'दिल से'

अरस्तुवादियों के लिए भौतिकी

नीतीश सहगल

बच्चों के दिमाग़ खाली घड़े नहीं होते। वे कई रोचक, आश्चर्यजनक एवं गहरी जड़ें जमाए विचारों के साथ कक्षा में आते हैं जो समकालीन वैज्ञानिक सिद्धान्तों के संगत नहीं होते हैं। अध्यापक के लिए ज़रूरी होता है कि वह इस बात को पहचाने एवं उन विचारों में बदलाव की प्रक्रिया शुरू करे, क्योंकि ऐसे विचार सीखने में बाधा बन सकते हैं।

भौतिकी से हमारा सामना प्रतिदिन होता है, लेकिन प्राय: हम उन अन्तर्दृष्टियों को पहचान नहीं पाते जो दैनिक जीवन की विभिन्न परिघटनाओं की वैज्ञानिक व्याख्या करने वाले सिद्धान्तों के मूल में हैं। चूँकि इन्सान में हर चीज़ का कारण ढूँढ़ने की प्रवृत्ति होती है, इसलिए हम अपने आस-पास की दुनिया में होने वाली प्रत्येक घटना को समझने एवं उसके बारे में पूर्वानुमान लगाने के लिए कुछ सहज कार्य-कारण सिद्धान्त बना लेते हैं। सामान्यतया यह सहज सिद्धान्त स्थापित वैज्ञानिक सिद्धान्तों के साथ मेल नहीं खाते हैं और परिणामस्वरूप भौतिक परिघटनाओं के बारे में तमाम ग़लतफ़हमियों का जन्म होता है।

कक्षा-9 के 70 विद्यार्थियों (20 लड़के एवं 50 लड़कियों) में बल की अवधारणा के बारे में ऐसी ही एक ग़लतफ़हमी प्रक्षेप्य गति (projectile motion) पर चर्चा के दौरान देखने को मिली। ये विद्यार्थी बैरागढ़, चिचली, मध्य प्रदेश के एक सरकारी हाई स्कूल में पढ़ाई कर रहे थे।

गति के सहजबोध मॉडल्स को उभारना

विद्यार्थियों से यह पूर्वानुमान करने को कहा गया कि यदि किसी गेंद को एक निश्चित क्षैतिज वेग के साथ टेबल के किनारे की तरफ लुढ़का दिया जाए और टेबल से नीचे गिरने दिया जाए तो गेंद क्या मार्ग अपनाएगी (देखें **अवधारणा निर्माण : गुरुत्वाकर्षण के प्रभाव में गति**)। केवल दो विद्यार्थियों ने विकल्प II चुना, जबकि बाक़ी सब ने विकल्प I को चुना।

गति को लेकर उनके सिद्धान्तों को उभारने के प्रयास में उनको अपने विकल्प चयन के पीछे का कारण बताने को आमंत्रित किया गया। विकल्प I का चयन करने वाले विद्यार्थियों ने तर्क किया कि गेंद को धक्का देने के लिए लगाया गया बल गेंद में स्थानान्तरित हो जाएगा। परिणामस्वरूप गेंद तब तक उसी दिशा (सरल रेखा) में गति करती रहेगी, जब तक कि उस पर लगाया गया बल इतना कमज़ोर न पड़ जाए कि गेंद की गति पर कोई प्रभाव नहीं डाल पाए। इस क्षण, गेंद पर गुरुत्वाकर्षण बल लगना शुरू हो जाएगा और गेंद को नीचे खींचने लगेगा। तर्कसंगत प्रतीत हो रही यह व्याख्या नई नहीं है। यह गति के गतिबल (impetus) सिद्धान्त से काफ़ी मिलती-जुलती है (देखें **बॉक्स-1**)। इसके विपरीत विकल्प II का चयन करने वाले दो विद्यार्थियों ने कहा कि क्रिकेट के खेल में गेंद को कैच करने के लिए उन्हें जिस प्रकार अपनी स्थिति का निर्धारण करके खड़ा होना पड़ता है, उनका उत्तर उस अनुभव पर आधारित है।

मानसिक मॉडल्स की वैधता को चुनौती देने का एक

तरीक़ा कुछ प्रति-उदाहरण प्रस्तुत करके संज्ञानात्मक विसंगतियों को उभारने का है। इसलिए, दोनों समूहों के विद्यार्थियों को प्रोत्साहित किया गया कि अगली बार कक्षा में आने से पहले वे अपने जवाबों की जाँच करके आएँ। उनकी मौजूदा संज्ञानात्मक समझ में किसी भी प्रकार के बदलाव (चाहे वे बदलाव छोटे-मोटे ही हों) को जानने के लिए, उन्हें अपने उत्तर में संशोधन करने का मौक़ा दिया गया।

गति के सहजबोध मॉडल्स का परीक्षण

प्रयोग के बारे में चर्चा को जब अगली कक्षा में फिर से शुरू किया गया, तो दोनों समूह अब भी अपने पुराने जवाबों पर टिके रहे। हालाँकि प्रथम समूह ('दिल से' अरस्तुवादी) ने विकल्प I में थोड़ा-सा संशोधन करते हुए कहा कि टेबल के किनारे से नीचे गिरने पर गेंद के पथ का रेखीय भाग छोटा हो जाएगा (देखें **बॉक्स-2**)।

जिन विद्यार्थियों ने विकल्प I का चयन किया था, सम्भव है कि स्वयं प्रयोग करने पर उन्होंने देखा होगा कि धक्का देने के पश्चात गेंद क्षैतिज पथ का अनुसरण बहुत हद तक नहीं करती है। यह बात उनके द्वारा अपने सहजबोध मॉडल को पूर्णतया ख़ारिज करने की बजाय उसी को सुधारने के प्रयासों (जैसे अपने गड़बड़ प्रेक्षणों को समायोजित करना) में झलकती है। परिणामस्वरूप गति के बारे में उनके विचार गतिबल सिद्धान्त के काफ़ी क़रीब ही रहे एवं उसमें प्रक्षेप्य गति के अल्बर्ट ऑफ़ सैक्सोनी के मॉडल के कुछ तत्व परिलक्षित हुए।

