ऊर्जाको तह पनि फरक पर्नजान्छ । जसले फरक-फरक रङ्ग भएको वर्णपट सृजना गराउँछ । यो मनमोहक दृश्यलाई 'क्वान्टम कलर' भनिन्छ ।

२.१ बोहरको सिद्धान्त

सन् क्वान्टम १९१३ मा डेनमार्कका वैज्ञानिक नील्स बोहर र अमेरिकी वैज्ञानिक अर्नेस्ट रदरफोर्डले 'ग्रहहरूले सूर्यको परिक्रमा' गरेजस्तै गरी इलेक्ट्रोनहरूले पनि परमाणुको नाभिक (न्युक्लियस) को परिक्रमा गरिर हने परिकल्पना गरे । पछि फेरि परिमार्जित रूप भनी बोहरले परमाणु-केन्द्रको वरिपरि घुमिरहने इलेक्ट्रोन, गोलाकार 'विशेष' कक्षमा मात्र सीमित रहेको प्रस्ताव गरे । घुम्ने क्रममा इलेक्ट्रोनले एक कक्षबाट अर्कोमा क्वान्टम जम्प गर्दछ, जुन कक्षको ऊर्जा

स्तरमा भर पर्दछ । यसरी स्थिर कक्षको बीचमा इलेक्ट्रोन उफ्रँदा निश्चित तरङ्ग लम्बाइको विकिरण (फोटोन) को जन्म (शोषण र उत्सर्जन) हुने गर्दछ, जसले स्पेक्ट्रल रेखाको रङ्ग निर्धारण गर्दछ । भिन्न-भिन्न फ्रिक्वेन्सीको प्रकाश (वा फोटोन), उत्सर्जन वा शोषण भइरहँदा पृथक रङ्गका रेखाहरू (रेखा-वर्णपट) देखिनुको अर्थ ऊर्जा (वा प्रकाश) को क्वान्टाइजेसन हो । यो मोडल उप-पारमाणविक (subatomic) कणहरू, विशेषगरी इलेक्ट्रोनको परिमाण प्रकृति (quantization) बुझ्नका लागि धेरै उपयोगी छ । उदाहरणका लागि कक्षमा भइरहने इलेक्ट्रोनको कोणीय गतिको परिमाण पनि क्वान्टाइज्ड हुन्छ । जस्तो कि एक इलेक्ट्रोनको कोणीय गति, $h/2\pi$ को पूर्णाङ्क गुणा हुनआउँछ । मतलब, कोणीय गति क्वान्टाइज्ड भयो । यही तथ्यको आधारमा यो सिद्धान्तले हाइड्रोजन परमाणुले सिर्जना गरेको स्पेक्ट्रा (उत्सर्जन र अवशोषण) को राम्रोसँग व्याख्या गर्न सक्यो । यसरी, गणितीय ढङ्गले चामत्कारिक रूपमा क्वान्टाइज्ड सम्पत्तिहरू आविष्कार भए, जसको यसरी प्रचार गरियो कि क्वान्टम भौतिकीको जन्मदाता नै उनी हुन् । क्वान्टम थ्योरीका दुई संस्थापक म्याक्स प्लान्क र नील्स बोहरले क्वान्टाको कामका लागि भौतिकशास्त्रमा नोबेल पुरस्कार पाए । आइन्स्टाइनलाई क्वान्टम थ्योरीको तेस्रो संस्थापक मानिन्छ । किनभने उनले फोटोइलेक्ट्रिक प्रभावको आफ्नो सिद्धान्तमा प्रकाशलाई क्वान्टाको रूपमा वर्णन गरे, जसका लागि उनले १९२१ को नोबेल पुरस्कार पाए ।

३.१ तरङ्ग-कण द्वैधता

फ्रान्सेली राजपरिवारका वैज्ञानिक लुइस डी-ब्रोगली (१९२३) ले परिकल्पना गरे कि प्रकाशको जस्तो दोहोरो प्रकृति (कण, तरङ्ग) सबै वस्तुका कणहरूमा विस्तार गरिएको हुनु पर्दछ । अर्को शब्दमा, सबै पदार्थका कणसँग तरङ्गजस्तो गुण हुन्छ, जसलाई तरङ्गको तरङ्गलम्बाइ र कणको मोमेन्टमले निर्धारण गर्दछ ($\lambda = h/p$)। पदार्थ सम्बद्ध छाल (तरङ्ग) हरूलाई डी-ब्रोगली तरङ्ग (१) भनेर चिनिन्छ, जो प्रकाशको फोटोन होस् वा पदार्थको इलेक्ट्रोन, त्यो कण गतिशील हुन आवश्यक छ । स्मरणीय कुरा के छ भने, जब कुनै वस्तुको डी-ब्रोगली तरङ्ग, यसको आकारभन्दा अधिक हुन्छ, तब त्यो वस्तु तरङ्गगुणका लागि योग्य हुन्छ । जब वस्तुको डी-ब्रोगली वेभ, यसको आकार भन्दा सानो हुन्छ, त्यो वस्तुले कणिक गुण देखाउने गर्दछ । यसर्थ, वस्तु या पदार्थ जति सानो हुँदै गयो, त्यसको तरङ्गगुण त्यति नै प्रभावी र तेजी बन्दै आउने गर्दछ ।

३.२ अनिश्चितताको सिद्धान्त

जर्मन वैज्ञानिक हेसनबर्गको अनिश्चितता सिद्धान्त (सन् १९२७) ले भन्छ- कणको पुरक चलराशि मापन कार्यमा अन्तरनिहित अनिश्चितता छ । उदाहरणका लागि, कुनै कणको स्थिति र गति (वा मोमेन्टम) एकै ठाउँमा मनलाग्दो शुद्धताका साथ मापन गर्न सकिँदैन । सरल रूपमा, एकैसाथ वस्तुको सही स्थिति र सही गति जान्न असम्भव छ । स्थिति जति बढी स्पष्टसँग ज्ञात हुन्छ, गति त्यति नै अनिश्चित हुन्छ । यो धारणालाई $\Delta x \Delta p \geq h/Ap$ सामान्यतया, सूत्रबद्ध स्वरूपमा यसरी लेखिन्छ जहाँ Δx ले स्थितिमा र Δp ले गतिमा हुने अनिश्चितता जनाउँदछ । यानेकि स्थिति र गतिको अनिश्चितता एक अर्कोसँग सम्बन्धित छ । तिनीहरू स्वतन्त्र भएर एकल रूपमा कम गर्न सक्दैनन् । दुईमध्ये एक यदि शून्य भएमा अर्को अनन्त हुन जान्छ वा अनिश्चित हुन्छ ।

