

अद्भुत काजळजाळें

पाकळीहून तलम, पिसाहून हलकं, पोलादाहून कणखर आणि पाण्याहून मुबलक असं काय असतं?

कार्बन!

कार्बन म्हटलं की डोळ्यांसमोर काळा कोळसा येतो. पण समस्त विश्वात आणि आपल्या शरिरातही मोठ्या प्रमाणात असलेला कार्बन बहुरूपी आहे. त्याची वेगवेगळी रूपं जगात जिथे-तिथे आढळतात. ती रूपं कार्बनच्या अणूंच्या एकमेकांशी असलेल्या नात्यावर अवलंबून असतात. कमीत कमी अणु-बंधनंवाला कोळसा कणकेच्या मुटक्यांसारखा आकारहीन असतो तर ज्याचा प्रत्येक अणू चारी बाजूंनी घट्ट बंधनात अडकलेला असतो तो हिरा गव्हाच्या साचेबंद दाण्यासारखा आखीव-रेखीव असतो. ग्राफाईट खाऱ्या बिस्किटासारखं अनेक पापुद्र्यांच्या चळतींनी बनलेलं असतं. त्याच्या प्रत्येक पापुद्र्यातले अणू फक्त त्याच पातळीवरच्या आजूबाजूच्या अणूंशी बांधलेले असतात. पण त्यांचा त्यांच्या वरच्या-खालच्या पापुद्र्यांतल्या अणूंशी कसलाही बंध नसतो.

अशा ग्राफाईटमधल्या पापुद्र्यांबद्दल शास्त्रज्ञांना १९४७ सालापासून बरंच कुतूहल होतं. पण असे पापुद्रे सुटे झाले की ते लगेचच नाश पावतील अशी अनेक शास्त्रज्ञांची २००३सालापर्यंत ठाम समजूत होती.

शिसपेन्सिलीतल्या ग्राफाईटने पांढऱ्यावर 'रेखले मसीचे काळे' की असाच एक पापुद्रा तिथे बनतो. त्याला फक्त लांबी-रुंदीच असते; जाडी नसते. २००४ साली मॅचेस्टर विद्यापिठाच्या गाईम आणि नोव्हॉसेलॉव्ह या शास्त्रज्ञांना तसा बिनजाडीचा किंवा द्विमिती(2D) पापुद्रा चिकटपट्टीने अलगद उचलून ग्राफाईटच्या ठोकळ्यापासून वेगळा करण्यात यश आलं. तो पापुद्रा म्हणजे कार्बनच्या सलग अणूंचा एकेरी थर होता. त्या थरात अणूंच्या बनलेल्या षटकोनांचं जाळं होतं. अद्ययावत सूक्ष्मदर्शकांतून का होईना,

चक्क हाताळता, गुंडाळता येणाऱ्या त्या एकेरी अणूंच्या अद्भुत नॅनो-जाळीला त्यांनी नाव दिलं – ग्राफीन!

इतका पातळ असल्यामुळे ग्राफीन अतिशय हलका असतो. तरीही तो पोलादाच्या तीनशेपट कणखर आणि अत्यंत चिवट असतो! त्याच्या बनलेल्या लवचिक तारा त्यांच्या लांबीच्या ८०% अधिक ताणल्या जाऊ शकतात. डॉ. गाईमच्या शब्दांत सांगायचं तर 'एक चौरस मीटर ग्राफीनच्या झोळीचं वजन मांजराच्या मिशीहून कमी भरेल पण तिच्यात झेललेल्या मांजराच्या उड्यांनी ती फाटणार नाही!' ग्राफीनकडून अशा असामान्य गुणधर्मांची अपेक्षा असल्यामुळे त्याच्यावर संशोधन करायला अॅपल, सॅमसंग, आयबीएम यांसारख्या कंपन्या आणि जगातली मान्यवर विद्यापीठं यांच्यात चुरस लागली आहे. त्याच्यासाठी पेटंट्स मिळवायला गेल्या नऊ वर्षांत सुमारे दहाहजार अर्ज दाखल झाले. भारतरत्न डॉ.सी एन आर रावदेखील ग्राफीनवर काम करताहेत. त्या साऱ्यांना अपेक्षित यश मिळालं तर विज्ञान आणि समाज यांचा चेहरामोहराच बदलून जाईल! असं बहुगुणी 'मसीचं जाळं' मिळवल्याबद्दल गाईम आणि नोव्हॉसेलोव्ह यांना २०१०सालचं नोबेल पारितोषिक मिळालं!