विद्यार्थियों को उनके मानसिक मॉडल की वैधता पर सवाल उठाने के लिए प्रेरित करने

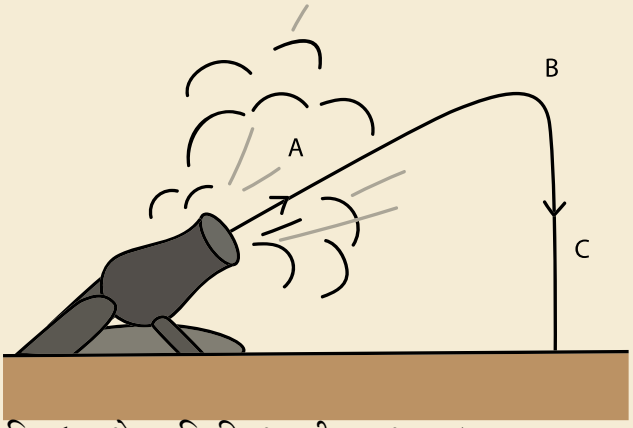
बॉक्स-1 : गति के सिद्धान्त - एक संक्षिप्त इतिहास

गति की सबसे पुरानी व्याख्याओं में से एक अरस्तु द्वारा दी गई थी। उनका मत था कि सभी वस्तुओं की प्राकृतिक अवस्था 'स्थिर-अवस्था' होती है, और प्रत्येक गति (गति की घटना) के पीछे एक 'कारण' अवश्य होता है।[1] उनका मत था कि यह बात तब भी सत्य होती है, जब गति का कारण स्पष्ट रूप से नज़र नहीं आ रहा होता है। उदाहरण के लिए, बाण से निकल जाने के पश्चात तीर की गति के बारे में उन्होंने बताया था कि जिस माध्यम (हवा) में तीर गति करता है, उसमें एक प्रेरक बल होता है जो उसे आगे की ओर धक्का देता है।

अरस्तुवादी अवधारणाओं को छठी शताब्दी में एलेक्ज़ेण्ड्रिया के दार्शनिक जोहान्स फिलोपोनस ने ख़ारिज कर दिया। फिलोपोनस ने दावा किया कि एक सक्रिय अभिकर्ता, हवा में फेंके गए किसी भी पिण्ड पर एक प्रेरक शक्ति आरोपित करता है। यह प्रेरक शक्ति गति को तब तक बनाए रखती है जब तक कि माध्यम के प्रतिरोध द्वारा वह पूर्णतया बिखर न जाए। 14वीं शताब्दी के एक फ्रांसीसी दार्शनिक ज़्यां बुरिडान ने इस प्रेरक शक्ति को 'गतिबल' नाम दिया।

इसके कुछ समय बाद, अल्बर्ट ऑफ़ सैक्सोनी (Albert of Saxony) ने गतिबल सिद्धान्त का प्रयोग करते हुए बताया कि क्षैतिज दिशा में फेंके गए प्रक्षेप्य की गति को तीन चरणों में समझा जा सकता है। पहले चरण में, प्रक्षेप्य को फेंकते समय उस पर आरोपित गतिबल गुरुत्वाकर्षण के प्रभाव को कम कर देता है और प्रक्षेप्य आगे बढ़ता है। दूसरे चरण में, वायु प्रतिरोध द्वारा गतिबल को कमज़ोर कर दिया जाता है; अतः इस चरण में प्रक्षेप्य की गति, गतिबल एवं गुरुत्वाकर्षण के आपसी सन्तुलन का परिणाम है। अन्तिम चरण में गतिबल पूरी तरह समाप्त हो जाता है, और प्रक्षेप्य गुरुत्वाकर्षण के प्रभाव में ऊर्ध्वाधर रूप से सीधे नीचे गिरता है (देखें **चित्र-1**)।[2]

अन्ततः 17वीं शताब्दी में न्यूटन ने गतिशील वस्तुओं के व्यवहार को तीन नियमों में समेटा। इनमें से प्रथम नियम के अनुसार – सभी वस्तुएँ, अपनी स्थिर अवस्था में या सीधी रेखा में गति की अवस्था तब तक बनी रहती हैं जब तक कि कोई बाह्य बल उन्हें अपनी अवस्था बदलने को विवश न करे। इस नियम ने, किसी सक्रिय अभिकर्ता से अलग हो जाने के बाद किसी पिण्ड की गति से सम्बन्धित कुछ महत्त्वपूर्ण प्रश्नों को समझने में मदद की। उदाहरण के लिए सक्रिय अभिकर्ता से अलग होने के बाद भी पिण्ड अपनी गति लगातार जारी क्यों रखते हैं? यह नियम कहता है कि वे बस ऐसा करते हैं, यह उनका स्वभाव है। न्यूटन ने इस स्वभाव को जड़त्व कहा, लेकिन यह नहीं समझा पाए कि वस्तुएँ ऐसा व्यवहार क्यों करती हैं। अतः न्यूटन का 'जड़त्व', अरस्तु द्वारा सुझाई गई 'प्राकृतिक गति' जैसा ही है, जो वस्तु को उसकी प्राकृतिक स्थिति की ओर ले जाती है और इसकी किसी व्याख्या की आवश्यकता नहीं है।



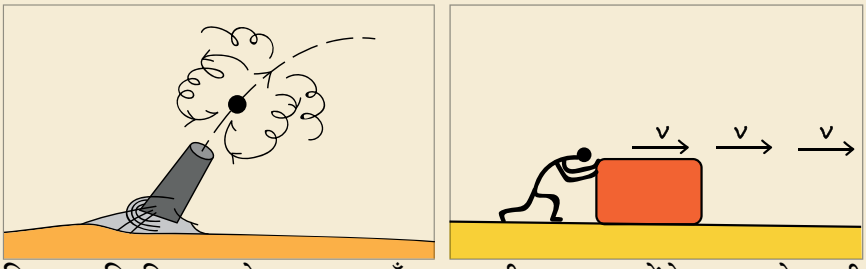
चित्र-1 : प्रक्षेप्य गति की मध्ययुगीन अवधारणा।

Credits: Nitish Sehgal. License: CC-BY-NC.

बॉक्स-2 : दिल से अरस्तुवादी किन्हें कहा जाता है?

