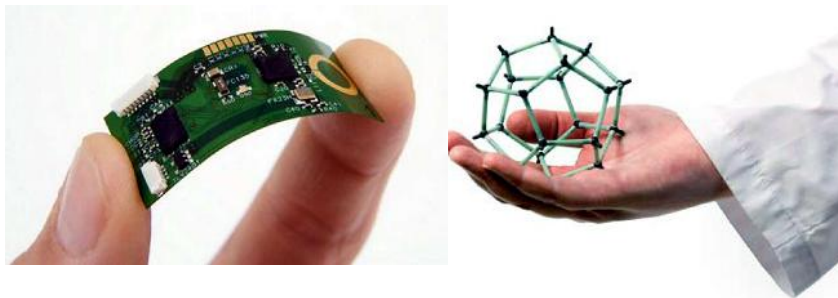


नैनो भौतिकी

डॉ. कृष्ण कुमार मिश्र



डॉ. कृष्ण कुमार मिश्र ने काशी हिन्दू विश्वविद्यालय से रसायन विज्ञान में पीएच-डी. की उपाधि प्राप्त की। आप टाटा मूलभूत अनुसंधान संस्थान मुंबई के होमी भाभा विज्ञान केन्द्र में रीडर हैं। लोकप्रिय विज्ञान लेखक के रूप में आपकी अपार ख्याति है जोकि हिन्दी में आपके व्यापक लेखन से निर्मित हुई है। आपके 250 से अधिक लेख तथा 22 पुस्तकें प्रकाशित हैं। राजभाषा गौरव पुरस्कार, होमी जहाँगीर भाभा स्वर्ण पुरस्कार, शताब्दी सम्मान, राजभाषा भूषण सम्मान, इस्वा सम्मान सहित अनेक पुरस्कारों से सम्मानित डॉ. मिश्र मुंबई में निवास करते हैं।



विज्ञान तथा तकनीकी की दुनिया में नैनोप्रौद्योगिकी की हर जगह चर्चा है। यह छोटे स्केल पर पदार्थ के अनुप्रयोग पर केंद्रित तकनीक है। इसमें नैनोभौतिकी भी एक महत्वपूर्ण विधा है। नैनोभौतिकी के अन्तर्गत नैनोइलेक्ट्रॉनिकी, नैनोप्रकाशिकी, कार्बन नैनोट्यूब, नैनोचुम्बकत्व, क्वाण्टम ट्रांसपोर्ट, नैनोयांत्रिकी तथा नैनो कणों के विषय में प्रमुखता से अध्ययन किया जाता है। नैनोभौतिकी को “नैनोमीटर परास (रेंज) की माप की संरचनाओं तथा कलाकृतियों अथवा नैनोसेकेण्ड में पूर्ण होने वाली घटनाओं के भौतिक विज्ञान” के रूप में परिभाषित किया जाता है। अगर साधारण भाषा में कहा जाये तो नैनोभौतिकी अत्यन्त सूक्ष्म वस्तुओं की संरचना, निर्माण तथा उनके अनुप्रयोग के अध्ययन की विधा है। इसका विज्ञान की दूसरी अन्यान्य शाखाओं (जैसे- रसायन विज्ञान, जीव विज्ञान, पदार्थ विज्ञान आदि) तथा प्रौद्योगिकियों में व्यापक उपयोग होता है। वैसे तो एक विषय के तौर पर भौतिकी का क्षेत्र काफी व्यापक है लेकिन इक्कीसवीं सदी में नैनोभौतिकी को सबसे तेज उभरते हुए क्षेत्र के रूप में देखा जा रहा है। वर्तमान में भौतिकीविदों का रुझान इस तरफ तेजी से बढ़ रहा है। “द्विविमीय तात्विक पदार्थ ग्रेफीन के बारे में अभूतपूर्व प्रयोगों के लिए आंद्रे जीम और कॉन्स्टेंटिन नोवोसेलोव को संयुक्त रूप से सन् 2010 में भौतिकी के ‘नोबेल पुरस्कार’ से सम्मानित किया जा चुका है। नैनोभौतिकी के अन्तर्गत अनुशीलन के कुछ प्रमुख विषयों की चर्चा नीचे की गई है।