कसा उपयोग होऊ शकतो ग्राफीनचा?

ग्राफीनच्या जाळ्याच्या षट्कोनांच्या जुळलेल्या बाजूंच्या लांबलचक नागमोडी वाटा बनतात. इलेक्ट्रॉन्स त्या वाटांवरून बेलगाम घोड्यांसारखे सेकंदाला हजार किलोमीटरच्या वेगाने धावतात. विद्युत्प्रवाह वाहून न्यायचा ग्राफीनचा हा वेग तांब्या-चांदीपेक्षा कितीतरी अधिक आहे. अशा ग्राफीनच्या तारा अतिशय हलक्या, लवचिक आणि तरीही कणखर असतात. सततच्या विद्युद्-वहनाने तांब्याची झीज होते. तशी ग्राफीनची होत नाही. एका आधुनिक सूक्ष्मदर्शकाच्या साह्याने, तापल्या सुईच्या सूक्ष्म अग्राने ग्राफीन ऑक्सaidडच्या चिपमध्ये रेघ काढली तर तिथला ऑक्सिजन निघून जातो आणि ग्राफीनची अतिसूक्ष्म सेमिकंडक्टर सर्किट्स् रेखली जातात. अशा सर्किट्सनी संगणकी जुळणीचा आकार अधिकच लहान होईल. दुसऱ्या पध्दतीने ग्राफीनच्या रिबिनींची बनलेली

शाई वापरून अशी सर्किट्स साध्या वर्तमानपत्राच्या कागदावरही रेखता येतील. सध्या तळहातावर बसणारे संगणक त्या सर्किट्समुळे नखाहूनही लहान होऊ शकतील; त्यांची घडीही करता येईल! मग त्या 'घडीच्या डावा'त मोबाईल आणि संगणक यांची नवीच चुरस सुरु होईल!

एरवी कार्यक्षम संगणकांचा आकार कमी केला की ते प्रमाणाबाहेर तापतात आणि त्या प्रमाणात त्यांची क्षमता घटते. ग्राफीनमधून उष्णतेचं वहनही विजेइतकंच झपाट्याने होतं. उष्णता पसरून तिचा निचरा झाला की तापमान आपोआपच आटोक्यात राहिल.

पण संगणकाच्या डिजिटल भाषेला एकाबरोबर शून्याचीही सांगड घालावी लागते. त्या शून्यासाठी मधूनमधून प्रवाह खंडित व्हावा लागतो. ग्राफीनमधला वेगवान प्रवाह असा अधेमधे थांबवणं कठीण असतं. त्या इलेक्ट्रॉन्सना अडवायला ग्राफीनमध्ये इतर मूलतत्वांची भेसळ करून(डोपिंग) ब्रेक लावावे लागतील. ते जमलं की संगणकी क्षेत्रात क्रांती घडून येईल!

ग्राफीनचे विद्युद्वाहक, उष्णतावाहक, कणखर, चिवट, लवचिक आणि हलके थर प्लास्टिकमध्ये सँडविच करून विमानं, अंतराळयानं यांच्या बांधणीत वापरले तर त्यांच्या उड्डाणांच्या गणितांत आणि सुरक्षिततेत आमूलाग्र फरक पडेल.

ग्राफीन गंजत नाही. मोटारींच्या रंगावर त्याचा पारदर्शक थर दिला की तो रंग टिकेलही आणि गाडी चोरीला जाऊ नये म्हणून अलार्मसाठीही त्या विद्युद्वाहक रंगातली अंगचीच सर्किट्स वापरता येतील!

असा विद्युद्वाहक, उष्णतावाहक ग्राफीन पारदर्शकही असतो. अलीकडे संगणकांचे, स्मार्ट-मोबाईल्सचे पडदे स्पर्शाचे हुकूम झेलतात. त्यांच्यातल्या दोन पारदर्शक थरांमध्ये विद्युद्वाहक तारा सँडविच केलेल्या असतात. ग्राफीनच्या वापराने तशा सँडविचची गरजच संपेल.