एक बार जब कोई बच्ची यह अनुभव कर लेती है कि किसी वस्तु को खींचने या धक्का देने के लिए हमें एक बल लगाना पड़ता है (देखें **चित्र-2**), तब वह इस परिकल्पना पर पहुँच सकती है कि गति के लिए बल आवश्यक है।

इस परिकल्पना में उसका विश्वास और ज़्यादा मज़बूत होता जाएगा जब वह हरेक मामले में देखेगी कि किसी 'प्रत्यक्ष' बाह्य अभिकर्ता द्वारा आरोपित बल के प्रभाव में कोई वस्तु गति करती है। क्योंकि इस परिकल्पना का परीक्षण हमारे दैनिक जीवन में अनेक बार होता है और यह सुदृढ़ पाई जाती है, इसलिए समय के साथ यह और अधिक दृढ़ होती जाती है और सिद्धान्त के स्तर पर पहुँच सकती है।[3] यह देखना काफ़ी दिलचस्प है कि यह लोक-सिद्धान्त अरस्तु की धारणा (गति के लिए बल अनिवार्य है) से काफ़ी मिलता-जुलता है।



चित्र-2 : गति की सहज लोक अवधारणाएँ, अरस्तुवादी अवधारणाओं के समरूप हो सकती हैं : (क) बहती हुई हवा का एक झपट्टा तोप के गोले को गतिमान बनाए रखता है। (ख) गति को बनाए रखने के लिए एक धक्के की आवश्यकता होती है।

Credits: Nitish Sehgal. License: CC-BY-NC.

जब बच्ची स्कूल में भौतिकी के पाठ्यक्रम में न्यूटन के गति के नियमों के सम्पर्क में आती है, तब लोक-सिद्धान्त में यह विश्वास दैनिक जीवन की घटनाओं को न्यूटन के नियमों के तहत समझ पाने में बाधा डालता है। दरअसल, न्यूटन का गति का प्रथम नियम अकसर सहजबोध के विपरीत प्रतीत होता है क्योंकि हम दैनिक जीवन में कभी भी ऐसे निकाय के सम्पर्क में नहीं आते जो बलों से पूरी तरह मुक्त हो। जब किसी बाह्य अभिकर्ता की अनुपस्थिति, या बगैर छुए बल के प्रभाव में गति करते हुए किसी पिण्ड के पथ का स्वरूप बच्चों से पूछा जाए तो यह बात उजागर हो सकती है।

यहाँ बच्ची दोहरे जीवन में प्रवेश कर सकती है। हो सकता है कि वह कक्षा की चर्चाओं एवं परीक्षाओं में तो न्यूटन के प्रथम नियम के अनुसार गति की ठीक-ठीक व्याख्या करेगी, लेकिन व्यावहारिक जीवन में सहजबोध अरस्तुवादी लोक सिद्धान्तों का अनुसरण करने की प्रवृत्ति दर्शाएगी। इस दोहरी ज़िन्दगी को 'closeted' Aristotelians (यानी 'दिल से' अरस्तुवादी) जुमले में व्यक्त किया गया है।

के लिए, कक्षा में ही प्रयोग करके देखने के लिए कहा गया। इसने प्रयोग की विधि के बारे में चर्चा छेड़ दी – हम बिन्दु ख तक गेंद के पथ (I या II) का निर्धारण किस प्रकार करेंगे? एक विद्यार्थी ने वीडियो बनाने का सुझाव दिया, क्योंकि हो सकता है कि गेंद के वेग के कारण नंगी आँखों से उसके पथ का सही-सही अन्दाज़ा न लगे। हालाँकि वह शब्दों में स्पष्ट रूप से नहीं बता पाया कि वीडियो के साथ क्या किया जाएगा, लेकिन अन्य विद्यार्थी इस विधि के साथ सहमत हो गए।

अगली कक्षा से पहले शिक्षक ने अलग-अलग क्षैतिज वेग के साथ टेबल के एक किनारे से नीचे गिरती हुई गेंद के कई वीडियो बनाए। इन वीडियो को अपेक्षाकृत उच्च फ्रेम दर (यानि स्लो मोशन में) पर बनाया गया ताकि पथ को आसानी से देखा जा सके। जब इन वीडियो को ब्लैकबोर्ड पर दिखाया गया, तो विद्यार्थियों ने तर्क किया कि यदि गेंद इतनी धीमी गति (जैसा कि स्लो मोशन में प्रतीत हो रहा था) से चलेगी तो किनारा आते ही सीधे ज़मीन पर गिर जाएगी, न कि क्षैतिज दिशा में आगे बढ़ेगी। वीडियो को स्लो मोशन में बनाने की बात बार-बार बताने पर भी उनके विचारों में कोई बदलाव नहीं आया। इस समस्या का समाधान करने के लिए उनको प्रेरित किया गया कि वे अपने वीडियो खुद शूट करके पथ का अवलोकन करें और समझने की कोशिश करें कि स्लो मोशन वीडियो वास्तविक-समय में हो रही चीज़ों को किस प्रकार दिखाता है।

विद्यार्थियों ने जब वीडियो रिकॉर्ड कर लिए, तो शिक्षक ने ब्लैकबोर्ड पर दिखाया। गेंद की बदलती स्थितियों को देखकर उसके पथ का स्वरूप जानने की कोशिश की गई। एक वीडियो में गेंद को ज़मीन पर गिरने में लगभग 400 मिलीसेकंड का समय लगा। गेंद का ऊर्ध्वाधर वेग नगण्य होने के कारण, मेज़ छोड़ने के बाद शुरू के कुछ मिलीसेकंड में गेंद का कुछ ख़ास ऊर्ध्वाधर विस्थापन नहीं देखा गया। विद्यार्थियों ने इसको इस प्रकार समझा कि गेंद कुछ समय के लिए एकदम सीधी रेखा में आगे गई, हालाँकि उनके मूल पूर्वानुमान की तुलना में बहुत कम समय के लिए ही ऐसा हुआ। इससे लगता है कि जब उनके सामने वास्तविक परिघटनाएँ इस तरह प्रस्तुत की जाएँ जिनमें जानकारी अथवा प्रमाण उनके सहजबोध सिद्धान्तों के साथ असंगत हों, तब वे प्रस्तुतीकरण के केवल उन अंशों पर ध्यान देते हैं जो उनके मूल सिद्धान्त से मेल खाते हैं। इस प्रवृति को दो तथ्यों से समझा जा सकता है – एक, हम संज्ञानात्मक रूप से कंजूस हैं; दूसरा, नई जानकारी के प्रसंस्करण की तुलना में, परिचित जानकारी के प्रसंस्करण में कम संज्ञानात्मक श्रम लगता है।