नैनो इलेक्ट्रॉनिकी

नैनो इलेक्ट्रॉनिकी को नैनो भौतिकी की महत्वपूर्ण शाखा माना जाता है। इसके अन्तर्गत इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों में नैनो तकनीकी के उपयोग के बारे में अध्ययन किया जाता है। इलेक्ट्रॉनिकी का बुनियादी सिद्धान्त ही है कि “किसी युक्ति का आकार चाहे जो हो, उसे और छोटा कीजिए” साथ ही किसी युक्ति की दक्षता चाहे जो हो, उसे और बढ़ाइए। इसी सिद्धान्त का अनुपालन करते हुए, आजकल अधिकांश इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों के निर्माण में नैनो तकनीकी से निर्मित नैनो आकार की वस्तुओं का उपयोग प्राथमिकता से किया जा रहा है। कम्प्यूटर, टेलीविजन, मोबाइल तथा अन्य इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों के निर्माण में नैनो प्रौद्योगिकी का प्रयोग तेजी से बढ़ रहा है।

नैनो इलेक्ट्रॉनिकी के द्वारा उपकरणों की माप तथा आकार को कम करने में मदद मिलती है। इसकी सहायता से अर्द्धचालकों के विशिष्ट गुणों को ज्ञात किया जा सकता है। वर्तमान में सिलिकॉन अर्द्धचालक का उपयोग प्रमुखता से किया जा रहा है। आजकल डाटा स्टोरेज के लिए कम्प्यूटर तथा मोबाइल में ‘इलेक्ट्रॉनिक नैनो चिप’ का उपयोग किया जाता है, जो नैनो इलेक्ट्रॉनिकी की ही देन है। एक इलेक्ट्रॉनिक नैनो चिप में लगभग दस लाख सिलिकॉन युक्तियां होती हैं तथा प्रत्येक युक्ति का आकार लगभग 500 नैनोमीटर (1 नैनोमीटर = 10^{-9} मीटर) होता है। आशा है कि अगले कुछ दशकों में इसका आकार सिमट कर 1-10 नैनोमीटर तक हो जायेगा। कम्प्यूटर तथा अन्य इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों की



आने वाले समय में सिलिकॉन के स्थान पर ग्रेफीन की कम्प्यूटर चिप का उपयोग किया जायेगा। इससे उनका आकार और अधिक छोटा होगा तथा क्षमता कई गुना अधिक बढ़ जायेगी। ग्रेफीन में इलेक्ट्रॉन की गति सिलिकॉन की तुलना में 100-1000 गुना ज्यादा होती है। ग्रेफीन से निर्मित ट्रांजिस्टर उच्च तापमान पर भी तीव्र गति से कार्य करते हैं।

क्षमता में वृद्धि अधिक से अधिक ट्रांजिस्टर को एकीकृत परिपथ (इंटीग्रेटेड सर्किट) में समाहित करके किया जाता है। वर्तमान में 200 से 300 नैनोमीटर आकार के ट्रांजिस्टरों का उपयोग परिपथों में किया जाता है। आने वाले समय में सिलिकॉन के स्थान पर ग्रेफीन की कम्प्यूटर चिप का उपयोग किया जायेगा। इससे उनका आकार और अधिक छोटा होगा तथा क्षमता कई गुना अधिक बढ़ जायेगी। ग्रेफीन में इलेक्ट्रॉन की गति सिलिकॉन की तुलना में 100-1000 गुना ज्यादा होती है। ग्रेफीन से निर्मित ट्रांजिस्टर उच्च तापमान पर भी तीव्र गति से कार्य करते हैं। चूंकि ग्रेफीन की संरचना द्विआयामी होती है, इसलिए सिलिकॉन की तुलना में इससे कहीं अधिक सूक्ष्म चिप तैयार करना संभव है। सौर बैटरियों, लाइट पैनलों तथा टचस्क्रीन के लिए ग्रेफीन ज्यादा युक्तिसंगत होगा। उपग्रहों, कारों तथा हवाई जहाजों में भी कंपोजिट मैटीरियल के तौर पर ग्रेफीन का उपयोग हो सकेगा। इस प्रकार कहा जा सकता है कि नैनो इलेक्ट्रॉनिक्स के क्षेत्र का दायरा दिन-प्रतिदिन बढ़ता जा रहा है। वर्तमान में इस तकनीकी का उपयोग करके तरह-तरह के इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों का विकास किया जा रहा है।

