बल की वैकल्पिक अवधारणाओं की पड़ताल

सौरभ सोम

न्यूटोनियन यांत्रिकी में बल एक बुनियादी अवधारणा है। शिक्षकों और शिक्षक-प्रशिक्षकों से इस अवधारणा की अच्छी समझ की अपेक्षा की जाती है। विद्यार्थियों और शिक्षकों में बल पर आधारित कई वैकल्पिक अवधारणाएँ बनी होती हैं। हम इन वैकल्पिक अवधारणाओं को कैसे सामने ला सकते हैं और उन्हें चुनौती दे सकते हैं?

बल और न्यूटोनियन यांत्रिकी की अवधारणाएँ प्राथमिक भौतिकी की बुनियाद हैं (देखें **बॉक्स-1**)। हालाँकि, अध्ययनों से पता चलता है कि विद्यार्थियों के साथ-साथ शिक्षकों में भी इन अवधारणाओं के बारे में कई वैकल्पिक अवधारणाएँ होती हैं।[1-6] ये वैकल्पिक अवधारणाएँ या भ्रान्तियाँ किस रूप में होती हैं? मैंने कुछ शिक्षकों और शिक्षक-प्रशिक्षकों के साथ कार्यशाला के दौरान बल से सम्बन्धित वैकल्पिक अवधारणाओं को अच्छी तरह समझने की कोशिश की (देखें **बॉक्स-2**)। मैंने समझना चाहा कि ये वैकल्पिक अवधारणाएँ या भ्रान्तियाँ किस रूप में होती हैं तथा हम उन्हें कैसे चुनौती दे सकते हैं?

बॉक्स-1 : न्यूटन के गति के नियम [7]

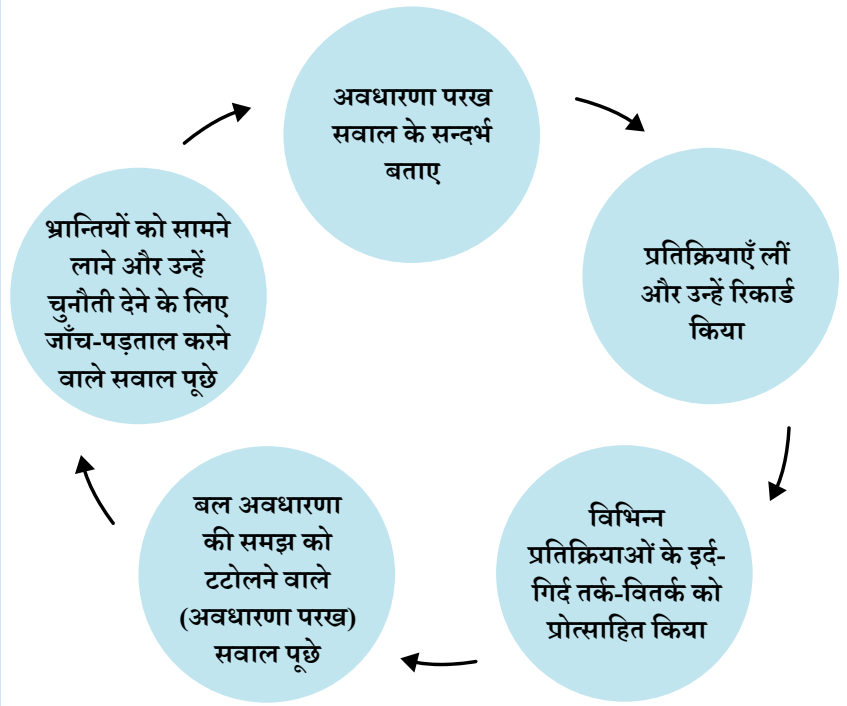
न्यूटन का गति का पहला नियम (जड़त्व)	बाह्य बलों की अनुपस्थिति में, विराम अवस्था में स्थित कोई वस्तु (स्थिर) विराम अवस्था में ही रहती है और/या कोई गतिशील वस्तु उसी वेग से निरन्तर गति करती रहती है (यानी, एक सीधी रेखा में निरन्तर गति करती रहती है)।
न्यूटन का गति का दूसरा नियम (बल)	किसी वस्तु का त्वरण उस पर कार्य करने वाले कुल बल के समानुपाती होता है और उसके द्रव्यमान के व्युत्क्रमानुपाती होता है।
न्यूटन का गति का तीसरा नियम (क्रिया और प्रतिक्रिया)	यदि दो वस्तुएँ परस्पर क्रिया करती हैं, तो वस्तु 1 द्वारा वस्तु 2 पर लगाया गया बल, वस्तु 2 द्वारा वस्तु 1 पर लगाए गए बल के परिमाण में बराबर और दिशा में विपरीत होता है।

बॉक्स-2 : कार्यशाला का संक्षिप्त विवरण

प्रतिभागी : कार्यशाला में 27 प्रतिभागी (19 विज्ञान शिक्षक और 8 शिक्षक-प्रशिक्षक) थे, जिनमें से सभी उत्तर भारत के एक राज्य के एक ही ज़िले में काम करते थे। शिक्षक विज्ञान में स्नातक या स्नातकोत्तर किए हुए थे। प्रत्येक के पास प्राथमिक या हाई स्कूल स्तर पर विज्ञान और/या पर्यावरण अध्ययन (ईवीएस) पढ़ाने का कम-से-कम 10 साल का अनुभव था। सभी शिक्षक-प्रशिक्षक विज्ञान में स्नातकोत्तर थे और उन्हें शिक्षण और शिक्षक-शिक्षा में 0-15 साल का मिला-जुला अनुभव था।