४.१ उच्च ऊर्जा कणिक भौतिकी

प्रोटोन र न्यूट्रोन उत्पत्तिको अध्ययन आणविक भौतिकशास्त्रीहरूले गर्दछन् । सन् १९६० र १९७० को दशकमा गरिएका प्रयोगहरूको आधारमा उच्च-ऊर्जा (लेप्टोन) ले बिखण्डन गर्न सक्ने परमाणुको नाभीकमा अवस्थित संयुक्तकण- प्रोटोन र न्यूट्रोन (न्यूक्लियोन) आफैँमा एक प्रोटोन (दुई अपक्वार्क र एक डाउन क्वार्क) र एक न्यूट्रोन (दुई डाउन क्वार्क र एक अपक्वार्क) बाट बनेको छ । न्यूक्लियोन, क्वार्क र ग्लुओन्ससँग बलियो बन्धनले बाँधिएको हुन्छ । अहिले यिनै कणलाई पदार्थको आधारभूत कण मानिएको छ जसको अध्ययन गर्ने विज्ञानलाई 'कणिक भौतिकी (Particle Physics)' भनिन्छ । पदार्थका आधारभूत कणहरू: इलेक्ट्रोन, क्वार्क, ग्लुओन्स र तिनीहरूको अन्तरक्रियाको अध्ययनलाई उच्च ऊर्जा कण भौतिकी भनिन्छ । यस अर्थमा, क्वान्टम फिजिक्सको अनुसन्धानले फराकिलो दायरा फैलाउँदैछ । उदाहरणका लागि, सङ्कुचित पदार्थ भौतिकीमा वैज्ञानिकहरूले उच्च तापक्रम सुपरकन्डक्टरको सिद्धान्त बुझ्ने काम गरिरहेका छन् । यसको सामान्य समाधान फेला पार्न सकेमा पनि धेरै उपयोगी हुनेछ । क्वान्टम कम्प्युटेसनमा मानिसहरूले शास्त्रीय 'बाइनरी बिट'को सट्टा 'क्वान्टम बिट वा क्यूबीट'को उपयोग गर्न खोजिरहेका छन् । आणविक भौतिकशास्त्रीहरूले प्रोटोनको गुण (उदाहरणका लागि यसको स्पिन) को उत्पत्ति बुझ्न प्रयास गरिरहेका छन् । उच्चऊर्जा कण भौतिकीमा पदार्थको सबैभन्दा

आधारभूत घटकहरू र तिनीहरूले कसरी एक-अर्कासँग अन्तरक्रिया गर्छन् भनेर बुझ्ने प्रयास भइरहेको छ । वैज्ञानिकहरूले पदार्थको आधारभूत घटक र तिनीहरूको अन्तरक्रियाको बारेमा धेरै कुरा बुझिसकेका छन् । सैद्धान्तिक र प्रयोगात्मक विज्ञानकर्मीहरूबीचको सक्रिय सहकार्यले बुझाइको ढाँचा सुदृढ पारेको छ, जसलाई पार्टिकल फिजिक्सको मानक मोडेल (SM) भनिन्छ । स्मरण रहोस्, क्वान्टम फिजिक्सको पछिल्लो आविष्कार- हिग्स बोसोन, जसको सैद्धान्तिक भविष्यवाणी र प्रयोगात्मक सफलताका लागि ५० वर्ष लाग्यो । CERN को Large Hadron Collider ATLAS/CMS प्रयोगद्वारा हिग्स बोसोनको हालैको खोजसँग SM मा अब यो एक पूर्ण सिद्धान्त हुनका लागि सबै अंशहरू छन् । यद्यपि, यो प्रकृतिको अन्तिम सिद्धान्त हुन भने अझै सक्नेछैन । कणिक भौतिकीको 'मानक मोडल' भौतिकशास्त्रको क्वान्टम थ्योरी हो । जसमा क्वान्टाइजेसनका सिद्धान्तहरू, तरङ्ग कण द्वैधता र अनिश्चितताको सिद्धान्त, क्वान्टम मेकानिक्सका लागि वरदान साबित भए । जसले भौतिक विज्ञानलाई नयाँ युगमा प्रवेश गरायो । १९२७ मा, पाउल डिराकले विद्युतीय र चुम्बकीय क्षेत्रहरूको क्वान्टम समझ पत्ता लगाएका थिए, जसलाई 'क्वान्टम फिल्ड थ्योरी' (QFT) भनिन्छ । यसमा क्वान्टम कणहरू (फोटोन र इलेक्ट्रोन) लाई अन्तर निहित भौतिक क्षेत्रको उत्तेजित अवस्थाका रूपमा लिइन्छ । क्वान्टम मेकानिक्समा रिलेटिभिटी संयोजन गरेपछि बनेको सिद्धान्त हो QFT । अर्को शब्दमा भन्नुपर्दा, फिल्ड क्वान्टाइजेसनको प्रदान गर्न स्वतन्त्र हार्मोनिक ओसिलेटर प्रणाली यसमा अनुशरण गरिन्छ । यद्यपि QFT लाई क्वान्टम मेकानिक्सको अधिक परिष्कृत रूप मानिन्छ, जसमा सापेक्षता निहित छ । दशकसम्मको गतिहीनतापछि हान्स बेथेले १९४७ मा 'पुनर्बहालीकरण' भनिने प्रविधि प्रयोग गरी यसरी ब्रेकथ्रो गरे । जसबाट दुई घटनाहरू (इलेक्ट्रोन, आत्म- ऊर्जा र भ्याकुम ध्रुवीकरण) मार्फत इलेक्ट्रोन मास र इलेक्ट्रोन चार्ज दुबैको अवलोकन मान प्रयोग गर्न सकिने ठहर गर्दै अन्य सबै परिणामहरू बेतुक साबित गरिदिए । आधारभूत अवधारणा