कार्बन नैनोट्यूब

कार्बन नैनोट्यूब की संरचना बेलनाकार होती है। यह कार्बन का एक अपररूप है। इस आश्चर्यजनक संरचना के कार्बन नैनोट्यूब के अन्दर कई प्रकार के आकर्षक इलेक्ट्रॉनिक, चुंबकीय तथा यांत्रिक गुण होते हैं। कार्बन नैनोट्यूब, स्टील से लगभग 100 गुना ज्यादा मजबूत होते हैं। इनकी अलग-अलग लम्बाई, मोटाई तथा परतों की संख्या की अनेक संरचनाएँ होती हैं। कार्बन नैनोट्यूब फुलरीन संरचनात्मक परिवार का सदस्य है जिसमें गोलाकार 'बकीबॉल' भी शामिल है। एक नैनोट्यूब के छोर को बकीबॉल संरचना के एक गोलाकार के साथ ढका जा सकता है। उनका नाम उनके आकार से लिया गया है। चूंकि एक नैनोट्यूब का व्यास कुछ नैनोमीटर के क्रम में (एक मानव केश की मोटाई का लगभग 1/50,000 वाँ हिस्सा) होता है, जबकि लंबाई में वह कई मिलीमीटर हो सकता है। नैनोट्यूब

को एकल-दीवार नैनोट्यूब (Single Walled Carbon Nanotubes (SWNTs)) और बहु-दीवार नैनोट्यूब (Multi-walled carbon nanotubes (MWNTs)) के रूप में वर्गीकृत किया जाता है। एकल-दीवार नैनोट्यूब, कार्बन नैनोट्यूब के एक महत्वपूर्ण प्रकार हैं क्योंकि ये ऐसा विद्युत गुण प्रदर्शित करते हैं जो बहु-दीवार कार्बन नैनोट्यूब में नहीं पाया जाता है। अधिकांश एकल-दीवार नैनोट्यूब का व्यास करीब एक नैनोमीटर होता है, वही ट्यूब की लंबाई कई लाख गुना तक हो सकती है। एकल-दीवार नैनोट्यूब, सूक्ष्म इलेक्ट्रॉनिक्स के लिए सबसे अधिक उपयुक्त हैं, इसका सबसे अधिक उपयोग बिजली का तार तैयार करने में होता है। बहु-दीवार नैनोट्यूब ग्रेफाइट के कई घुमावदार परतों से मिलकर बने होते हैं। इसका वर्णन करने के लिए दो मॉडलों का वर्णन किया जाता है। पहला रसियन डोल मॉडल, जिसमें ग्रेफाइट की चादरें संघनित सिलिंडरों के रूप में होती हैं तथा दूसरा पार्चमेंट मॉडल, जिसमें ग्रेफाइट की एक चादर अपने आप में पार्चमेंट के चिट्टे या एक गोलाकार लपेटे अखबार की तरह धूमी हुई होती है। बहु-दीवार नैनोट्यूब में आंतरिक परतों के बीच की दूरी, ग्रेफाइट में ग्रेफीन परतों के बीच की दूरी (लगभग 3.3Å) के आसपास होती है।

नैनोप्रकाशिकी

नैनोप्रकाशिकी, प्रकाशिकी की एक शाखा है जिसके अन्तर्गत नैनोमीटर आकार की वस्तुओं के प्रकाश के साथ व्यवहार का अध्ययन किया जाता है। यह नैनो विज्ञान तथा नैनो प्रौद्योगिकी से प्रेरित एक तेजी से उभरता हुआ क्षेत्र है। सामान्य प्रकाशिक उपकरणों जैसे कि लेंस तथा सूक्ष्मदर्शी की सहायता से विवर्तन की सीमा के कारण प्रकाश को सामान्यतया नैनोमीटर आकार की वस्तु पर फोकस नहीं कराया जा सकता है। फिर भी, दूसरी तकनीकों का उपयोग करके प्रकाश को नैनो आकार की वस्तुओं पर अधिसंकुचित करना संभव है। इस तकनीकी का उपयोग स्कैनिंग नीअर-फील्ड (नजदीकी सतह) माइक्रोस्कोपी, फोटोऐसिस्टेड स्कैनिंग (क्रमवीक्षण) टनलिंग माइक्रोस्कोपी तथा सतह प्लाज्मॉन प्रकाशिकी में प्रमुखता से किया जाता है।