एक बार जब यह स्थापित हो गया कि गेंद का पथ वक्राकार था, कुछ विद्यार्थियों ने प्रयोग के बारे में कुछ सवाल उठाए। उन्होंने तर्क किया कि चूँकि गेंद गोल थी, इसलिए उसने वक्राकार पथ अपनाया। एक घनाकार वस्तु का पथ वैसा ही होता, जैसा विकल्प I में वर्णित है; कोई शॉर्पनर, जिसके किनारे गोल एवं घनाकार दोनों होते हैं, विकल्प II में वर्णित पथ का अनुसरण करेगा; और कोई अनियमित वस्तु, अनियमित पथ का अनुसरण करेगी। शिक्षक ने बच्चों से प्रत्येक वस्तु के साथ प्रयोग करने के लिए एवं स्लो मोशन वीडियो रिकॉर्ड करके अपने दावों का परीक्षण करने के लिए कहा। बच्चों को ये नए वीडियो बड़े परदे पर दिखाए गए, और वस्तुओं की गति का पथ पहचानने के लिए कहा गया। इस गतिविधि ने बिना किसी सन्देह के सिद्ध कर दिया कि वस्तुओं की आकृति का उनके पथ पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता है। अलबत्ता, टेबल से सम्पर्क छूटने के बाद वस्तुएँ कुछ देर सीधी रेखा में गमन

करती हैं – यह विश्वास उन विद्यार्थियों में अभी भी काफ़ी कुछ वैसा ही रहा जहाँ से उन्होंने शुरुआत की थी।

शिक्षण सम्बन्धी विचार

कार्यक्रम के स्तर पर इस मुद्दे पर चर्चा करना उपयोगी हो सकता है कि गति सम्बन्धी न्यूटनीय विचारों का परिचय हाई स्कूल में पहुँचकर ही क्यों करवाया जाता है। पाठ्यक्रम में गति का ज़िक्र आने से पहले विद्यार्थियों को उनकी खुद की धारणाएँ एवं सिद्धान्त बनाने के लिए इतना अधिक समय क्यों दिया जाता है? फिर, माध्यमिक एवं उच्च माध्यमिक कक्षाओं में 2-3 वर्षों के दौरान विद्यार्थियों से अपेक्षा की जाती है कि वे अपने पुराने विश्वासों को भूलकर पाठ्यपुस्तकों द्वारा प्रस्तुत 'सही ज्ञान' को स्वीकार कर लें। एक शोध के अनुसार, अपने मानसिक मॉडल्स में बदलाव करने की दृष्टि से छोटे बच्चों की तुलना में बड़े बच्चे कम लचीले हो सकते हैं (और कभी-कभी तो इसमें उनकी रूचि भी कम होती है), अतः बेहतर होगा कि हम उन्हें कम उम्र में ही सम्हाल लें (देखें **बॉक्स-3**)। अलबत्ता, ऐसा करने से छोटे बच्चों के सामने अवधारणाओं को स्पष्ट, सम्भाव्य एवं उपयोगी बनाने के प्रयासों में आने वाली मुश्किलें कम नहीं हो जाएँगी।

पाठ्यक्रम के स्तर पर, विज्ञान की पाठ्यपुस्तकों में यांत्रिकी के टॉपिक जिस क्रम में प्रस्तुत किए जाते है, उस क्रम पर फिर से विचार किया जाना भी उपयोगी हो सकता है (देखें **बॉक्स-4**)। विद्यार्थियों को शुद्धगतिकी (kinematics) में गति के बारे में पहले ही पढ़ा दिया जाता है, जबकि गति के कारणों (या बल किस प्रकार गति को प्रभावित करते हैं) का कोई ज़िक्र नहीं किया जाता। वे त्वरण को महज़ एक गणितीय राशि के रूप में पढ़ते हैं, उसके भौतिक निहितार्थ एवं कारणों को समझे बिना। त्वरण के कारणों की एक झलक केवल तभी मिलती है जब उनका परिचय बल से करवाया जाता है। तब तक गति के कारणों को लेकर उन्हें ख़ुद की कल्पनाओं के भरोसे छोड़ दिया जाता है। क्या इसी वजह से, वे विभिन्न परिघटनाओं के लिए सामान्य व्यावहारिक ज्ञान और सहज अवधारणाओं के निर्माण की ओर बढ़ते हैं?

शैक्षणिक दृष्टि से लोक सिद्धान्तों को

बॉक्स-3 : बड़ी कक्षा के एक विद्यार्थी के साथ चर्चा

शिक्षक ने एक अनौपचारिक वार्तालाप के दौरान वही प्रश्न कक्षा 10 के एक विद्यार्थी के सामने रखा। उसी वार्तालाप की एक झलकी (हालाँकि शब्दशः नहीं है) :

शिक्षक : टेबल पर एक गेंद रखी हुई है, उसे हाथ से धकेल दिया गया है। क्या आपको लगता है कि टेबल से सम्पर्क छोड़ने के बाद भी गेंद सरल रेखा में चलती रहेगी?