४.२ आधारभूत कणिक भौतिकीको भविष्य

पुनर्स्थापनकरणको सफलतापछि QFTले प्रकृतिमा विद्यमान चार आधारभूत शक्ति (वा बल): १) विद्युत्चुम्बकीय, २) कमजोर नाभिकीय, ३) बलियो नाभिकीय र ४) गुरुत्व बललाई क्वान्टम सिद्धान्तको विकासमा समाहित गर्ने आधारको रूपमा काम गरेको छ । पदार्थका कणहरू साटफेर गर्दा यसमा निहित ऊर्जा पनि स्थानान्तरण हुन्छ भन्ने निष्कर्ष हो QFT को । अर्थात्, क्वान्टम फिल्ड थ्योरीमा, पदार्थका कणहरूबीच फोर्सको आदानप्रदान गरेर चार्जहरू प्रसारित हुन्छन् । QFT

द्वारा प्रदान गरिएको पहिलो अन्तरदृष्टि 'क्वान्टम इलेक्ट्रोडायनामिक्स' (QED) को क्वान्टम वर्णन, जसले १९४० को उत्तरार्ध वा सोभन्दा अगाडि नै जसरी म्याक्सवेलले १८६४ मा इलेक्ट्रिक र म्याग्नेटिक फोर्सहरूलाई एकीकरण गरी इलेक्ट्रोम्याग्नेटिज्मको विकास गरेका थिए, त्यसरी नै १९५० को शुरूवातदेखि यसमा थप कदम चालिएको थियो । जसको परिणामस्वरूप कमजोर परमाणु शक्ति (वा बल) को क्वान्टम विवरणमा आधारित भई १९६० को दशकमा 'इलेक्ट्रोउइक सिद्धान्त' (EWT) निर्माण गर्न 100 GeV, ऊर्जाको बलले विद्युतीय चुम्बकत्वसँग संयोजन गरिएको थियो । अपेक्षा छ कि पदार्थका सबै आणविक शक्तिहरू (बलियो, कमजोर र इलेक्ट्रोम्याग्नेटिक) अतितेज तापक्रममा ग्रान्ड युनिफाइड थ्योरी (GUT) भनेर परिचित सिद्धान्तअन्तर्गत एकजुट हुनेछन् । यसका लागि $3 \times 10^{14} \text{eV}$ अर्थात् 300 TEV ऊर्जा बराबरको बल आवश्यक पर्दछ । कडा नाभिकीय र विद्युतीय शक्तिहरूबीचको अन्तरसम्बन्ध अझै पत्ता लाग्न सकेको छैन । 'क्वान्टम क्रोमोडायनामिक्स' (QCD) को प्रयोगले कडा आणविक शक्तिको क्वान्टम उपचार प्रयास भइरहेको छ । १०० वर्षअगाडि भविष्यवाणी गरिएको गुरुत्वाकर्षण तरङ्गहरूको अन्तिम एकीकरण, जसले क्वान्टम बल र गुरुत्वबल (सुपरग्रेभिटी) बीचको सम्बन्ध समाधान गर्दछ, यसलाई थ्योरी अफ एभिथिडिङ (TOE) अर्थात् सबै चीजको एकीकृत सिद्धान्त भनिन्छ । 1,000,000, TeV यसका लागि अत्याधिक तापमानका साथ ऊर्जा आवश्यक हुन्छ । प्लांक युगको छेवैमा भएका यी अन्तर क्रियाहरू सुपरग्रेभिटीद्वारा शासित हुनेछन्, जहाँ एकीकरण अगाडिसम्मको समरूपता, एकीकरणपछिको बिन्दुदेखि नै भइग हुनेछ । जसले गर्दा हामी पुनः बिग-ब्याङ्गको स्थितिमा नै फर्कने छौं । QED, EWT र QCD सिद्धान्तहरू सबै सँगै मिलेर कणिक भौतिकीको मानक मोडेलको आधार तयार गर्नेछन् भन्ने विश्वास गरिएको छ । अर्थात्, स्ट्यान्डर्ड मोडेल, जसमा क्वान्टम फिजिक्स, रिलेटिभिटीसमेत मिलाएर एउटा निकास निस्कने छ । दुर्भाग्यवश, QFT ले अझै पनि गुरुत्वाकर्षणको क्वान्टम सिद्धान्त उत्पादन गर्न सकेको छैन । सबैलाई एउटै सूत्रमा बाँध्ने त्यो खोज आज 'स्ट्रिङ सिद्धान्त' र 'क्वान्टम गुरुत्व'को अध्ययनअन्तर्गत जारी राखिएको छ ।

५.१ क्वान्टम भौतिकी वर्तमान र भविष्य

बीसौं शताब्दीमा प्लांक, बोहर, आइन्स्टाइन, डी-ब्रोग्ली, श्रोडिङ्गर, हेसनबर्ग, डिराक इत्यादि वैज्ञानिकहरूले क्वान्टम फिजिक्समा गरेको खोजमूलक अनुसन्धानले गर्दा आणविक बमका साथै कम्प्युटर चिप्सहरू र विश्वव्यापी वेभ एवं सिलिकन भ्यालीजस्ता खरबौं डलरका औद्योगिक

कंपोरेट सेक्टर निर्माण भए । क्रमिकरूपमा हात लागेको यो सफलता (सैद्धान्तिक र प्रयोगात्मक दुबै) ले गहन र विशाल पुँजी (धन-सम्पत्ति) निर्माण गर्न नवीन उद्योगतर्फ अग्रसर गराएको छ । र, यो निरन्तर अगाडि बढिरहेको छ, बढिरहनेछ । यसर्थ, क्वान्टम फिजिक्समा प्राप्त वैज्ञानिक सफलताले समाजमा यो वा त्यो रूपमा नयाँ प्रविधिको सिर्जना एवं हस्तान्तरणमार्फत नयाँ क्रान्तिको सूत्रपात गरिरहेको छ । उदाहरणका लागि, पहिलो क्वान्टम क्रान्ति (जो क्वान्टम मेकानिक्सको ज्ञानरूपी चेतना थियो) ले नयाँ संसारको बिहानी (प्रयोगशालामा सीमित ज्ञानको भण्डार) मा आशलाग्दा किरणहरू छरेको थियो । १९७५ देखि २०१५ सम्म क्वान्टम भौतिकीमा भएका प्रगतिहरूले कम्प्युटर प्रविधिको आविष्कार गर्यो, जसले दोस्रो क्वान्टम क्रान्ति, सूचना प्रविधि (आमसञ्चार) मा क्रान्ति ल्याएको छ । माईक्रोइलेक्ट्रोनिक्स प्रविधिको औद्योगिकीकरण जसले बजारीकरणका लागि खुल्ला बजार अर्थ-व्यवस्था अबलम्बन गर्न बाध्य गरायो । फलस्वरूप, समाज रूपान्तरणले वर्तमान उचाइ हासिल गर्यो । तेस्रो, क्वान्टम क्रान्ति जसले मानवीय चेतनालाई पदार्थको संरचनामा अद्वितीय (विशिष्ट) गुण प्रवाहको सम्भावना रहेको पुष्टि गर्दै आएको छ । यो पोस्ट-क्वान्टम मेकानिक्सको धारणाले नानो इलेक्ट्रोनिक मेसिनहरूमा स्वाभाविक रूपमा सचेत कृत्रिम बुद्धिमत्ताका साथसाथै मानव जीवनलाई सयौं वर्ष र अधिकतम विस्तारित जीवन प्रदान गर्नेछ । यो विकास अब टाढा छैन । आणविक शक्ति र आनुवंशिक इन्जिनियरिङ्गजस्तै यो कार्य पनि अवसर र सम्भावित खतराबाट भरिभराउ हुनेछ ।