ग्राफीन पारदर्शक असला तरी त्याच्यावर पडलेल्या प्रकाशातला अडीच टक्के प्रकाश तो त्याच्या प्रत्येक जाळीदार थरामध्ये शोषून घेतो. असे दोन-तीन थर एकत्र घेतले तर तेवढी जास्त सौरशक्ती शोषली जाईल. त्या शक्तीने ग्राफीनच्या इलेक्ट्रॉन्सना टाच मारली जाईल; सौरशक्तीचं विद्युत्-शक्तीत परिवर्तन होईल आणि ती ऊर्जा साठवताही येईल. अमृता-स्मार्ट ही भारतीय बनावटीची, कौलावर बसणारी बॅटरी त्याच तत्वावर आधारलेली आहे. ती चार तास उन्हात ठेवली की तिच्यावर लॅपटॉप दोन तास चालू शकतो. वापर झाला नाही तर ती ऊर्जा सात दिवसपर्यंत सहज टिकते.

सुरुवातीला ग्राफीन बनवायची पध्दत प्रयोगशाळेतल्या चिकटपट्टीत अडकलेली होती. आता ती त्यातून मोकळी झाली आहे. मोठ्या प्रमाणात ग्राफीन बनवायच्या काही प्राथमिक का होईना, पध्दती जमल्या आहेत. आता ग्राफीनचे वेगळे उपयोगही करून बघता येतील.

मॅचेस्टरच्या राहुल नायर या शास्त्रज्ञाने तसाच एक अभिनव प्रयोग केला. त्यावरून सिध्द झालं की ग्राफीनचं जाळं मजबूत, लवचिक, पारदर्शक तर असतंच पण त्याला 'नीर-क्षार-विवेक'ही असतो! हेलियमसारख्या वायूचे चिमुकले रेणूही त्या जाळ्यात अडकून पडतात. पाण्यात विरघळलेल्या मिठालाही त्याच्यातून निसटता येत नाही. पण पाण्याचे रेणू मात्र त्याच्यातून सहज आरपार जातात. पाण्याचं डीसेलिनेशन करायला त्या जाळ्याइतका सोपा आणि हमखास उपाय दुसरा कुठला मिळणार?

याच गुणाचा आणखीही एक फायदा आहे. पर्यावरण दूषित करणारे काही वायू त्या जाळ्यात अडकले की त्याच्या नागमोडी कार्बन-तारांमधून धावणारे इलेक्ट्रॉन्स अडखळतात. त्या जाळ्याची विद्युद्वहनाची गती मंदावते. ती मंदावलेली गती सहज मापता येते. ग्राफीनचा हा गुणधर्म पर्यावरणातले किंवा पाण्यातले घातक वायू जोखण्यासाठी वापरता येईल.

कार्बनने शरिरात विपरीत परिणाम होत नाहीत. त्यामुळे ग्राफीनच्या टिकाऊ आणि हलक्या विद्युद्वाहक तारांना कृत्रिम हातापायांच्या हालचालींसाठी जोडायच्या यंत्रांत भरपूर वाव आहे.

हारवर्ड विद्यापीठातले संशोधक ग्राफीन-जाळीचा वापर करून डीएनएमधल्या घटकांचं विश्लेषण करणार आहेत. त्या घटकांतल्या दोषांमध्ये अनुवांशिक आजार किंवा कॅन्सरसारखे रोग यांचं मूळ असतं. तसे दोष हुडकून रोगांचं निदान लवकर करणं या अभ्यासामुळे सोपं होईल.

कॅन्सरच्या पेशींना पोषणासाठी ग्लूकोज लागतं. ग्लूकोजने माखलेल्या आणि टेहळ्या किरणोत्सारी कणांनी नटलेल्या ग्राफीनच्या सुरळ्या म्हणजेच कार्बन नॅनोट्यूब्स कॅन्सरच्या पेशींच्या आवरणांतून सहज आत शिरतात. मग CT किंवा PET scan करून त्या किरणोत्सारी कणांच्या मदतीने कॅन्सरचा ठावठिकाणा समजून घेता येईल.