विद्यार्थी : हाँ, ऐसा ही होगा; क्योंकि इसे क्षैतिज दिशा में धक्का दिया गया था। इस पर जो बल क्षैतिज दिशा में लगाया गया, वह उसे क्षैतिज दिशा में धकेलता रहेगा। मान लीजिए कि इस पर 100N का बल लगाया गया, और 40N का बल गेंद में स्थानान्तरित हो गया। गेंद एवं टेबल के बीच घर्षण के कारण कुछ बल का क्षय हो जाएगा, और जब गेंद टेबल के किनारे से सम्पर्क तोड़ रही होगी, उसके पास 40N से कम बल बचेगा। उसके बाद वायु प्रतिरोध के कारण और अधिक बल का क्षय होगा, और गेंद गुरुत्वाकर्षण के कारण नीचे गिरने लगेगी।

जिस समय यह वार्तालाप हो रहा था, विद्यार्थी प्रक्षेप्य गति के बारे में पढ़ चुका था और उसने शुद्धगतिकी का शिक्षण एक 'प्रतिष्ठित' निजी स्कूल एवं एक 'अच्छे' कोचिंग संस्थान दोनों में प्राप्त किया था। लेकिन प्रक्षेप्य गति के बारे में उसकी धारणा बिल्कुल वैसी ही रही, जो सरकारी स्कूल के विद्यार्थियों की होती है, जिनके पास स्कूल की पाठ्यपुस्तकों के अलावा कोई और बाहरी सुविधा नहीं होती है। यह सामान्यीकरण करते हुए शायद आप कमज़ोर धरातल पर हैं, लेकिन बच्चों की पूर्व-अवधारणाओं एवं लोक-सिद्धान्तों को चुनौती देने के लिए केवल 'गुणवत्तापूर्ण शिक्षण एवं स्रोत सामग्री' उपलब्ध करवाना ही पर्याप्त नहीं होता है।

बॉक्स-4 : पाठ्यपुस्तकों में गति का परिचय कैसे करवाया जाता है?

भौतिकी की कुछ पाठ्यपुस्तकों का अध्ययन करके देखा गया कि वे प्रक्षेप्य गति का परिचय किस प्रकार करवाती हैं। एच. सी. वर्मा की *कॉन्सेप्ट्स ऑफ़ फिज़िक्स* में प्रक्षेप्य गति का परिचय कुछ इस प्रकार दिया गया है :

"जब एक कण को पृथ्वी की सतह से तिरछा ऊपर फेंका जाता है, तो यह एक वक्रीय पथ का अनुसरण करता है। ऐसे कण को प्रक्षेप्य एवं उसकी गति को प्रक्षेप्य गति कहते हैं।"[4]

इसके बाद, इस सिद्धान्त का विस्तृत गणितीय निरूपण किया गया है, जिसमें विद्यार्थियों की ख़ुद की पूर्व समझ को सामने लाने का कोई प्रयास नहीं किया गया है। इसी प्रकार सीयर्स और ज़ीमान्स्की की *यूनिवर्सिटी फिज़िक्स* कई उदाहरणों एवं हल किए गए सवालों के माध्यम से गति के सिद्धान्तों का विस्तृत परिचय प्रस्तुत करती है, लेकिन विद्यार्थियों को इन परिघटनाओं के बारे में अपने विचारों के परीक्षण के लिए प्रोत्साहित नहीं करती है। ऐसा प्रतीत होता है कि इन पुस्तकों के लेखक विद्यार्थियों को महज़ ज्ञान के एक ग्राही के रूप में देखते हैं, न कि एक विचारशील प्रशिक्षु के रूप में जो ज्ञान का निर्माण करने व सवाल उठाने में सक्षम है।

सम्बोधित करने का सबसे अच्छा तरीक़ा यह होगा कि ऐसी गतिविधियों का आयोजन किया जाए जो विद्यार्थियों को 'अपनी ग़लतफ़हमियों के प्रति जागरूक' कर सकें।[1] विद्यार्थियों को प्रेरित किया जा सकता है कि उनके पास किसी परिघटना का जो भी मॉडल है, उसे वे शब्दों या चित्रों से व्यक्त करें। इससे शिक्षक को उनके विशिष्ट लोक सिद्धान्त की प्रकृति को समझने में मदद मिल सकती है। इसका उपयोग, उन अवधारणाओं को बोधगम्य, सुसंगत (आन्तरिक-तर्कयुक्त), स्वीकार्य (बच्चे द्वारा दुनिया के अन्य अनुभवों के खिलाफ़ नहीं), और लाभदायक (पुराने दृष्टिकोण से अधिक उपयोगी) तरीक़े से समझाने के लिए शिक्षण-योजना निर्मित करने में किया जा सकता है।[4]

समेकन

भौतिक विज्ञान के शिक्षक के लिए एक और गतिविधि :

एक रस्सी के एक सिरे पर एक पिण्ड बँधा हुआ है और दूसरा सिरा एक व्यक्ति के हाथ में है। वह उस रस्सी को एक क्षैतिज तल में घुमाना शुरू कर देता है। यदि वह उस रस्सी को गोल-गोल घुमाते हुए अचानक छोड़ दे तो पिण्ड का पथ कैसा होगा? आप इस प्रश्न का जवाब कैसे देंगे? इस प्रश्न को अपने विद्यार्थियों के सामने रखिए और उनके उत्तरों को नोट कीजिए। यदि कई विद्यार्थियों के उत्तर लोक मिथकों पर आधारित हों, तब क्या आप एक ऐसे प्रयोग या शिक्षण-योजना के बारे में सोच सकते हैं जो उनके मिथकों को चुनौती दे?

मुख्य बिन्दु

- इन्सान में हर घटना के पीछे कुछ-न-कुछ तर्क जोड़ देने की प्रवृत्ति होती है, इसलिए हम अपने आस-पास की दुनिया में होने वाली प्रत्येक घटना को समझने एवं उसके बारे में अनुमान लगाने के लिए कुछ सहज व अनौपचारिक कार्य-कारण सिद्धान्त बना लेते हैं।
- मूलभूत भौतिक अवधारणाओं के साथ ऐसा हो सकता है कि विद्यार्थी कक्षा की चर्चाओं एवं परीक्षाओं में तो स्थापित वैज्ञानिक सिद्धान्तों (जैसे न्यूटन का गति का प्रथम नियम) का उपयोग ठीक-ठीक कर लें, लेकिन वास्तविक जीवन में होने वाली घटनाओं में सहज लोक सिद्धान्तों का ही अनुसरण करें।
- 'गुणवत्ता युक्त अध्ययन सामग्री' उपलब्ध करवाना, बच्चों की पूर्व धारणाओं या लोक-सिद्धान्तों को चुनौती देने के लिए पर्याप्त नहीं होता है।
- विद्यार्थियों द्वारा किसी विशेष परिघटना की समझ को शब्दों या चित्रों के माध्यम से व्यक्त करने सम्बन्धी गतिविधियाँ, बच्चों के लोक-सिद्धान्तों को समझने में अध्यापक की मदद कर सकती हैं।
- विद्यार्थियों के लोक-सिद्धान्तों की समझ का उपयोग शैक्षणिक परियोजनाओं (जैसे कि कुछ प्रति-उदाहरण प्रस्तुत करके संज्ञानात्मक विसंगति पैदा करना आदि) का निर्माण करने में किया जा सकता है, जो मूलभूत अवधारणाओं को बोधगम्य, सुसंगत, स्वीकार्य और लाभदायक तरीक़े से समझाने में मदद कर सकें।