प्रारूप : कार्यशाला को इस तरह से डिज़ाइन किया गया था कि संज्ञानात्मक द्वन्द्वों/संघर्षों को उजागर कर चुनौती दी जा सके (देखें **चित्र-1**)। इसमें पाँच चरण शामिल थे। प्रत्येक चरण में, मैं प्रतिभागियों के सामने एक सन्दर्भित समस्या रखता, उनसे एक सवाल पूछता, और उन्हें कई विकल्पों में से अपना जवाब चुनने के लिए कहता (आख़िरी सवाल खुला था)। प्रतिभागियों की पहचान उजागर न हो इसके लिए, प्रत्येक प्रतिभागी ने अपने द्वारा चुने सही जवाब को एक बेनाम पर्ची पर लिखकर दिया। मैंने इन पर्चियों को इकट्ठा किया और किसी एक विकल्प को कितनी बार चुना गया है उसे नोट किया। इसके बाद, मैंने प्रतिभागियों के बीच तर्क-वितर्क को उकसाने के लिए डिज़ाइन किए गए सवालों को रखा और उन्हें उनके जवाबों में ग़लतियों की पहचान करने में मदद की। कुछ मामलों में, मूल सवालों पर रोशनी डालने के लिए मैंने नई अवधारणाएँ पेश कीं। हम किसी सवाल से तभी अगले सवाल या मुद्दे पर जाते जब उस सवाल पर पर्याप्त रूप से चर्चा हो जाती और प्रतिभागी सही जवाब की बेहतर समझ पर पहुँच जाते।

सवाल : सवाल II, IV और V को फोर्स कॉन्सेप्ट इन्वेंटरी (बल अवधारणा सूची - FCI) से लेकर उसे सन्दर्भ के हिसाब से ढाला गया था।[8] प्रत्येक सवाल को एक ऐसी सन्दर्भित समस्या के रूप में प्रस्तुत किया गया था जिनसे प्रतिभागियों की अपनी वास्तविक दुनिया में सामना करने की सम्भावना थी। प्रत्येक सवाल के विकल्प मौखिक रूप से और लिखित रूप में (बोर्ड पर) साझा किए गए थे। चर्चा के लिए अँग्रेज़ी और हिन्दी (जो प्रतिभागियों की सबसे परिचित भाषा थी), दोनों भाषाओं का इस्तेमाल किया गया था।



चित्र-1 : सत्र का प्रक्रिया चक्र।
Credits: Saurav Shome. Licence: CC-BY-NC.

गति और बल

पहली समस्या (देखें **सवाल I : कौन बल लगाता है?**), के उत्तर में 22 (81%) प्रतिभागियों ने विकल्प **ख** चुना और 5 (19%) ने विकल्प **ड** चुना। विकल्प **ड** सही जवाब है। अभी सवाल यह है कि अधिकांश प्रतिभागियों ने विकल्प **ख** क्यों चुना?

जब प्रतिभागियों ने यह प्रयोग किया, तो उन्होंने देखा कि कुर्सी X में बहुत ही कम स्थान परिवर्तन हुआ। एक बार तो उसका कोई भी स्थान परिवर्तन नहीं हुआ। जबकि कुर्सी Y ने काफ़ी दूरी तय की । कई प्रतिभागियों ने बल के प्रयोग को किसी वस्तु की गति से जोड़ा (इस मामले में, कुर्सी Y की गति)। न्यूटन के गति के पहले नियम का हवाला देते हुए, इन प्रतिभागियों ने तर्क दिया कि चूँकि कुर्सी X विराम अवस्था में (स्थिर) थी, इसलिए उस पर कोई बल नहीं लगा। यह तर्क ग़लत है क्योंकि यह न्यूटन के गति के तीसरे नियम और घर्षण बल दोनों को अनदेखा करता है।

हालाँकि सभी प्रतिभागी न्यूटन के गति के तीसरे नियम को बता पा रहे थे : *"प्रत्येक क्रिया की सदैव समान और विपरीत दिशा में प्रतिक्रिया होती है।"* लेकिन उनमें से सभी प्रतिभागी इस ज्ञान को इस स्थिति में लागू नहीं कर पाए थे (देखें **चित्र-2**)। जब कुर्सी X पर बैठा व्यक्ति कुर्सी Y पर बल लगाता है, तो कुर्सी Y भी कुर्सी X पर बैठे व्यक्ति पर बराबर और विपरीत बल लगाती है। इन बलों के प्रभाव में, दोनों कुर्सियाँ गति करती हैं। जैसे ही वे गति करती हैं, घर्षण बल काम करने लगता है। यह दूसरा बल धक्का देने वाले बल के विपरीत दिशा में कार्य करता है। चूँकि घर्षण उस वस्तु के द्रव्यमान पर निर्भर करता है जिस पर वह कार्य करता है और कुर्सी X, उस पर बैठे व्यक्ति का अतिरिक्त भार वहन करती है, इसलिए कुर्सी X पर, कुर्सी Y की तुलना में अधिक घर्षण बल लगता है। इसी कारण से दोनों कुर्सियाँ अलग-अलग दूरी तय करती हैं।

चित्र-2 : क्या पिन और गेंद एक-दूसरे पर बराबर मात्रा में बल लगाते हैं?
Credits: Daniel Orth, Flickr. URL: https://www.flickr.com/photos/danorth1/24013920255.
Licence: CC BY-ND 2.0 DEED.

जब दूसरी समस्या प्रस्तुत की गई (देखें **सवाल II : कितना बल?**), तो 15 (56%) प्रतिभागियों ने विकल्प **ग** चुना, 5 (18%) ने विकल्प **ड** चुना, 3 (12%) ने विकल्प **च** चुना, 2 (7%) ने विकल्प **ख** चुना, और 1 (4%) ने विकल्प **क** चुना। विकल्प **ड** सही जवाब है। इतने सारे प्रतिभागियों ने अन्य विकल्प क्यों चुने?