५.२ क्वान्टम भ्याकुम

स्थूल (म्याक्रोस्कोपिक) संसारको विकास पहिलो सममिति यानेकि क्वान्टम र गुरुत्वाकर्षण शक्तिबीचको ब्रेकिङ्ग-धु बिन्दुबाट प्रारम्भ हुन्छ । गुरुत्वाकर्षण र आणविक शक्तिहरू अलग भएपछि ब्रह्माण्डको स्पेस-समय, पदार्थ र विकिरणभन्दा फरक हुन्छ । यसले के इङ्गित गर्दछ भने प्रारम्भिक ब्रह्माण्डको मुख्य प्रक्रिया नै मौलिक शक्तिहरूको एकीकरण हो । जब मौलिक बलहरूले तिनीहरूको सममिति (symmetry) तोड्दछ, तब रोचक घटनाहरू हुने गर्दछन् । यसर्थ ब्रह्माण्ड सम्भावितताको एक अनिश्चित समुद्रबाट उत्पन्न भएको हो, जसलाई हामी क्वान्टम भ्याकुम भन्छौं । जसका आधारस्तम्भहरू अझै हाम्रो समझबाट टाढा रहेको हुनसक्दछ । यसअर्थमा, ब्रह्माण्डका गुणहरू 'केही छैन' बाट आउँछ, जहाँ केही छैन । भन्नुको अर्थ, क्वान्टम भ्याकुम छ । यदि हामीले यो रिक्त ठाँउको एक टुकुरालाई परीक्षण गरी हेरौं भने यो साँच्चिकै खाली छैन । यो स्पेस-टाइमले भरिएको छ । स्पेस-टाइमको घुमाउरो घेरा (बक्र) र संरचना छ,

जसले क्वान्टम फिजिक्सका नियमहरूको पूर्ण पालना गर्दछ । 'केही छैन' बाट उब्जिएको यो सम्भावित भर्चुअल कणहरू, भर्चुअल पदार्थ र प्रतिपदार्थ (एन्टि-म्याटर), इकाईहरूको जोडी, क्वान्टम स्तरमा सम्भावित गुणहरूले अन्तरिक्षको शून्य भरिभराउ छ ।

५.३ आधारभूत क्वान्टम विज्ञान

क्वान्टम सिद्धान्तको विकासले विज्ञानको सान्दर्भिकतालाई व्यापक बनाउँदै आधार भूत सिद्धान्त एवं भावी घटनाको सूक्ष्म- अनुसन्धानलाई बढावा दिन्छ । जसले भावी मानवीय उपकरणहरूको विकासलाई समेट्छ । कम्तिमा यी पाँच क्षेत्रहरू (क्वान्टम कम्युनिकेसन, क्वान्टम सिमुलेसन, क्वान्टम सेन्सिङ, क्वान्टम मेट्रोलोजी र क्वान्टम कम्प्युटिङ) मा लक्षित कम्पोनेन्ट वा उप-प्रणालीहरूको कार्य सम्पादन सुधार गर्न उत्प्रेरित गर्दछ । क्रस-कटिङ्ग विषयको रूपमा आधारभूत क्वान्टम विज्ञान फराकिलो छ । जसको जगमा क्वान्टम टेक्नोलोजीको सम्भावित वृद्धिका लागि नयाँ अवसरहरू खोज्ने दिशामा काम गर्न क्वान्टम-क्लासिकल ट्रान्जिसन र डिकोहेरेन्स संरचनामा परिमार्जित बुझाइलाई जारी राख्नु जरूरी छ ।

६. क्वान्टम प्रविधि

आकार घट्टै जाँदा भौतिक विवरणहरू क्लासिकलबाट क्वान्टममा परिवर्तन हुन्छन् । क्वान्टम प्रविधि र तिनीहरूको दीर्घकालीन प्रभाव सुनिश्चित गर्न क्वान्टम विज्ञानले क्वान्टम टेक्नोलोजीका लागि नयाँ विचार प्रदान गर्दछ । क्वान्टम प्रविधिको विकासले नयाँ प्रश्नहरूको जवाफ दिन उत्प्रेरित गर्दछ । उदाहरणका लागि, नानो-इलेक्ट्रोनिक्स, इलेक्ट्रोनिक उपकरण निर्माण गर्ने उदीयमान क्षेत्र हो । जसले क्वान्टम प्रभावको भरपुर उपयोग गर्दछ । सुविधायुक्त र कोठाको तापमनमा पनि सञ्चालन गर्न सकिने नानोमिटर स्केलका नयाँ उपकरणहरूको विकास एक कठिन कार्य हो । नानो-टेक्नोलोजीले उत्कृष्ट इलेक्ट्रोनिक उपकरणहरूको नयाँ पुस्ता निर्माण गर्ने प्रबल सम्भावना छ । विगत दुई दशकमा रिजोनेन्ट टनेलिङ डायोड्स (RTD), सिङ्गल इलेक्ट्रोन ट्रान्जिस्टर (SETs) र क्वान्टम डट्स, क्वान्टम डोरी र अणु मिलेर बनेका यन्त्रहरूको बृहत्तर समूहजस्ता नानो-इलेक्ट्रोनिक उपकरणहरू प्रयोगशालामा प्रस्तावित छन् । र, ती सफलतापूर्वक प्रदर्शन गरिएका छन् । केही क्वान्टम प्रविधिहरू परिपक्वताको स्तरमा पुगेका छन् र बजारीकरण भएका पनि छन् ।