References:

1. Chick, H., & Vincent, J. (Eds.). (2005). Proceedings of the 29th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education, 4: 97-104.
2. Halloun, I. A., & Hestenes, D. (1998). 'Common sense concepts about motion'. American Journal of Physics, 53(11): 1056-1065.
3. McCloskey, M. (1983, April). 'Intuitive Physics' Scientific American: 122-131.
4. Osbourne, R. (1991). 'Building on Children's Intuitive Ideas'. In R. Osbourne, P. Freyberg, B. Bell, R. Tasker, M. Cosgrove, B. Schollum, R. Osbourne, & P. Freyberg (Eds.), Learning in Science: 41-50.

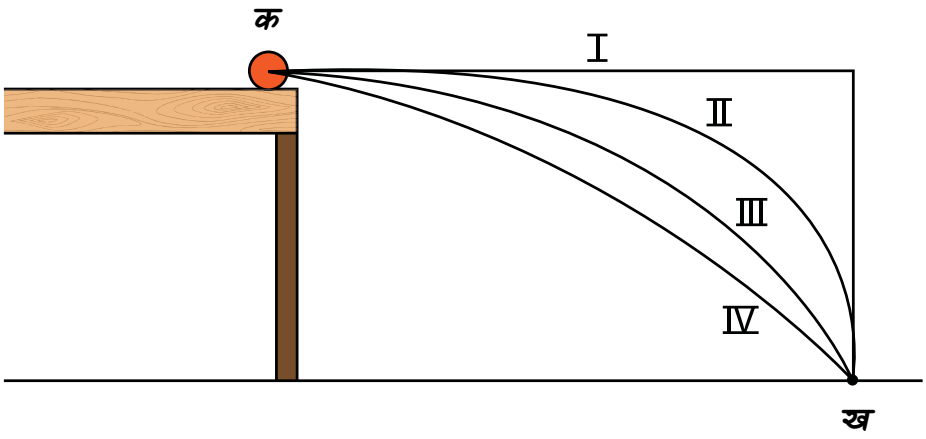
नीतीश सहगल 'समावेश' संस्था में 'विज्ञान शिक्षा प्रोजेक्ट' के लिए काम करते हैं। वे इलेक्ट्रिकल इंजीनियर हैं एवं भौतिक विज्ञान की शिक्षा में विशेष रूचि रखते हैं। उन्हें पढ़ाना पसन्द है एवं विद्यार्थियों के लिए विज्ञान शिक्षा को रोचक एवं उपयोगी बनाना चाहते हैं। उन्हें यात्रा करना एवं संगीत अत्यधिक पसन्द हैं और वे लगभग स्व-प्रशिक्षित गिटार-वादक भी हैं।

अनुवाद : कान्हाराम **पुनरीक्षण :** सुशील जोशी **कॉपी एडिटर :** कामिनी उपाध्याय

विज्ञान शिक्षक काम पर हैं : गतिविधि शीट

अवधारणा निर्माण : गुरुत्वाकर्षण के प्रभाव में गति

कल्पना करें :
*एक गतिमान गेंद मेज़ के किनारे से लुढ़कती है (स्थिति **क**) और ज़मीन पर गिरती है (स्थिति **ख**)।*



अनुमान लगाएँ :
गेंद के इनमें से किस रास्ते पर जाने की सबसे अधिक सम्भावना है?

- *I*
- *II*
- *III*
- *IV*

बताएँ :
आपके द्वारा अनुमानित रास्ता चुनने का आपका कारण ।

चर्चा करें :
आप कैसे जाँचेंगे कि आपका उत्तर सही है?

रचनाकार :

नीतीश सहगल 'समावेश' संस्था के विज्ञान शिक्षण प्रोजेक्ट में कार्यरत हैं। उनसे nitish@samavesh.org पर सम्पर्क किया जा सकता है।

i wonder... Rediscovering school science
Azim Premji University

किलोग्राम का सटीक द्रव्यमान : एवोगैड्रो स्थिरांक

एवोगैड्रो स्थिरांक इटालियन वैज्ञानिक एमीडियो एवोगैड्रो के नाम पर है।

Credits: Drawing by C. Sentier, executed in Torino at Litografia Doyen in 1856, from the Edgar Fahs Smith collection, Wikimedia Commons.
URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Avogadro_Amedeo.jpg. License: CC-BY.

2011 में, माप-तौल की अन्तर्राष्ट्रीय समिति ने किलोग्राम के अन्तर्राष्ट्रीय प्रतिरूप (IPK) को प्लांक स्थिरांक के सापेक्ष परिभाषित करने के तरीक़े को औपचारिक रूप दिया।

लेकिन प्रकृति में स्थिरांक के रूप में सिर्फ़ प्लांक स्थिरांक ही नहीं है जिसकी सहायता से किलोग्राम को ज़्यादा सटीकता से परिभाषित किया जा सकता है। इस उद्देश्य के लिए एक अन्य स्थिरांक - एवोगैड्रो स्थिरांक का भी उपयोग किया जा सकता है।

एवोगैड्रो स्थिरांक (इसे N_A से दर्शाया जाता है) इटालियन वैज्ञानिक एमीडियो एवोगैड्रो के नाम पर आधारित है। एवोगैड्रो मुख्य रूप से आण्विक सिद्धान्त में अपने योगदान के लिए जाने जाते हैं। यह स्थिरांक किसी भी पदार्थ के 1 मोल में उपस्थिति अणुओं/परमाणुओं की संख्या दर्शाता है। इसे इस रूप में परिभाषित किया गया है कि कार्बन-12 के 12 ग्राम में उपस्थित कार्बन परमाणुओं की संख्या = 6.022×10^{23} है। यह बात हरेक तत्व के लिए सही है — किसी भी तत्व के 1 मोल में परमाणुओं की संख्या 6.022×10^{23} होती है।