अशाच नॅनोट्यूब्सवर औषधांचे कण बसवून दिले की ते बिनचूक कॅन्सरपाशी पोचून नेमका इलाज करतील. नॅनोट्यूब्स ट्यूमरमध्ये घुसू दिल्या आणि त्यांच्यावर near-infrared किरणांचा किंवा रेडियोवेव्हजचा मारा केला की त्यांचं तापमान प्रचंड वाढतं. अशा उपायाने ट्यूमर जाळून टाकता येईल. अशा बऱ्याच कल्पित्या अमेरिकेतल्या शास्त्रज्ञांना सुचल्या आहेत. त्या प्रत्यक्षात कशा उतरतील ते भविष्यकाळच सांगू शकेल.

ग्राफीनचे व्यावहारिक उपयोग तर आहेतच पण शास्त्रज्ञांना त्याच्या गुणधर्मांवरून क्वांटम हॉल इफेक्टसारख्या अनेक भौतिक तत्वांचा अधिक सखोल अभ्यासही करता येईल.

असा हा बहुगुणी पदार्थ अद्याप आखूडशिंंगी मात्र झालेला नाही. त्याची भरमसाठ किंमत हेच त्याचं शिंंग आहे. त्याच्या तुलनेत ग्राफीन ऑक्साईड स्वस्त असतं(९९यूरोंना पाव किलो! स्वस्त!). सर्किट्स, रंग, पाण्यासाठीच्या गाळण्या बनवायला ग्राफीन त्या ऑक्साईडमधूनच मिळवतात. पण बॅटरीज, टच-स्क्रीन्स, सौरऊर्जेची तावदानं वगैरे बनवायला अतिशय शुध्द ग्राफीनची गरज असते आणि ते ऑक्साईडमधून मिळवता येत

नाही. रसायनांच्या वाफेतून शुध्द ग्राफीन मिळवायचे प्रयत्न चालू आहेत. ग्राफीनवर होऊ घातलेल्या संशोधनात या शुध्दीकरण-पध्दतीच्या अभ्यासाचा वाटा मोठा आहे. जसजसं इतर तंत्रज्ञान अधिक प्रगत होईल तसतशी ग्राफीन शुध्दीकरणाची अधिकाधिक चांगली पध्दत मिळेल आणि हा अडसर दूर होईल.

पण ग्राफीन वापरणाऱ्या वस्तू बाजारात येणं सुरू झालंच आहे. एका कंपनीने ग्राफीन वापरून शाई बनवली आहे. अमेरिकेच्या बाजारपेठेतल्या काही वस्तूंच्या वेष्टणात त्या शाईने सर्किट्स रेखली आहेत. ती डोळ्यांना दिसत नाहीत. पण कुणी त्या वस्तू चोरायचा प्रयत्न केला तर त्या दुकानांच्या सुरक्षाव्यवस्थेला इलेक्ट्रॉनिक संदेश पाठवायचं काम मात्र ती सर्किट्स बिनबोभाट करतात.

दुसऱ्या एका कंपनीने टेनिसच्या रॅकेटमध्ये ग्राफीन वापरलं आहे. त्यामुळे रॅकेट हलकी होते आणि खेळताना तिचं संतुलन अधिक चांगलं जमतं. त्या रॅकेटला चलती आल्यामुळे आता गोल्फ, स्की वगैरे खेळांच्या साहित्यातही ग्राफीनचा शिरकाव होईल.

न्यूयॉर्कच्या एका कंपनीने बनवलेले ग्राफीनचे पदर सिंगापूर आणि चीनमध्ये तयार होणाऱ्या मोबाईल फोन्सच्या टचस्क्रीन्समध्ये वापरणं सुरू झालं आहे.

यथावकाश ग्राफीनच्या साम्राज्याचा जम विज्ञानात बसेलच. पण द्विमिती किंवा चपट्या पदार्थाबद्दलचा शास्त्रज्ञांचा दृष्टिकोन बदलणं हा ग्राफीनचा सर्वात मोठा विजय आहे. आता तशा इतर पदार्थांवरही जोरात संशोधन चालू आहे. संगणकी भविष्य त्या द्विमिती नॅनोदयाच्या प्रकाशातच दिसणार आहे.

डॉ. उज्ज्वला दळवी
[-ujjwalahd9@gmail.com](mailto:ujjwalahd9@gmail.com)
(‘लोकप्रभा’ च्या सौजन्याने)