६.१ परमाणु घडी

उपकरण, जसले दोहोरिने घटना गणना गर्दछ । उदाहरणका लागि, मेकानिकल घडी । त्यसमा पेन्डुलम प्रत्येक सेकेन्डमा एकपटक स्विङ हुन्छ र स्विङको सङ्ख्या गणना गरेर कति सेकेन्ड बित्यो भन्ने थाहा हुन्छ । पारमाणविक घडीले परमाणु राज्यको उपयोग गर्दछ । एउटा क्वान्टम राज्यबाट अर्कोमा इलेक्ट्रोनिक संक्रमण 'पेन्डुलम'को रूपमा । तिनीहरूले एक विशेष तत्व (सिजियम) को सबै परमाणुहरू एउटै इलेक्ट्रोनिक कन्फिगरेसन भएको फाइदा लिन्छन् । एउटै तत्व प्रयोग गर्ने विभिन्न परमाणु घडीहरूले एउटै 'पेन्डुलम' प्रयोग गर्छन् । अहिलेका उत्कृष्ट आणविक घडीहरू यति सटीक छन् कि यदि तिनीहरू 13.8 बिलियन वर्षपहिले ब्रह्माण्डको जन्म हुँदा खोलिएका थिए भने पनि तिनीहरू एक सेकेन्डभन्दा कमको सत्यतामा (एकुरेट) हुने थिए । वरिपरि घुम्ने परमाणु-न्यूक्लियसको इलेक्ट्रोनले परिभाषित 'क्वान्टम राज्यहरू'को एक सानो भागमा मात्र कब्जा गर्न सक्छ, जसमा परिभाषित ऊर्जा हुन्छ । जसले क्वान्टम मेकानिक्सको सूत्रीकरणको नेतृत्व गर्न सफल भयो । आणविक घडीमा एक निश्चित आवृत्तिको प्रकाश (वा विद्युत-चुम्बकीय विकिरण) परमाणु कक्षमा चम्किन्छ । यदि प्रकाशको आवृत्ति (फ्रिक्वेन्सी), फोटोनको दुई ऊर्जा अवस्थाबीचको भिन्नतासँग ठ्याक्कै बराबर छ भने परमाणुले फोटोनलाई अवशोषित गर्दछ । र, उत्तेजित अवस्थामा परिवर्तित हुन्छ । परमाणु घडीमा यो प्रक्रिया बारम्बार दोहोरिएको हुन्छ । परमाणुलाई उत्तेजित गर्ने दक्षतामा निरन्तर निगरानी गरिन्छ र उच्चतम दक्षता उपजका लागि प्रकाशको आवृत्ति निरन्तर सुधार गरिन्छ । यसरी परमाणुले प्रकाश-स्रोतको फ्रिक्वेन्सीमा निरन्तर निगरानी राख्दछ । फलस्वरूप, गणना गर्न र घटनाको अवधि मापन गर्न यसको प्रयोग गरिन्छ । अर्को शब्दमा, इलेक्ट्रोनको प्रारम्भिक अवस्था र उत्तेजित अवस्थाबीचको पृथक । बाह्य प्रभावहरू, ऊर्जा भिन्नता, पूर्ण रूपमा परमाणुका लागि स्थिर हुन्छ । बा जस्तै: विद्युतचुम्बकीय क्षेत्रले राज्यको ऊर्जा स्तर र संक्रमण आवृत्तिलाई पनि प्रभाव पार्न सक्छ । त्यसकारण, आणविक घडीमा विद्युतीय कन्फिगरेसनको विशेष जोडीहरू चयन गरिन्छ, जुन बाह्य हस्तक्षेपका लागि सम्भव भएसम्म असंवेदनशील हुन सकोस् ।

६.२ फोटोनिक्स

प्रकाशको न्यूनतम मात्रालाई फोटोन भनिन्छ । क्वान्टम टेक्नोलोजी विकासका लागि एकपटकमा प्रकाशको एकल क्वान्टा उत्पन्न गर्न क्वान्टम प्रक्रियालाई ग्यारेन्टी गर्न सकिन्छ । एकल फोटोनका स्रोतहरू: क्वान्टम डट- वास्तवमै पछिल्ला केही वर्षहरूमा उन्नत भएका छन् । उदीयमान क्वान्टम कम्युनिकेसन एउटा क्षेत्र हो, जहाँ यी कुञ्जी सक्षम गर्ने प्रविधिहरू आवश्यक

छन् । क्वान्टम इन्टरनेटको सन्दर्भ (टाढाको क्वान्टम प्रविधि) जडान गर्नका लागि पनि यी फोटोनिक सेन्सरहरू उपयोगी छन् । फोटोनिक स्रोत, क्वान्टम टेक्नोलोजी सक्षम पार्ने प्रविधिहरूमध्ये एक हो । लचिलोपनको फोटोन सिर्जना गर्ने यो क्षेत्र क्वान्टम टेक्नोलोजीको आधारशिला हो । जसले क्वान्टम अप्टिक्स र क्वान्टम सूचना विज्ञानमा सिद्धान्त र प्रयोगलाई हातमा हात छिटो प्रगति गर्न अनुमति दिएको छ ।