चूँकि N_A की परिभाषा पदार्थ के द्रव्यमान से सम्बन्धित है, इसलिए इस स्थिरांक का मान किलोग्राम को अधिक परिशुद्धता से परिभाषित करने में उपयोगी हो सकता है। हालाँकि, ऐसा करने के लिए N_A के मान को और भी परिशुद्धता से ज्ञात करना होगा। N_A के मान को इतनी परिशुद्धता से ज्ञात करने का कार्य अन्तर्राष्ट्रीय एवोगैड्रो परियोजना के सदस्यों द्वारा दो दशकों से भी अधिक समय से किया जा रहा है।

क्या हमें एवोगैड्रो स्थिरांक का और भी परिशुद्ध मान ज्ञात करने में सफलता मिली है? यह जानने के लिए पृष्ठ 116 देखें।

सिद्धार्थ सेतलूर कक्षा बारहवीं के विद्यार्थी हैं और एक ग़ैर-लाभकारी 'पियर-टू-पियर लर्निंग' प्लेटफॉर्म (www.vlearn.xyz) के संस्थापक हैं। सिद्धार्थ का लक्ष्य सैद्धान्तिक भौतिकशास्त्र और गणित के क्षेत्र में अकादमिक कैरियर बनाना है। सिद्धार्थ से siddharth.setlur@gmail.com पर सम्पर्क किया जा सकता है।

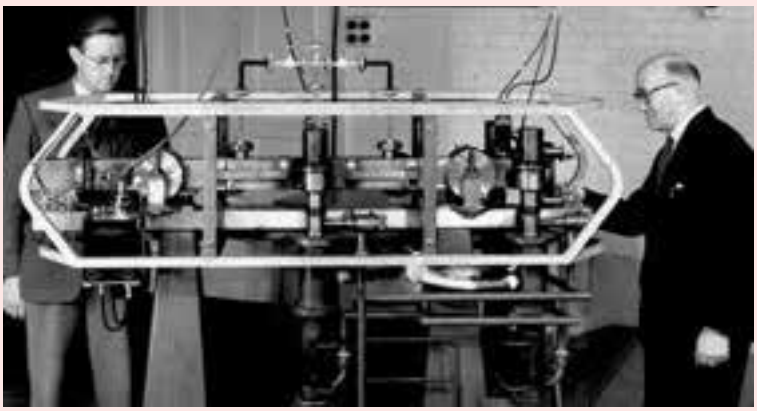
चित्रा रवि अज़ीम प्रेमजी विश्वविद्यालय, बेंगलूरु में कार्यरत हैं।

अनुवाद : कुमार गन्धर्व मिश्रा **पुनरीक्षण :** सुशील जोशी **कॉपी एडिटर :** कामिनी उपाध्याय

कभी सोचा है - सही समय क्या है?

आजकल हमारी ज़िन्दगी समय के सही मापन पर बहुत अधिक निर्भर है। लेकिन, क्या आपने कभी सोचा है कि समय को सेकंड के कई दशमलव स्थानों तक सटीकता से कैसा नापा जाता है?

प्राचीन तरीक़ों जैसे खगोलीय अवलोकन से लेकर यांत्रिक तरीक़े और क्वार्ट्ज़ क्रिस्टल (स्फ़टिक) पर आधारित मापन से लेकर आज हम समय को परमाणुओं के गुणों की सहायता से मापने तक प्रगति कर चुके हैं। जब किसी परमाणु को किसी उपयुक्त स्रोत से ऊर्जा प्रदान की जाती है तो उस परमाणु के इलेक्ट्रॉन ऊर्जा ग्रहण करके या उत्सर्जित करके ऊर्जा के न्यूनतम और उच्चतम स्तर के बीच एक निश्चित दर से दोलन करते हैं। इस गुण को अनुनादी आवृत्ति (Resonance Frequency) कहते हैं और यह किसी तत्व-विशेष के परमाणुओं के लिए निश्चित होती है। अत: इसका उपयोग समय के सटीक मापन के लिए किया जा सकता है।



ब्रिटेन की राष्ट्रीय भौतिकी प्रयोगशाला में 1955 में विकसित विश्व की पहली सीज़ियम परमाणु आधारित घड़ी। इस घड़ी के साथ लुईस एस्सेन और जेवीएल पेरी खड़े हैं।

Credits: National Physical Laboratory, Wikimedia Commons.
URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atomic_Clock-Louis_Essen.jpg. License: CC-BY.

1960 के दशक में अधिकारिक समय मापन के लिए अपनाई सीज़ियम परमाणुओं पर आधारित घड़ी ने दुनिया भर में परिशुद्धता और सटीकता सुनिश्चित की है। सीज़ियम (Cs) आवर्त सारणी में

समूह 1 का तत्व है, और उसके सबसे बाहरी कवच में सिर्फ़ एक ही इलेक्ट्रॉन है। जब सीज़ियम प्रबल सूक्ष्मतरंग विकिरण के सम्पर्क में आता है, तो उसके प्रत्येक परमाणु का यह इलेक्ट्रॉन (जो सबसे बाहरी कवच में है) पहले एक उच्चतर ऊर्जा स्तर पर जा पहुँचता है, फिर वापस अपनी मूल अवस्था में लौट आता है। मूल अवस्था में लौटते वक़्त यह फोटॉन उत्सर्जित करता है। परमाण्विक गुण होने के कारण ऊर्जा के इन स्तरों के बीच दोलन करने की अवधि निश्चित होती है। दूसरे शब्दों में कहें तो हर दोलन की अवधि बराबर होती है। यद्यपि यह अवधि काफ़ी छोटी है - इलेक्ट्रॉन एक सेकंड में 9,192,631,770 चक्र पूरे करता है, जिसे हर्ट्ज़ (Hz) या चक्र प्रति सेकंड में भी व्यक्त किया जाता है। इसी मानक के आधार पर अन्तर्राष्ट्रीय मात्रक प्रणाली (SI) में एक सेकंड को सीज़ियम -133 परमाणु के दो ऊर्जा स्तरों के बीच संक्रमण के 9,192,631,770 चक्र के तुल्य परिभाषित किया गया है।