विकल्प **ग** या **च** चुनने वालों ने न्यूटन के गति के दूसरे नियम की अनदेखी की थी। दोनों कुर्सियों के त्वरण में उन्होंने जो अन्तर देखा था, उसके आधार पर उन्होंने निष्कर्ष निकाला था कि दोनों कुर्सियों पर असमान बल लग रहे थे। लेकिन इस निष्कर्ष पर पहुँचने के लिए, दोनों कुर्सियों के सापेक्ष द्रव्यमान को भी ध्यान में रखना ज़रूरी था। विकल्प **ख** चुनने वाले प्रतिभागियों ने ग़लत धारणा बनाई कि सिर्फ़ सजीव वस्तुएँ या धक्का देने का इरादा रखने वाली वस्तुएँ ही बल लगा सकती हैं।

चर्चा के इस चरण में, प्रतिभागियों को सवाल I और II के लिए उनके जवाबों की तुलना करने के लिए बुलाया गया। इन दोनों सवालों के सबसे आम जवाब एक ही ग़लत धारणा से निकले थे – किसी वस्तु पर लगने वाले बल की मात्रा का अनुमान उसके द्वारा उत्पन्न गति की मात्रा से लगाया जा सकता है। इससे प्रतिभागियों ने निष्कर्ष निकाला कि : (क) अगर कोई वस्तु गति नहीं कर रही होती है तो उस पर कोई बल नहीं लग रहा होता है, और (ख) किसी वस्तु में जितनी अधिक गति होती है, उस पर उतना ही अधिक बल लग रहा होता है। प्रतिभागियों ने माना कि ये जवाब आपस में जुड़े हुए थे, लेकिन वे यह नहीं देख पा रहे थे कि उनके जवाबों ने न्यूटन के गति के दूसरे और तीसरे नियमों की कैसे अनदेखी की। मैंने सवालों के सही जवाब साझा नहीं किए। लेकिन, उनकी मदद करने के लिए, मैंने न्यूटन के गुरुत्वाकर्षण के नियम के बारे में बताया और न्यूटन के गति के तीन नियमों के साथ इसके सम्बन्ध की ओर ध्यान दिलाया – किसी भी वस्तु पर पृथ्वी द्वारा लगाया गया बल, उस वस्तु द्वारा पृथ्वी पर लगाए गए बल के बराबर होता है।

गुरुत्वाकर्षण के तहत गति

गुरुत्वाकर्षण पर चर्चा से हम तीसरी समस्या पर पहुँचे (देखें **सवाल III : कौन पहले नीचे गिरेगा?**)। मैंने प्रतिभागियों को यह अनुमान लगाने के लिए कहा कि तीनों परिदृश्यों में से प्रत्येक में कौन-सी वस्तु पहले ज़मीन पर गिरेगी।[9] पहला परिदृश्य प्रस्तुत करने पर, प्रतिभागियों ने अनुमान लगाया कि दोनों बोतलें एक ही समय पर ज़मीन पर पहुँचेंगी। इसकी पुष्टि करने के लिए, दो बोतलों को बढ़ती हुई ऊँचाई से गिराया गया। हर मामले में, जैसा कि अनुमान लगाया गया था, दोनों बोतलें लगभग एक ही समय पर ज़मीन पर पहुँचीं। दूसरे परिदृश्य के जवाब में, प्रतिभागियों ने अनुमान लगाया कि काग़ज़ के पन्ने की तुलना में पर्स तेज़ी से गिरेगा। जब उनसे उनके इस जवाब का कारण पूछा गया, तो प्रतिभागियों ने तर्क दिया कि काग़ज़ के पन्ने को उसकी सतह का क्षेत्रफल ज़्यादा होने के कारण अधिक वायु प्रतिरोध का सामना करना पड़ेगा। एक प्रदर्शन ने इस पूर्वानुमान की पुष्टि की। तीसरे परिदृश्य को प्रदर्शित करने के लिए, मैंने एक नोटबुक और उसके मोटे कवर पेज का इस्तेमाल किया। इससे यह सुनिश्चित हुआ कि दोनों वस्तुओं का सतह-क्षेत्रफल समान था। दोनों वस्तुओं को एक ही ऊँचाई से गिराया गया। जब उन्हें इस तरह पकड़कर गिराया गया कि उनके सामने का हिस्सा/मुँह ज़मीन से क्षैतिज रहे, तो कवर पेज नोटबुक के बाद ज़मीन पर पहुँचा। प्रतिभागियों ने अनुमान लगाया कि चूँकि कवर पेज हलका था, इसलिए यह भारी नोटबुक की तरह आसानी से वायु प्रतिरोध को पार नहीं कर पाया। इसका परीक्षण करने के लिए, दो वस्तुओं को इस तरह से गिराया गया कि उनका सामने का हिस्सा/मुँह ज़मीन से लम्बवत रहे। इस मामले में, दोनों वस्तुएँ लगभग एक ही समय पर ज़मीन पर पहुँचीं। प्रदर्शनों की इस शृंखला के आख़िर तक, प्रतिभागी इस बात पर सहमत हो गए कि उनके द्रव्यमान के बावजूद, एक ही ऊँचाई से छोड़ी गई कोई भी दो वस्तुएँ एक ही समय पर ज़मीन पर पहुँचेंगी।

जब चौथी समस्या प्रस्तुत की गई (देखें **सवाल IV : कौन सबसे दूर तक जाता है?**), तो 17 (65%) प्रतिभागियों ने विकल्प **क** चुना, 8 (31%) ने विकल्प **ग** चुना, और 1 (4%) ने विकल्प **ख** चुना। सही जवाब विकल्प **ग** है।

उन्हें सही विकल्प की ओर ले जाने के लिए, मैंने प्रतिभागियों से उन सभी बलों के नाम बताने को कहा जो मेज़ के एक छोर से लुढ़कती दो गेंदों पर लगते हैं। अधिकांश प्रतिभागियों ने गुरुत्वाकर्षण बल का नाम लिया। उनमें से एक ने यह विश्वासपूर्वक कहा कि गेंदों पर गुरुत्वाकर्षण बल तब भी लग रहा था जब वे मेज़ के किनारे की ओर लुढ़क रहीं थीं। हालाँकि अधिकांश प्रतिभागियों ने इस सवाल (IV) के सन्दर्भ में गुरुत्वाकर्षण बल की भूमिका को पहचाना था और इनमें से सभी प्रतिभागियों ने सवाल III के तीन परिदृश्यों में न्यूटन के गुरुत्वाकर्षण के नियम को सटीक रूप से लागू किया था, लेकिन फिर भी इनमें से कई प्रतिभागी सवाल तीन की समझ का इस सन्दर्भ में इस्तेमाल नहीं कर पा रहे थे। एक ओर, जिन प्रतिभागियों ने विकल्प **क** चुना था, उन्होंने इस स्थिति की तुलना हलकी और भारी वस्तुओं को अपने से दूर फेंकने के अपने वास्तविक जीवन के अनुभव से की। उन्होंने तर्क