६.३ क्वान्टम सञ्चार

क्वान्टम-सुरक्षित क्रिप्टोग्राफीद्वारा गरिने सञ्चार सुरक्षा उपभोक्ता, उद्यमी र सरकारहरूका लागि रणनीतिक महत्त्वको हाल यो क्लासिकल एल्गोरिदममार्फत एन्क्रिप्सनद्वारा प्रदान गरिएको छ । एन्क्रिप्सन विधिले क्वान्टम कम्प्युटर तोड्न सक्दैन । यसले क्वान्टम-सुरक्षित क्रिप्टोग्राफीको विकासलाई उत्प्रेरित गर्छ । क्वान्टम एन्क्रिप्सनमा आधारित सुरक्षित समाधानहरू क्वान्टम कम्प्युटर द्वारा हुने आक्रमणबाट पनि प्रतिरोधी छन् । व्यावसायिक रूपमा उपलब्ध यिनीहरू ५०० कि.मि.भन्दा कमको दूरीमा मात्र काम गर्न सक्ने भएकाले क्वान्टम जानकारी सुरक्षित रहन्छ । किनभने यो क्लोन गर्न सकिँदैन । तर उही कारणले यसलाई परम्परागत रिपीटरहरूमार्फत रिले गर्न पनि सकिँदैन । यसको सट्टा विश्वसनीय नोडहरू वा पूर्ण क्वान्टम उपकरणमा आधारित रिपीटरहरू, सम्भवतः उपग्रह समावेश गरी विश्वव्यापी दूरीमा पुऱ्याउन आवश्यक हुन्छ । क्वान्टम रिपीटरको लाभ विश्वसनीय नोडहरूबीचको दूरी विस्तारमा निहित छ । पूर्ण क्वान्टम रिपीटर योजनाका लागि क्वान्टम प्रोसेसर र क्वान्टम इन्टरफेस निर्माण ब्लक हुन्, जसले एउटा सानो जानकारीलाई इन्टरनेटमा प्रयोग हुने अप्टोइलेक्ट्रोनिकस उपकरण (फोटोनमा रूपान्तरण) को क्वान्टम कार्य क्षमताका साथ भरपुर उपयोग गर्दछ । क्वान्टम इन्टरनेटका यी बिल्डिङ्ग ब्लकहरू प्रयोगशालामा पहिले नै प्रदर्शन भइसकेका थिए । तर, बजारसम्म पुग्नका लागि वर्षोको अनुसन्धान र विकास आवश्यक हुन्छ । यो हुनेबित्तिकै साँचो इन्टरनेट-व्यापी क्वान्टम-रक्षित सुरक्षा, सेन्सर नेटवर्कहरू वा वितरित क्वान्टम कम्प्युटिङ्ग एक वास्तविकता बन्न सक्छ ।

६.४ क्वान्टम कुञ्जी

क्वान्टम कुञ्जी वितरण (QKD) को अवधारणा पहिलोपटक सन् १९७० मा प्रस्ताव गरियो । तथापि, १९८० को दशकसम्म यो वास्तवमा चर्चामा आएको थिएन । भौतिकशास्त्रीहरूले चासो

लिन थालेपछि मात्र यसले उल्लेख्य प्रगति गर्यो । जसको परिणाम अब यो सायद सबैभन्दा परिपक्व क्वान्टम टेक्नोलोजी हो र हाल व्यावसायिक रूपमा उपलब्ध छ । आजको डिजिटल समाज, डेटाको सुरक्षामा निर्भर छ । चाहे त्यो सञ्चारमा होस् या भण्डारणमा । उदाहरणका लागि ई-बैंकिङ, ई-व्यापार, ई-स्वास्थ्य, ई-सरकारी च्यानल । यसको सुरक्षालाई स्वाभाविक रूपमा तोड्न सक्ने क्वान्टम कम्प्युटरको प्रगतिसँगै सबैका लागि बढ्दो जोखिम यथार्थ हो । विशेषगरी, यदि कसैले आफ्नो स्वास्थ्यलाई विचार गर्दछ भने रेकर्डहरू जीवनकालसम्म सुरक्षित राख्न आवश्यक छ । QKD एउटा यस्तो प्रविधि हो, जसले दीर्घकालीन सुरक्षाको यस मुद्दालाई सम्बोधन गर्न सक्छ QKD ले क्रिप्टोग्राफिक प्रोटोकलहरूका लागि आवश्यक गोप्य कुञ्जी वितरण र साझेदारी गर्ने तरिका प्रदान गर्दछ । व्यावसायिक रूपमा उपलब्ध यी प्रणालीहरूलाई थप कम्प्याक्ट, सस्तो र लामो दूरीमा सञ्चालन गर्न सक्षम बनाउने प्रयास जारी छ । विद्यमान सञ्जाल पूर्वाधार माथी QKD प्रणालीहरूको एकीकरण हालको चुनौती हो । दूरसञ्चार उपकरण निर्माता, महत्त्वपूर्ण पूर्वाधार प्रदायक, नेटवर्क अपरेटर, QKD उपकरण प्रदायक, डिजिटल सुरक्षा पेसेवरहरू र वैज्ञानिकहरूको टोली यसमा काम गरिरहेका छन् । सामान्यतया, सूचना (जानकारी) हरू एकल फोटोनमा इन्कोड गरिएको हुन्छ । प्रयोग गरिएको फोटोन, जसले केवल एक गोप्य कुञ्जी उत्पन्न गर्दछ । यी अनुप्रयोगहरूमा सुरक्षा सुनिश्चित गर्न यिनीहरूलाई क्रिप्टोग्राफिक प्रोटोकलहरूमा समावेश गर्न आवश्यक छ । यसको समाधानका लागि क्वान्टम फिजिक्सले ल्याएको सुन्दरता यो हो कि, यदि एक जासूस वा ह्याकरले कुञ्जीलाई रोक्ने प्रयास गर्छ भने कुनै पनि जानकारी इन्कोड वा सञ्चार गर्नुअघि नै यसले त्रुटि पहिचान गरी आफैँलाई प्रकट गर्नेछ । अन्तर्निहित यो प्रविधिको उच्च दर (>Mbps) र लामो दूरी (>400 km) प्रदर्शनको सफलतासँगै यी व्यावसायिक प्रणालीहरू सानो र सस्तो बनाउने प्रयास जारी छ । आगामी वर्षहरूमा यसले गति लिन अपेक्षा गरिएको छ ।

६.५ क्वान्टम रिपीटर

लामोदूरीको फाइबर अप्टिक सञ्जालमा entanglement र qubits जस्ता क्वान्टम स्रोत वितरण गर्नु ठूलो चुनौती हो । यदि हामीले 10GHz को दरमा 1000 km भन्दा माथि एकल फोटोनहरू पठाउँ भने पत्ता लगाउन सयौं वर्ष कुर्नुपर्ने हुन्छ । आधुनिक दूरसञ्चारले यो समस्याको हल गर्न बाटो मा सिग्नललाई बढावा दिने गर्दछ । यद्यपि, यसले फोटोनको क्वान्टम विशेषतालाई नष्ट गर्नेछ । क्वान्टम जानकारी, जसलाई प्रतिलिपि गर्न सकिँदैन- हामी यसलाई