नैनो कण

नैनोभौतिकी के अन्तर्गत नैनो कणों के विषय में भी अध्ययन एवं शोध-कार्य किया जाता है। नैनो कणों का आकार एक नैनोमीटर से सौ नैनोमीटर तक होता है। नैनो कणों पर किये जा रहे वैज्ञानिक अनुसंधानों से पता चला है कि चिकित्सा, प्रकाशिकी तथा इलेक्ट्रॉनिक्स में

इनके उपयोग की अपार संभावनाएं हैं। नैनो कण स्वतंत्र अवस्था में तेजी से गतिमान होते हैं तथा इनका विशिष्ट पृष्ठीय क्षेत्रफल अधिक होता है। नैनो कणों के पास उनके सूक्ष्म आकार के कारण अनेक अद्वितीय गुण पाये जाते हैं। इनके इन्ही विशिष्ट गुणों का उपयोग करके आधुनिक टायर का निर्माण किया जाता है, जिसका उपयोग वाहनों में व्यापक स्तर पर हो रहा है। आधुनिक टायर रबर (प्रत्यास्थ बहुलक) तथा अकार्बनिक पूरकों (सिलिका नैनो कण अथवा कार्बन ब्लैक) को मिलाकर किया जाता है। नैनो कणों का सबसे महत्वपूर्ण उदाहरण अर्द्धचालक नैनोकण क्वाण्टम डॉट है। यह अत्यधिक छोटा कण है जिसके प्रकाशिक तथा वैद्युत गुण बड़े कणों से भिन्न होते हैं। क्वाण्टम डॉट बड़े तथा असतत् अणुओं के बीच मध्यवर्ती का गुण प्रदर्शित करते हैं। ट्यून करने योग्य गुणधर्म प्रदर्शित करने के कारण क्वाण्टम डॉट का विभिन्न उपकरणों जैसे कि ट्रांजिस्टर, सोलर सेल, एलईडी, डायोड लेजर, क्वाण्टम कम्प्यूटिंग तथा मेडिकल इमेजिंग में बड़े पैमाने पर उपयोग होता है।

नैनो यांत्रिकी

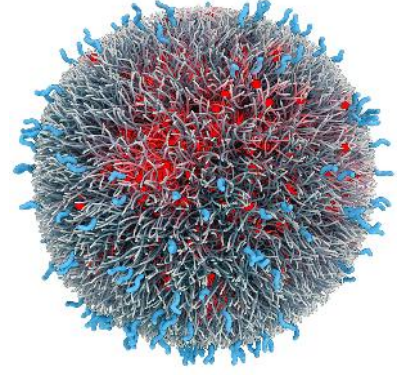
नैनो यांत्रिकी, नैनो भौतिकी की वह शाखा है जिसके अन्तर्गत नैनो पैमाने की वस्तुओं के यांत्रिक गुणों (प्रत्यास्थता, ऊष्मा तथा गति आदि) का अध्ययन किया जाता है। नैनो यांत्रिकी के द्वारा नैनो प्रौद्योगिकी को वैज्ञानिक आधार प्रदान किया जाता है। आधारभूत विज्ञान के रूप में नैनो यांत्रिकी कुछ अनुभवसिद्ध प्रयोगों पर आधारित है, दूसरे शब्दों में कहा जाय, तो नैनो यांत्रिकी अनेक तत्वों के औद्योगिक तथा व्यावसायिक उपयोग के लिए उनके यांत्रिक गुणों का तकनीकी अध्ययन है। यह यांत्रिक इंजन तथा इलेक्ट्रॉनिक मोटर का आकार तथा भार कम करने में मदद करती है। नैनोयांत्रिकी आधुनिक यांत्रिकी तथा अत्यधिक छोटे यांत्रिक उपकरणों के विकास को प्रोत्साहित करती है। आजकल सड़कों पर दौड़ने वाली नैनो कार इसका सबसे अच्छा उदाहरण है। नैनोयांत्रिक सिस्टम को कम बजट में नहीं चलाया जा सकता है। इसके लिए अधिक बजट की आवश्यकता होती है। नैनोयांत्रिक तकनीक पर आधारित मशीनें एवं उपकरण साधारण यांत्रिक मशीनों तथा उपकरणों की तुलना में कई गुना महंगे होते हैं। नैनो कणों और रासायनिक क्रियाओं के साथ ज्यादा उद्वासन स्वास्थ्य के लिए हानिकारक होता है।