दिया कि समान बल से फेंके जाने पर भी, हलकी वस्तुएँ (भारी वस्तुओं की तुलना में) ज़मीन पर गिरने से पहले अधिक दूरी तय करेंगी। यह ग़लत क्यों है? इस सवाल में दो गेंदें गुरुत्वाकर्षण के प्रभाव में एक मेज़ के किनारे से लुढ़क गईं। इसमें, वे सवाल III के तीन परिदृश्यों में से कोई भी दो वस्तुओं की तरह थीं – वे एक ही समय में ज़मीन पर पहुँचेंगी। दूसरी ओर, विकल्प **ग** चुनने वाले कुछ प्रतिभागियों ने तर्क दिया कि दोनों गेंदें एक ही समय में ज़मीन पर गिरेंगी क्योंकि उन पर समान मात्रा में गुरुत्वाकर्षण बल लग रहा है। यह ग़लत है क्योंकि किसी वस्तु पर लगने वाला गुरुत्वाकर्षण बल उसके द्रव्यमान पर निर्भर करता है। अलग-अलग द्रव्यमान वाली वस्तुएँ एक ही समय पर ज़मीन पर गिरती हैं, इसलिए नहीं कि उन पर समान मात्रा में बल लगता है, बल्कि इसलिए कि वे समान त्वरण (गुरुत्वाकर्षण के कारण त्वरण) का अनुभव करती हैं।

जब पाँचवीं समस्या प्रस्तुत की गई (देखें **सवाल V : फेंकने का बल कितनी देर तक काम करता है?**), प्रतिभागियों द्वारा दिए गए जवाब विविध और दिलचस्प थे। सभी प्रतिभागी इस बात पर सहमत थे कि बिन्दु A पर गेंद पर दो बल काम करते हैं – जिस बल से गेंद को फेंका गया था और गुरुत्वाकर्षण बल। उनमें से कुछ ने सही बताया कि गेंद पर हवा का घर्षण बल भी

चित्र-3 : जिस बल से गेंद को मारा जाता है वह उस पर कितनी देर तक कार्य करता रहता है?

Credits: Anil Sharma. URL: https://www.pexels.com/photo/man-playing-cricket-match-16062162/. Licence: CC0.

लगता है। 16 (62%) प्रतिभागियों ने यह विचार व्यक्त किया कि गेंद पर फेंकने का बल तब तक काम करता रहेगा जब तक कि वह ज़मीन को न छू ले, लेकिन अपने प्रक्षेप पथ के प्रत्येक बिन्दु पर परिमाण (तीव्रता) में कम होता जाएगा। इस प्रकार, उन्होंने तर्क दिया कि बिन्दु B पर फेंकने का बल गुरुत्वाकर्षण बल के बराबर होगा और बिन्दु C पर गुरुत्वाकर्षण बल से बहुत कमज़ोर होगा। 10 (38%) प्रतिभागियों ने यह विचार व्यक्त किया कि बिन्दु B पर फेंकने का बल शून्य हो जाएगा और गुरुत्वाकर्षण ही एकमात्र बल होगा जो बिन्दु C पर गेंद पर काम करेगा।

चर्चा के इस बिन्दु पर, मैंने बल्ले से गेंद को मारने पर उसके प्रक्षेप पथ का प्रदर्शन किया और प्रतिभागियों से यह अनुमान लगाने के लिए कहा कि यह बल गेंद पर कब तक कार्य करता रहेगा (देखें **चित्र-3**)। सभी प्रतिभागियों ने यह विचार व्यक्त किया कि जिस बल से गेंद को मारा गया था, वह उस पर तब तक कार्य करता रहेगा जब तक कि वह ज़मीन पर न पहुँच जाए। मैंने सवाल किया कि अगर ऐसा है, तो क्या गेंद एक निश्चित दूरी तय करने के बाद रुकने की बजाय आगे नहीं बढ़ती रहेगी? इस बिन्दु को और स्पष्ट करने के लिए, मैंने प्रतिभागियों से गुरुत्वाकर्षण की अनुपस्थिति में गेंद के प्रक्षेप पथ का अनुमान लगाने के लिए कहा। प्रतिभागी इस बात पर सहमत थे कि गुरुत्वाकर्षण की अनुपस्थिति में, गेंद एक सीधी रेखा में आगे बढ़ती रहेगी। न्यूटन के गति के पहले नियम का सन्दर्भ देते हुए, उन्होंने तर्क दिया कि गेंद का प्रक्षेप पथ गति की जड़ता से निर्धारित होगा; न कि गेंद में प्रयोग किए गए बल से। मैंने पूछा कि क्या यह अनुमान लगाया जा सकता है कि सवाल V में गेंद का घुमावदार पथ गुरुत्वाकर्षण के कारण था। थोड़ी-सी चर्चा के बाद, अधिकांश प्रतिभागियों ने इस अनुमान से सहमति व्यक्त की।

हालाँकि, उनमें से कुछ ने अपना असन्तोष व्यक्त किया। उनमें से एक ने सवाल उठाया: *"यह कैसे सम्भव है कि गेंद सिर्फ़ गुरुत्वाकर्षण के प्रभाव में एक घुमावदार रास्ता अपनाती है? क्या यह रास्ता एक ऐसे बल की ओर इंगित नहीं करता जो गति की दिशा में लगातार काम करता रहता है?"* मैं चर्चा को सवाल III पर वापस ले आया, और प्रतिभागियों को याद दिलाया कि अलग-अलग द्रव्यमान की वस्तुएँ एक ही त्वरण से ज़मीन पर गिरी थीं। इससे कुछ प्रतिभागियों ने निष्कर्ष निकाला कि सवाल IV में दोनों गेंदें एक ही समय पर ज़मीन पर पहुँचेंगी और मेज़ से समान दूरी तय करेंगी।

बॉक्स-3 : कार्यशाला के परिणाम

इस सत्र के आख़िर तक, कई प्रतिभागियों की इन तथ्यों पर लगभग सहमति बन गई थी कि :

- न्यूटन के तीसरे नियम का अर्थ है कि बल जोड़े में मौजूद होते हैं।
- मुक्त रूप से गिरने वाली वस्तुओं पर सिर्फ़ गुरुत्वाकर्षण बल ही कार्य करता है।