'नो क्लोनिङ' भन्छौं । तसर्थ, प्रसारण घाटा हटाउन क्वान्टम समझ आवश्यक छ, जसलाई क्वान्टम रिपीटर भनिन्छ । यस पद्धतिमा ट्रान्समिसन दूरीलाई खण्डहरूमा विभाजन गरिएको हुन्छ । किनभने यहाँ हामीले पृथक र फसेको फोटोन पठाउन सक्दछौं । एउटा क्वान्टम मेमोरीमा र अर्को बेलस्टेट मेजरमेन्ट (बीएसएम) मा । क्वान्टम मेमोरीमा पठाइएको फोटोन नष्ट हुँदैन । यसलाई भण्डारण गरिन्छ, जबसम्म हामी अर्को अल्झिएको लिङ्क तयार हुनका लागि पर्खिन्छौं । यसरी क्वान्टम सम्झनामा भण्डारण गरिएका उल्झनको साथ लामो फाइबर लिङ्क खण्डित हुन्छ । यसरी क्वान्टम मेमोरीले हामीलाई फाइबर लिङ्क तयार नभएसम्म पर्खन अनुमति दिने हुनाले क्षति हुनबाट जोगाउँछ । क्वान्टम मेमोरी हाल धेरै ल्याबहरूको मुख्य फोकस हो, जसमा फोटोनको भण्डारण समय र फोटोन फिर्ता गर्न सक्ने दक्षताजस्ता क्षेत्रको दायरामा प्रदर्शन सुधारको चासो रहन्छ । क्वान्टम रिपीटरको विकासमा धेरै चुनौती छन् । किनभने तिनीहरू क्वान्टम उपकरण र उप-प्रणालीको संयोजनबाट बनेका जटिल प्रणाली हुन् । हालैका वर्षहरूमा QKD मा भएको विकासबाट लाभ उठाउँदै नयाँ इन्जिनियरिङ्ग दृष्टिकोणका साथ यो प्रणालीको कार्य सम्पादनमा सुधार भएको छ । मानक, फाइबर अप्टिक नेटवर्कमा तिनीहरूको एकीकरणले सुरक्षित क्वान्टम सञ्चारको अनुभूति गराएको छ ।

६.६ क्वान्टम टेलिपोर्टसन

सञ्चारको बाहक फोटोन । सञ्चार मार्गमा फसेको फोटोन क्वान्टम मेमोरीमा पठाउन र बेलस्टेट मेजरमेन्ट (बीएसएम) मा प्रदर्शन गर्नका लागि फोटोनहरू पुनः उत्सर्जन गर्न सकिन्छ । त्यसैकारण, टाढाका यी दुई पक्षबीच साझा गरिएको उल्झनमा फोटोनको जीवनकालसम्म दूरी विस्तार गर्न सकिन्छ । सञ्चार मार्गमा सिर्जना हुने इन्टर फेस, जहाँ फोटोन फस्न सक्ने भएकाले फोटोनको फ्रिक्वेन्सी (रङ) लाई रूपान्तरण गरिन्छ । यो आवश्यक छ, किनकि धेरै क्वान्टम मेमोरीहरू (टेलिकम) तरङ्गलम्बाइमा काम गर्दैनन् । त्यसैले हामीले तिनीहरूलाई फाइबर अप्टिक लिङ्कहरूमा जानुअघि रूपान्तरण गर्न आवश्यक छ । टाढाका स्थानहरूबीच गोप्य साझेदारी गर्नका लागि फाइबर अप्टिक केबलजस्तै केहीमार्फत पठाउन सकिन्छ । त्यसका लागि फोटो नमार्फत यो जानकारी क्वान्टम राज्यहरूमा इन्कोड गरिनु पर्दछ । क्वान्टम क्रिप्टो ग्राफी- क्वान्टम भौतिकीमा आधारित सञ्चार सुरक्षा सुनिश्चित गर्ने यस्तो प्रणाली हो, जहाँ टेलिपोर्टसन पद्धतिद्वारा सुरक्षित सञ्चार का लागि क्वान्टम उपयोगिताको प्रतिज्ञा गरिन्छ । यसले शास्त्रीय रूपमा गर्न नसकिने सेवा प्रदान गर्ने भएकाले समाजमा गहिरो प्रभाव पार्दछ ।

आज टेलिपोर्टसन एक शक्तिशाली उपकरण भएको छ । अबको चुनौती भनेको क्वान्टम रिपीटरहरूका लागि पछ्याइएको उदीयमान टेक्नोलोजीमा यसलाई अनुकूल बनाउनु हो । 'क्वान्टम फिजिक्स' वाक्यांशले विशेष परिस्थितिहरूमा हुने एकदमै अनौठो र बुझ्न नसकिने कुराको प्रतिक्रियालाई आह्वान गर्दछ । यसले हाम्रो दृष्टि, स्पर्श र गन्ध व्याख्या गर्न सक्षम छ भन्ने कुरा थाहा पाउँदा तपाईंलाई अचम्म लाग्न सक्छ । त्यसैले, सायद गुगल, आई.बी.एम. र माइक्रोसफ्टजस्ता कम्पनीहरू क्वान्टम कम्प्युटिङको विकास गर्ने दौडमा प्रतिस्पर्धा गरिरहेका होलान् । केही विशेषज्ञहरू 'क्वान्टम फिजिसिस्टहरू वा क्वान्टम इन्जिनियरहरू' का लागि यो चुनौतीपूर्ण बनिरहेको पनि हुन सक्दछ ।