मेम्ब्रेन नैनो यांत्रिकी का प्रचलन तेजी से बढ़ रहा है। नैनोमेम्ब्रेन को सुविधा अनुसार किसी भी आकार में परिवर्तित किया जा सकता है, इसीलिए विभिन्न आधुनिक यांत्रिक प्रणाली में नैनोमेम्ब्रेन का उपयोग हो रहा है। आजकल वॉटर प्यूरीफायर में भी नैनोमेम्ब्रेन का उपयोग किया जाता है। इन मेम्ब्रेन्स की सहायता से जल में उपस्थित अतिसूक्ष्म हानिकारक कणों को भी जल से पृथक किया जा सकता है।

नैनो चुम्बकत्व

नैनोचुम्बकत्व, नैनोभौतिकी का एक महत्वपूर्ण क्षेत्र है। इसमें नैनो आकार की वस्तुओं के चुम्बकीय गुणों का अध्ययन किया जाता है। नैनोचुम्बक के आकार के कारण बहुत से वैद्युत गुणों में वृद्धि होती है जैसे कि चालन में इलेक्ट्रॉनों का विश्राम काल बढ़ जाता है जो नैनो आकार के स्पिनट्रॉनिक उपकरणों के लिए अत्यधिक उपयोगी होता है। उच्च तापमान पर चुम्बकीकरण में ये अत्यधिक ऊष्मीय उतार-चढ़ाव से होकर गुजरते हैं जो नैनो चुम्बक के परमानेन्ट इन्फार्मेशन स्टोरेज में उपयोग के लिए एक स्तर निर्धारित करता है। इस प्रकार नैनो चुम्बक इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों के लिए अत्यधिक उपयोगी है।

उपरोक्त चर्चा से यह स्पष्ट है कि नैनोभौतिकी आज एक तेजी से उभरता हुआ अनुशीलन क्षेत्र है। इस विधा में अनुसंधान तथा विकास की अपार संभावनाएं निहित हैं। स्वास्थ्य, चिकित्सा, रक्षा अनुसंधान, सौर ऊर्जा तथा इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों में नैनोभौतिकी से प्रेरित नैनोतकनीक का उपयोग निरंतर बढ़ रहा है। इसलिए प्रायः कहा जाता है कि आने वाला तकनीकी युग नैनोतकनीकी का होगा तथा इसमें नैनोभौतिकी की बड़ी ही अहम भूमिका होगी।



नैनो कणों का सबसे महत्वपूर्ण उदाहरण अर्द्धचालक नैनोकण क्वाण्टम डॉट है। यह अत्यधिक छोटा कण है जिसके प्रकाशिक तथा वैद्युत गुण बड़े कणों से भिन्न होते हैं। क्वाण्टम डॉट बड़े तथा असतत् अणुओं के बीच मध्यवर्ती का गुण प्रदर्शित करते हैं। ट्यून करने योग्य गुणधर्म प्रदर्शित करने के कारण क्वाण्टम डॉट का विभिन्न उपकरणों जैसे कि ट्रांजिस्टर, सोलर सेल, एलईडी, डायोड लेजर, क्वाण्टम कम्प्यूटिंग तथा मेडिकल इमेजिंग में बड़े पैमाने पर उपयोग होता है।