इन अभ्यासों के जवाबों से तीन और पहलू सामने आए, जिन्हें समझना अकसर मुश्किल होता है :

- गति की दिशा के लम्बवत लगने वाला बल कोई कार्य नहीं करता है।
- किसी वस्तु की गति को बनाए रखने के लिए किसी बल की आवश्यकता नहीं होती है।
- न्यूटन के गति के नियम किसी वस्तु पर किसी निश्चित समय पर कार्य करने वाले विभिन्न बलों का अनुमान लगाने में मदद करते हैं।

चलते-चलते

हालाँकि कार्यशाला के प्रतिभागी न्यूटन के गति के नियमों और गुरुत्वाकर्षण के सिद्धान्त को बता पा रहे थे, लेकिन उन्होंने दोनों के बारे में अपर्याप्त समझ दर्शायी। कार्यशाला ने इन अवधारणाओं के इर्द-गिर्द बनी कुछ सामान्य भ्रान्तियों को उजागर करने में मदद की। ये भ्रान्तियाँ निम्न के

बीच अन्तर न कर पाने से उत्पन्न हुईं : (क) यांत्रिक बल और गुरुत्वाकर्षण बल, (ख) ऊर्जा और बल, और (ग) वेग और त्वरण। उदाहरण के लिए, इन्हीं कारणों के लिए, प्रतिभागियों ने गति को जड़त्व की बजाय बल से जोड़ा। उन्होंने दूरी में फेंकी गई गेंद के घुमावदार पथ को गुरुत्वाकर्षण की बजाय एक प्रेरक या प्रेरणा – जैसे बल से जोड़ा। बल की कई पूर्व-गैलीलियन और पूर्व-न्यूटोनियन अवधारणाओं की तरह, ये भ्रान्तियाँ व्यक्तिगत त्रुटियों या संज्ञानात्मक सीमाओं की बजाय वास्तविक दुनिया के अनुभवों की व्याख्याओं से उत्पन्न होती हैं।

अकसर, ये भ्रान्तियाँ विद्यार्थियों और शिक्षकों में इतनी गहराई से समाहित होती हैं कि सिर्फ़ ग़लतियाँ बताने या सही जवाब साझा करने से उनकी समझ में बदलाव आने की सम्भावना नहीं होती है। उदाहरण के लिए, मेरे द्वारा प्रतिभागियों को यह याद दिलाने के बाद भी कि बल ऊर्जा से भिन्न है – न तो एक संरक्षित मात्रा है और न ही किसी वस्तु का गुण है – वे इस समझ को सवाल V पर लागू नहीं कर पा रहे थे। बल की कार्यप्रणाली को प्रदर्शित करने के प्रयोग भी भ्रान्तियों को तोड़ने में अपर्याप्त हो सकते हैं। उदाहरण के लिए, विस्तृत प्रदर्शन के बावजूद कि मुक्त रूप से गिराने पर सभी वस्तुएँ समान तीव्रता से ज़मीन की ओर बढ़ती हैं, प्रतिभागी अपनी शुरुआती समझ पर अड़े रहे कि किसी वस्तु का द्रव्यमान ज़मीन से टकराने के बाद उसके द्वारा तय की गई क्षैतिज दूरी को प्रभावित करता है।

शिक्षकों और शिक्षक-प्रशिक्षकों के साथ यह अनुभव दर्शाता है कि कैसे खण्डन करने वाले उदाहरणों के इर्द-गिर्द सवाल व्यक्तिगत वैचारिक ढाँचों की खोज करने और उन्हें चुनौती देने में प्रभावी हो सकते हैं (देखें **बॉक्स-3**)। मैंने यहाँ जो सवाल साझा किए हैं, उनका इस्तेमाल विभिन्न तरीक़ों से किया जा सकता है। उदाहरण के लिए, सवाल I और II के सन्दर्भित समस्याओं को कमोबेश एक ही वज़न के दो लोगों का इस्तेमाल करके प्रदर्शित किया जा सकता है। इसी तरह, सवाल IV को दो गेंदों (खोखली और ठोस) को अलग-अलग ऊँचाई से ज़मीन पर गिराकर प्रदर्शित किया जा सकता है। या प्रतिभागियों से इन प्रदर्शनों में दो कुर्सियों या दो गेंदों द्वारा तय की गई दूरी को मापने और तुलना करने के लिए कहा जा सकता है। समस्या के सन्दर्भों को जिस क्रम में प्रस्तुत किया जाता है, उसे चर्चा में उठने वाली विशिष्ट वैचारिक कमियों के अनुसार ढाला जा सकता है।

अपने विद्यार्थियों या सहकर्मियों के साथ इन सवालों पर चर्चा करने की कोशिश करें। आप समस्या के सन्दर्भों में क्या बदलाव करेंगे? आप कौन-सी भ्रान्तियाँ खोजेंगे?

मुख्य बिन्दु

- जबकि बल और न्यूटोनियन यांत्रिकी प्राथमिक भौतिकी की बुनियाद हैं, कई विद्यार्थियों और शिक्षकों में इन अवधारणाओं के बारे में वैकल्पिक अवधारणाएँ (भ्रान्तियाँ) बन जाती हैं।
- कई भ्रान्तियाँ बल की पूर्व-गैलीलियन और पूर्व-न्यूटोनियन अवधारणाओं जैसी होती हैं और व्यक्तिगत त्रुटियों या संज्ञानात्मक सीमाओं की बजाय वास्तविक दुनिया के अनुभवों की सीमित व्याख्याओं से निर्मित होती हैं।
- ये भ्रान्तियाँ इतनी गहराई तक समाहित हो सकती हैं कि बल के काम-काज को प्रदर्शित करने वाले सटीक सिद्धान्त या प्रयोगों के साथ उनका मुक़ाबला करना मुश्किल हो सकता है।
- विद्यार्थियों या शिक्षकों के सामने वास्तविक दुनिया के खण्डन करने वाली समस्याओं के बारे में सवाल प्रस्तुत करना वैकल्पिक अवधारणओं को सामने लाने और उन्हें चुनौती देने में प्रभावी हो सकता है।