७. नेपाली परिवेश

यदि कसैले हामीलाई क्वान्टमको दैनिक उपयोगिता सोध्यो भने हामीमध्ये धेरै यसबारे पूर्णतया अनभिज्ञ हुन्छौं । तर, यदि तपाईं दैनिक जीवनमा भोगिएका अनुप्रयोगहरूका बारेमा जान्नुभयो भने आश्चर्यचकित हुनुहुनेछ- क्वान्टमको क्षेत्रमा हामी पनि केही योगदान गर्न सक्छौं कि ? क्वान्टम भौतिकीमा आधारित यहाँ केही यस्ता चीजहरूको सूची समावेश छ, जसको सहज सञ्चालनले तपाईं समृद्ध बन्न सक्नुहुन्छ । जस्तै: टोस्टर, फ्लोरोसेन्ट प्रकाश, कम्प्युटर र मोबाइल फोन, जैविक कम्पास आदि । अध्ययनअनुसार रोबिनजस्ता चराहरूले माइग्रेट गर्न क्वान्टम फिजिक्सको प्रयोग गर्छन् । क्रिप्टोक्रोम भनिने प्रकाश-संवेदनशील प्रोटीनमा इलेक्ट्रोन हुन्छ । फोटोनहरू चराको आँखामा प्रवेश गरे पछि क्रिप्टोक्रोममा हिट हुन्छन् र रेडिकलहरू रिलिज हुन्छन् । यी रेडिकलहरूले चरालाई चुम्बकीय नक्सा हेर्न सक्षम बनाउँछ । एउटा अर्को अध्ययनअनुसार चराहरूको चुच्चो मा चुम्बकीय खनिज हुन्छ । क्रस्टेसियन, छेपारो, कीरा र केही स्तनधारी प्राणीहरूले यस प्रकारको चुम्बकीय कम्पास प्रयोग गर्छन् । झिङ्गाले नेभिगेसनका लागि प्रयोग गर्ने क्रिप्टोक्रोम मानिसको आँखामा पनि फेलापरेको थाहा पाउँदा तपाईंलाई अचम्म लाग्न सक्छ ! यसर्थ, बायोडाइभर्सिटीले भरिपूर्ण हाम्रो मुलुकमा यस्ता बायो-क्वान्टम प्रक्रियाहरूको उपयोग किन नगर्ने ? अणु र परमाणुको क्वान्टम चरित्र- चित्रणले आधुनिक प्रविधिहरूको नेतृत्व गरेको छ । जसले दैनिक जीवनमा क्वान्टम भाष्यको परिचय दिएर पाठकहरूलाई परमाणु र आणविक स्तरमा परिचित गराउँदै व्यापक रूपमा प्रयोग हुने प्रविधिको गहिरो बुझाइतर्फ डोर्न्याउँदै लगेको छ । जस्तै: ट्रान्जिस्टर, लेजर, माइक्रोस्कोपी, ग्लोबल पोजिसनिङ सिस्टम (GPS), चुम्बकीय अनुनाद इमेजिङ (MRI) आदि ।

८. उपसंहार

पदार्थमा विद्यमान अति साना आधारभूत कणको व्यवहार, जो तरङ्ग-कण द्वैधता, अनिश्चितताको सिद्धान्त, सुपरपोजिसनजस्ता भौतिक प्रक्रिया हुन् । जसले ब्रह्माण्डलाई बुझ्ने र अन्तरक्रिया गर्ने तरिकामा गहिरो प्रभाव पारेको छ । शास्त्रीय मान्यतालाई चुनौती दिने यी आधारभूत कणको मापनबिना उनीहरूको निश्चित स्थान वा गति यकिन गर्न सकिँदैन । क्वान्टम प्रयोगहरूको नतिजा केवल एक निश्चित सम्भावनाका साथ भविष्यवाणी गरिएको हुन्छ । त्यसैकारण, यसले प्राविधिक विकासको नेतृत्व गरेको हो । जसले कम्प्युटिङ, सेन्सिङ, सञ्चार र सिमुलेसनजस्ता प्रक्रियाद्वारा समाज रूपान्तरणमा योगदान गर्दै आइरहेको छ । जसरी म्याक्सवेलको इलेक्ट्रोडायनामिक्सले बिजुली, चुम्बकत्व र प्रकाशको एकीकरण गरेर मानव हितमा विद्युतीय शक्ति, टेलिग्राफ, रेडियो र टेलिभिजनजस्ता सेवा प्रदान गर्यो । ठीक त्यसैगरी, दैनिक जीवनमा प्रयोग भइरहने लेजर र ट्रान्जिस्टरजस्ता उपकरणलाई जन्म दिन, क्वान्टम कम्प्युटर जस्ता अनुमानित प्रविधिलाई सक्षम पार्न, एवं नवप्रवर्तनका लागि प्रेरणादायी मूल्यवान् सन्दर्भस्रोत हुन्- क्वान्टम आविष्कारहरू । क्वान्टम भौतिकीले हाम्रो दैनिक जीवनको पूर्णचित्र प्रदान गर्न भौतिक विज्ञानको हाम्रो आधारभूत समझमा रहेका कमी-कमजोरीहरू (अन्तरहरू) लाई पूर्णता दिन आँखा उघारि दिएको छ । क्वान्टम भौतिकीको अध्ययनबिना हाम्रो ज्ञान अधुरो छ भन्ने अन्तरनिहित भाव बोध गराएको छ । क्वान्टम भौतिकीले उच्च-आयाम भएका ब्रह्माण्डका सबै वस्तुहरू कसरी हाम्रो इन्द्रियले बुझ्न सक्नेगरी बाह्य संसारसँग जोडिएको छ भनेर प्रकट गर्न सफल भएको छ । अन्तरिक्ष एवं समयसँग गुरुत्वाकर्षणको सम्बन्धलाई सहजरूपमा बुझ्न क्वान्टम भौतिकीले सम्भावनाको खोजी गरिरहेको छ । वस्तुहरूको एकीकृत सिद्धान्तद्वारा प्रकृतिमा अवलोकन गरिएका घटना वा विशेषता सबैलाई एउटै डोरीमा उन्ने प्रयास भइरहेको छ । पदार्थ र प्रतिपदार्थ (अँध्यारो पदार्थ) बीचमा किन यति ठूलो विषमता छ ? न्युट्रिनो द्रव्यमानको उत्पत्ति के हो ? कालो पदार्थको प्रकृति के हो ? के भर्खरै पत्ता लागेको हिग्स बोसोन आफ्नो प्रकारको एकमात्र हो वा अरु पनि छन् ? हिग्स बोसोनले आफैँसँग कसरी अन्तरक्रिया गर्छ ? हिग्स बोसोनका गुणहरूको मापनका क्रममा हामीले थप हिग्स बोसोन फेला पार्न सक्छौं वा सक्दैनौं ? यी अनुत्तरित प्रश्नहरूले हालको मानक मोडल (एस.एम.) का कमजोरीहरूलाई सम्बोधन गर्दै नयाँ कणहरूको अस्तित्वको भविष्यवाणी गर्दछन् ।

सन्दर्भ-सामग्री

लामिछाने, शोभाकान्त (२०७८), क्वाटम सिद्धान्त : आधुनिक विज्ञानको नवीनतम खोज, इन्डिगो इन्क प्रा.लि., काठमाडौं ।

काप्रा, फ्रिजॉफ (२०१४), The Tao of Physics (भौतिकी का सतपथ, हिन्दी अनुवाद- वाघेला, धर्मराज), न्यू एज बुक्स, नयाँ दिल्ली ।

<https://studiousguy.com/examples-quantum-physics-everyday-life/>