अधिकांश देशों ने इस मानक समय पर नज़र बनाए रखने के लिए अपनी-अपनी परमाणु घड़ियाँ स्थापित कर रखी हैं। भारत की मानक घड़ी नई दिल्ली स्थित राष्ट्रीय भौतिकी प्रयोगशाला में स्थापित है।

जयालक्ष्मी अय्यर ने यूनिवर्सिटी ऑफ़ शिकागो, अमेरिका से पीएचडी प्राप्त की है। वे गुजरात नर्मदा वैली फर्टिलाइज़र्स एण्ड केमिकल्स कम्पनी लिमिटेड में बतौर वैज्ञानिक कार्य कर चुकी हैं। वे नर्मदा नगर कम्युनिटी साइंस सेंटर के विज्ञान प्रसार एवं सम्प्रेषण से सम्बन्धित क्रियाकलापों के साथ जुड़ी हुई हैं। जया से jayayyer@yahoo.com पर सम्पर्क किया जा सकता है।

अनुवाद : कुमार गन्धर्व मिश्रा **पुनरीक्षण :** सुशील जोशी **कॉपी एडिटर :** कामिनी उपाध्याय

एक किलोग्राम का सटीक द्रव्यमान : परमाणु गिनना

दो दशकों से भी अधिक समय से अन्तर्राष्ट्रीय एवोगैड्रो परियोजना के सदस्य एवोगैड्रो स्थिरांक (इसे N_A से दर्शाया जाता है) का और भी परिशुद्ध मान ज्ञात करने के लिए प्रयासरत हैं (जिसमें त्रुटि की गुंजाइश केवल 20 भाग प्रति 100 करोड़ ही हो)। इस परियोजना में INRiM (इटली), PTB (जर्मनी), NIM (चीन), METAS (स्विट्जरलैंड), NMIJ (जापान), BIPM (फ्रांस), NIST (यूस) और IRMM (बेल्जियम) के शोधार्थी शामिल हैं।

ये शोधार्थी 94 मिमी के परावर्तक गोलकों/गेंदों का उपयोग करते हैं। ये गोलक ठीक 1 किलोग्राम सिलिकॉन-28 से निर्मित हैं जिसे 99.9995 प्रतिशत तक परिशुद्ध किया गया है। इसकी सहायता से निम्नलिखित मान ज्ञात किए जाते हैं :

1. गोलक की चौड़ाई को एक प्रकाशीय व्यतिकरणमापी (Interferometer) से (नैनोमीटर की परिशुद्धता तक) मापकर प्रत्येक गोलक का आयतन ज्ञात किया जाता है।
2. X-किरण क्रिस्टलोग्राफ़ी तकनीक से एक घनाकार कोष्ठिका (सेल) का आयतन ज्ञात कर गोलक के एक परमाणु का आयतन ज्ञात किया जाता है।

गोलक के आयतन और गोलक के एक परमाणु के आयतन का अनुपात गोलक में मौजूद परमाणुओं की संख्या को दर्शाता है।

जब कि N_A को कार्बन-12 के सन्दर्भ में परिभाषित किया जाता है, वहीं सिलिकॉन में एक विशेष गुण होता है – यह जालक (लैटिस) के रूप में क्रिस्टलाइज़ होता है। इसकी प्रत्येक घनाकर कोष्ठिका में समान आयतन के 8 परमाणु होते हैं। सिलिकॉन का शोधन यह सुनिश्चित करता है कि गोलक में लगभग सारे परमाणु एक ही समस्थानिक के होंगे और वे सब गोलक में बराबर आयतन घेरेंगे। गोलक के सतह की चिकनाहट मापन में होने वाली त्रुटि को कम करती है। माहिर लेंस निर्माता द्वारा तैयार किया गया यह गोलक शायद दुनिया की सबसे गोलाकार वस्तु हो।

शायद यह दुनिया की सबसे गोलाकार वस्तु है।

Credits: National Institute of Standards and Technology, Wikimedia Commons.
URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SiliconSphere-Closeup.png. License: CC-BY.

एवोगैड्रो परियोजना के शोधार्थियों ने एवोगैड्रो स्थिरांक का मान ($N_A = 6.02214076 \times 10^{23}$ मोल $^{-1}$) निर्धारित किया है जिसमें अनिश्चितता मात्र 100 करोड़ में 10 भाग तक है। चूँकि इसे किसी पदार्थ के द्रव्यमान के सन्दर्भ में परिभाषित किया जाता है, इसलिए इस स्थिरांक (एवोगैड्रो स्थिरांक) को ज़्यादा परिशुद्धता से मापकर किलोग्राम को दुबारा परिभाषित किया जा सकता है। एवोगैड्रो स्थिरांक प्लांक स्थिरांक से सम्बन्धित भी है और उस पर निर्भर भी है। परिणामस्वरूप, दुबारा परिभाषित किए गए N_A का उपयोग करके प्लांक स्थिरांक के 4 मान ज्ञात किए गए हैं। इनमें त्रुटि की गुंजाइश 20 भाग प्रति 100 करोड़ थी (+/- 0.000000020)। यह गणना अन्तर्राष्ट्रीय माप-तौल समिति के कुछ मापदण्डों पर ख़री उतरी।

क्या अन्तर्राष्ट्रीय माप-तौल समिति के द्वारा चिन्हित किए गए अन्य मापदण्डों पर हम ख़रे उतरे हैं? जानने के लिए पृष्ठ 121 देखें।

सिद्धार्थ सेतलूर कक्षा बारहवीं के विद्यार्थी हैं और एक ग़ैर-लाभकारी 'पियर-टू-पियर लर्निंग' प्लेटफॉर्म (www.vlearn.xyz) के संस्थापक हैं। सिद्धार्थ का लक्ष्य सैद्धान्तिक भौतिकशास्त्र और गणित के क्षेत्र में अकादमिक कैरियर बनाना है। सिद्धार्थ से siddharth.setlur@gmail.com पर सम्पर्क किया जा सकता है।

चित्रा रवि अज़ीम प्रेमजी विश्वविद्यालय, बेंगलूरु में कार्यरत हैं।

अनुवाद : कुमार गन्धर्व मिश्रा **पुनरीक्षण :** सुशील जोशी **कॉपी एडिटर :** कामिनी उपाध्याय