आभार : लेखक कार्यशाला के प्रतिभागियों; ज़िला संस्थान, अज़ीम प्रेमजी फ़ाउंडेशन, उधम सिंह नगर के विज्ञान टीम के सदस्यों और अनाम समीक्षकों के प्रति आभार व्यक्त करता है।

टिप्पणियाँ :

1. यह लेख पहली बार *आई वंडर...*,फ़रवरी 2017, पेज 44-49 (अँग्रेज़ी) में प्रकाशित हुआ था। मूल लेख यहाँ से प्राप्त किया जा सकता है: https://publications.azimpremjiuniversity.edu.in/1279/। इसका हिन्दी अनुवाद https://anuvadasampada.azimpremjiuniversity.edu.in/3542/ से प्राप्त किया जा सकता है। यहाँ प्रकाशित लेख उक्त संस्करण का, समीक्षा के बाद, स्कूल शिक्षकों को ध्यान में रखकर संशोधित किया गया रूप है। साथ ही इसमें पाँच सवाल शीट जोड़ी गई हैं।

2. Credits for the image used in the background of the article title: Free fall. URL: https://www.rawpixel.com/image/5945830/free-public-domain-cc0-photo. License: CC0.

References:

1. Clement J (1982). 'Students' Preconceptions in Introductory Mechanics'. American Journal of Physics, 50 (1): 66-71.
2. Halloun IA & Hestenes D (1985). 'Common Sense Concepts About Motion'. American Journal of Physics, 53 (11): 1056-1065.
3. Rampal A (1995). 'Where the Force is Absent?'. Sandarbh, 3 (1): 19-33.
4. Trumper R (1995). 'The Need for Change in Elementary-school Teacher Training: The Force Concept as an Example'. Asia-Pacific Journal of Teacher Education, 26 (1): 7-25.
5. Shome S (2013). 'When Objects Fail to Move Despite Force Being Exerted!'. Voices of Teachers and Teacher Educators, 2 (2): 38-43.
6. Jammer M (1962). 'Concepts of Force'. Harper Torchbooks.
7. Halliday, D, Resnick, R, & Walker, J (2013). Fundamentals of Physics. New York: John Wiley & Sons.
8. Hestenes D, Wells M, and Swackhamer G (1992). 'Force Concept Inventory'. The Physics Teacher, 30 (3): 141-158.
9. Shome S (2020). 'Do Heavy Objects Fall Faster Than Lighter Objects?'. Sandarbh, 126. URL: https://www.eklavya.in/magazine-activity/sandarbh-magazines/581-sandarbh-121-to-130/613-sandarbh-issue-126/3590-kya-bhari-vastuyen-halki-vastuon-ki-tulna-me-tezi-se-girti-hai.

सौरभ सोम अज़ीम प्रेमजी विश्वविद्यालय, भोपाल में फ़ैकल्टी के रूप में कार्यरत हैं। उनकी शोध रुचियों में परियोजना-आधारित शिक्षा, शिक्षक व्यावसायिक विकास और भारत में विज्ञान और प्रौद्योगिकी शिक्षा शामिल हैं। जब यह लेख पहली बार प्रकाशित हुआ था, तब सौरभ अज़ीम प्रेमजी फ़ाउंडेशन में एक शिक्षक और शिक्षक-प्रशिक्षक के रूप में काम कर रहे थे। उनसे saurav.shome@apu.edu.in पर सम्पर्क किया जा सकता है।

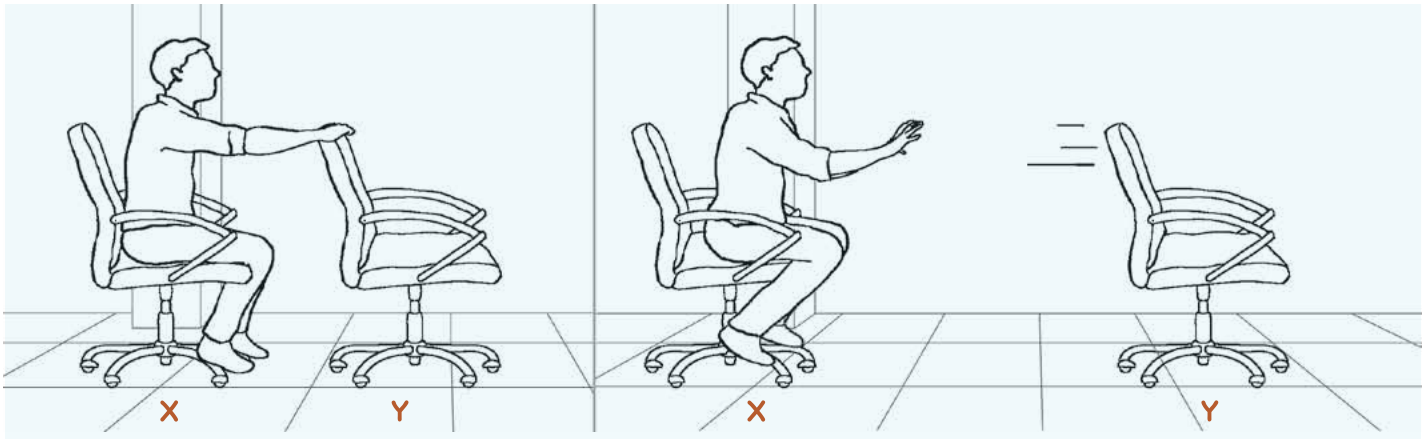
अनुवाद : सीमा **पुनरीक्षण :** उमा सुधीर **कॉपी एडिटर :** प्रतिका गुप्ता

विज्ञान शिक्षक काम पर
सवाल I : कौन बल लगाता है?

समस्या का सन्दर्भ :

पहियों वाली दो एक जैसी कुर्सियाँ X और Y एक के पीछे एक और एक ही दिशा में मुँह करके रखी गई हैं। एक व्यक्ति कुर्सी X पर बैठता है और कुर्सी Y की पीठ पर अपना हाथ रखता है। कुर्सी X पर बैठा व्यक्ति कुर्सी Y को अचानक धक्का देता है।

ऐसा करके देखें और नतीजों का अवलोकन करें।



सवाल :

निम्नलिखित में से कौन-सा कथन सही है? अपना विकल्प चुनें -

क. *न तो व्यक्ति और न ही कुर्सी Y एक-दूसरे पर बल लगाते हैं।*

ख. *व्यक्ति कुर्सी Y पर बल लगाता है, लेकिन कुर्सी व्यक्ति पर कोई बल नहीं लगाती है।*

ग. *व्यक्ति और कुर्सी Y दोनों एक-दूसरे पर बल लगाते हैं। कुर्सी Y द्वारा व्यक्ति पर लगाया गया बल व्यक्ति द्वारा कुर्सी Y पर लगाए गए बल से ज़्यादा है।*

घ. *व्यक्ति और कुर्सी Y दोनों एक-दूसरे पर बल लगाते हैं। व्यक्ति द्वारा कुर्सी Y पर लगाया गया बल कुर्सी Y द्वारा व्यक्ति पर लगाए गए बल से ज़्यादा है।*

ड. *व्यक्ति और कुर्सी Y एक-दूसरे पर समान मात्रा में बल लगाते हैं।*

आप अपने जवाब को कैसे उचित ठहराएँगे?

i wonder... Rediscovering school science

रचनाकार :

सौरभ सोम अज़ीम प्रेमजी विश्वविद्यालय,भोपाल में कार्यरत हैं।

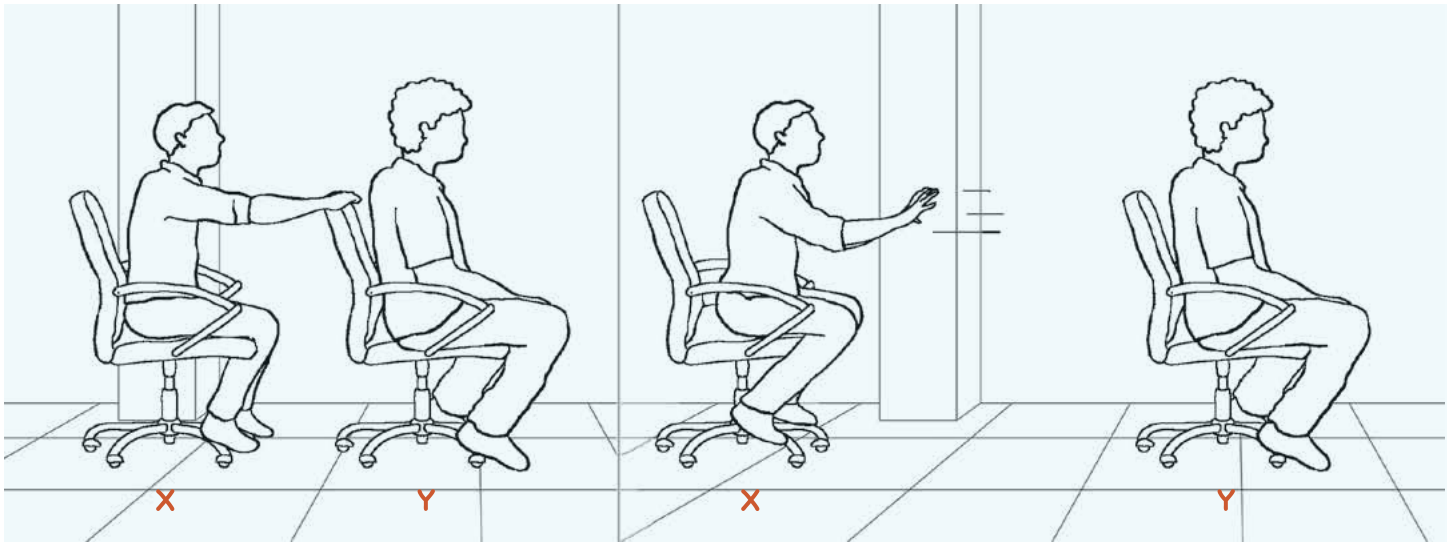
अनुवाद : सीमा **पुनरीक्षण :** उमा सुधीर **कॉपी एडिटर :** प्रतिका गुप्ता

Azim Premji University

विज्ञान शिक्षक काम पर
सवाल II : कितना बल?

समस्या का सन्दर्भ :

पहियों वाली दो एक जैसी कुर्सियाँ X और Y एक के पीछे एक और एक ही दिशा में मुँह करके रखी गई हैं। एक व्यक्ति कुर्सी X पर बैठता है और दूसरा व्यक्ति कुर्सी Y पर बैठता है। कुर्सी Y पर बैठे व्यक्ति का द्रव्यमान कुर्सी X पर बैठे व्यक्ति के द्रव्यमान का लगभग 1.5 गुना है। कुर्सी X पर बैठा व्यक्ति कुर्सी Y की पीठ पर अपना हाथ रखता है और उसे अचानक धक्का देता है।



सवाल :

निम्नलिखित में से कौन-सा कथन सही है? अपना विकल्प चुनें-

क. *न तो कुर्सी X पर बैठा व्यक्ति और न ही कुर्सी Y एक-दूसरे पर बल लगाते हैं।*

ख. *कुर्सी X पर बैठा व्यक्ति कुर्सी Y पर बल लगाता है, लेकिन कुर्सी Y कुर्सी X पर बैठे व्यक्ति पर बल नहीं लगाती।*

ग. *कुर्सी X पर बैठा व्यक्ति और कुर्सी Y एक-दूसरे पर बल लगाते हैं। कुर्सी Y द्वारा लगाया गया बल कुर्सी X पर बैठे व्यक्ति द्वारा लगाए गए बल से ज़्यादा है।*

घ. *कुर्सी X पर बैठा व्यक्ति और कुर्सी Y एक-दूसरे पर बल लगाते हैं। कुर्सी X पर बैठे व्यक्ति द्वारा लगाया गया बल कुर्सी Y द्वारा लगाए गए बल से ज़्यादा है।*

ड. *कुर्सी Y और कुर्सी X पर बैठा व्यक्ति एक-दूसरे पर बराबर मात्रा में बल लगाते हैं।*

च. *कुर्सी Y कुर्सी X पर बैठे व्यक्ति पर बल लगाती है, लेकिन कुर्सी X पर बैठा व्यक्ति कुर्सी Y पर बल नहीं लगाता।*

आप अपने जवाब को कैसे उचित ठहराएँगे?

i wonder... Rediscovering school science

रचनाकार :

सौरभ सोम अज़ीम प्रेमजी विश्वविद्यालय,भोपाल में कार्यरत हैं।

अनुवाद : सीमा **पुनरीक्षण :** उमा सुधीर **कॉपी एडिटर :** प्रतिका गुप्ता

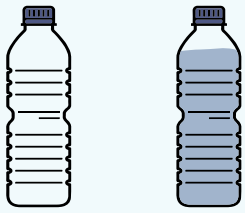
Azim Premji University

विज्ञान शिक्षक काम पर
सवाल III : पहले कौन नीचे आएगा?

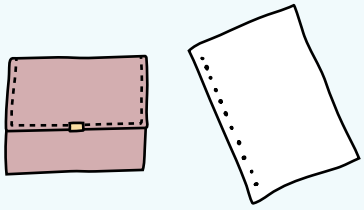
समस्या का सन्दर्भ :

नीचे दिए गए तीन परिदृश्यों में से प्रत्येक में, दो वस्तुओं को एक साथ एक ही ऊँचाई से गिराया जाता है।

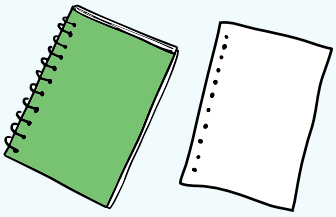
- *परिदृश्य I : एक ख़ाली बोतल और एक पानी से भरी बोतल।*
- *परिदृश्य 2 : एक पर्स और काग़ज़ का एक पन्ना।*
- *परिदृश्य 3 : एक नोटबुक और उसी नोटबुक का एक पन्ना।*



परिदृश्य I



परिदृश्य 2



परिदृश्य 3

सवाल :

क्या आप अनुमान लगा सकते हैं कि प्रत्येक परिदृश्य में दोनों वस्तुओं में से कौन-सी वस्तु पहले ज़मीन पर पहुँचेगी? अपने अनुमान दूसरों के साथ साझा करने के बाद, इन तीन परिदृश्यों को आज़माएँ और नतीजों का अवलोकन करें!

आप अपने जवाब को कैसे उचित ठहराएँगे?

i wonder... Rediscovering school science

रचनाकार :

सौरभ सोम अज़ीम प्रेमजी विश्वविद्यालय,भोपाल में कार्यरत हैं।

अनुवाद : सीमा **पुनरीक्षण :** उमा सुधीर **कॉपी एडिटर :** प्रतिका गुप्ता

Azim Premji University

विज्ञान शिक्षक काम पर

सवाल IV : कौन सबसे दूर तक जाता है?

समस्या का सन्दर्भ :

कल्पना कीजिए कि एक ही आकार की दो लोहे की गेंदें एक ही वेग से एक मेज़ जैसी क्षैतिज सतह पर लुढ़क रही हैं। एक गेंद खोखली है, जबकि दूसरी ठोस है। ठोस गेंद खोखली गेंद से 10 गुना भारी है।

दोनों गेंदें एक ही समय पर मेज़ के एक छोर से नीचे की ओर लुढ़कती हैं। खोखली गेंद मेज़ के आधार से DH की क्षैतिज दूरी तय करती है जबकि ठोस गेंद आधार से DS की क्षैतिज दूरी तय करती है।

सवाल :

निम्नलिखित में से कौन-सा कथन DH और DS के बीच के सम्बन्ध को सबसे अच्छे से दर्शाता है?

क. DH > DS

ख. DH < DS

ग. DH = DS

आप अपने जवाब को कैसे उचित ठहराएँगे?

रचनाकार :

सौरभ सोम अज़ीम प्रेमजी विश्वविद्यालय,भोपाल में कार्यरत हैं।

अनुवाद : सीमा **पुनरीक्षण :** उमा सुधीर **कॉपी एडिटर :** प्रतिका गुप्ता

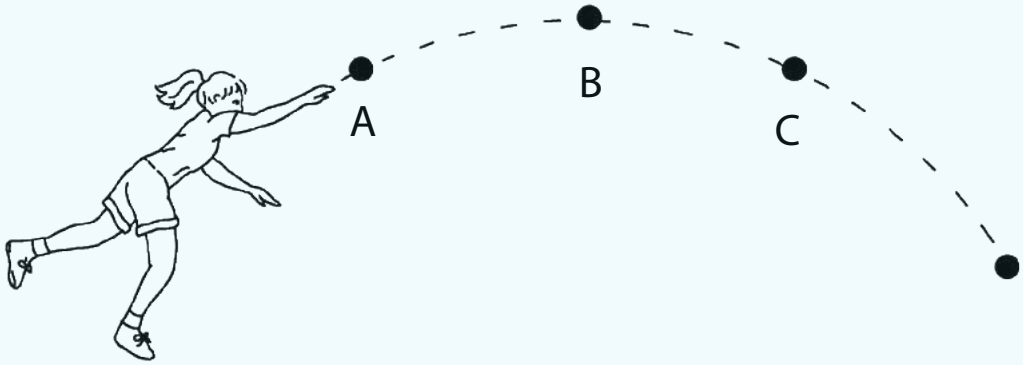
i wonder... Rediscovering school science

Azim Premji University

विज्ञान शिक्षक काम पर
सवाल V : फेंकने का बल कितनी देर तक काम करता है?

समस्या का सन्दर्भ :

जैसा कि नीचे दिखाया गया है, एक विद्यार्थी क्रिकेट की गेंद फेंकती है।



सवाल :

बिन्दु A, B और C को देखें। गेंद की उड़ान के इन बिन्दुओं पर गेंद पर कौन-सा बल काम करता है? कृपया गेंद पर हवा के प्रतिरोध के प्रभाव को नज़रअन्दाज़ करें।

आप अपने जवाब को कैसे उचित ठहराएँगे?

रचनाकार :

सौरभ सोम अज़ीम प्रेमजी विश्वविद्यालय,भोपाल में कार्यरत हैं।

अनुवाद : सीमा **पुनरीक्षण :** उमा सुधीर **कॉपी एडिटर :** प्रतिका गुप्ता

i wonder... Rediscovering school science

Azim Premji University