बल की वैकल्पिक अवधारणाओं की पड़ताल

सौरभ सोम

बल न्यूटोनियन यांत्रिकी की बहुत ही बुनियादी अवधारणा है और यह अपेक्षा की जाती है कि, शिक्षक और शिक्षक-प्रशिक्षक इसे अच्छी तरह से समझ लें। लेकिन न्यूटन के गति और गुरुत्वाकर्षण के नियमों से परिचित होने के बावजूद शिक्षक और शिक्षक-प्रशिक्षक बल के बारे में कई भ्रान्तियाँ पाले रहते हैं। यह लेख इन वैकल्पिक अवधारणाओं की जाँच-पड़ताल करने और उन्हें चुनौती देने के लिए प्रयोगों की एक पूरी शृंखला प्रस्तुत करता है।

बल को तथा न्यूटोनियन यांत्रिकी की अवधारणाओं को समझना प्रारम्भिक भौतिकी की बुनियाद है। लेकिन, यह भौतिकी का एक ऐसा हिस्सा भी है जिसे लेकर न सिर्फ़ विद्यार्थियों के बीच, बल्कि शिक्षकों और शिक्षक-प्रशिक्षकों[1-5] के बीच भी बहुत-सी वैकल्पिक अवधारणाएँ (या भ्रान्तियाँ) फैली हुई हैं। अक्सर तो, पेशेवर वैज्ञानिकों के पास भी इस बारे में अवधारणात्मक स्पष्टता नहीं होती।[6]

बल के बारे में अधिकांश भ्रान्तियाँ व्यक्तिगत ग़लतियों या संज्ञानात्मक सीमाओं की बजाय, ज़्यादा करके असल ज़िन्दगी के अनुभवों से उपजती हैं।

बल की प्रकृति के बारे में गैलीलियो-पूर्व और न्यूटन-पूर्व युगों की जो समझ थी, ये भ्रान्तियाँ किसी हद तक उससे मिलती-जुलती हैं। और ये इतनी गहराई तक लोगों के दिमाग़ में बैठी हुई हैं कि सिर्फ़ ग़लतियों की ओर इशारा कर देने से या सही जवाब बता देने से लोग इनमें बदलाव कर लेंगे, यह मुश्किल लगता है। इसकी बजाय, ज़रूरी यह है कि व्यक्ति विशेष की अवधारणात्मक संरचना की पड़ताल की जाए, और फिर संज्ञानात्मक टकराव पैदा करने के लिए तैयार की गई स्थितियों द्वारा इन अवधारणात्मक संरचनाओं को चुनौती दी जाए।[4]

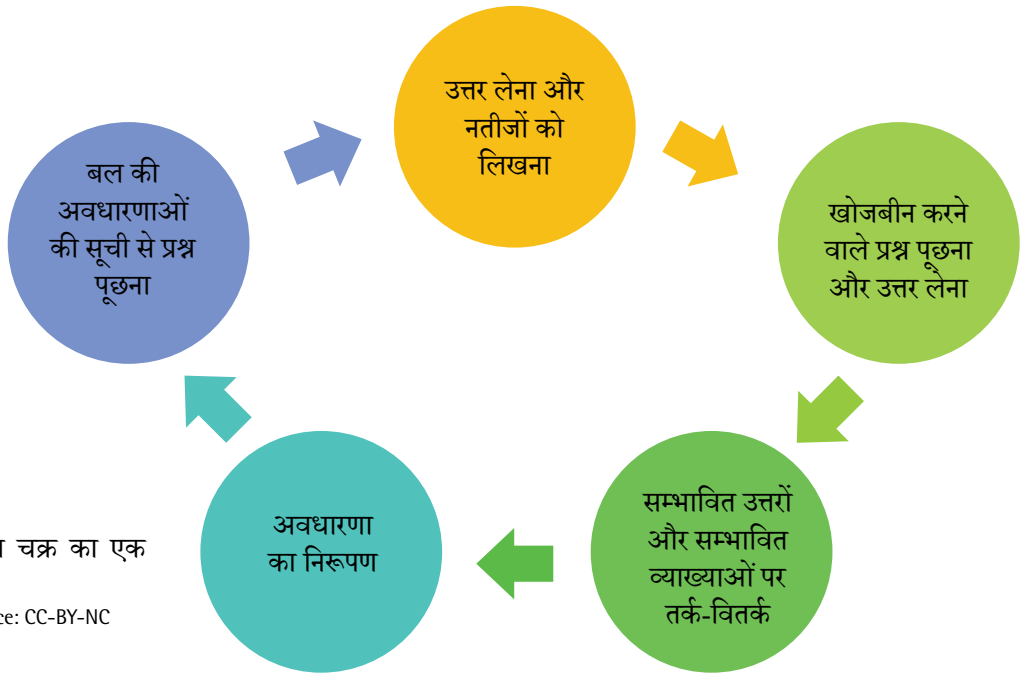
बल कैसे काम करते हैं, इसके बारे में शिक्षकों और शिक्षक-प्रशिक्षकों की कुछ सबसे आम भ्रान्तियों को दूर करने के लिए आयोजित किए गए एक कार्यशाला सत्र में हुए अपने अनुभवों को इस लेख में प्रस्तुत किया गया है।

कार्यशाला के प्रतिभागियों के बारे में

बलों पर आयोजित इस सत्र में उन्नीस शिक्षक और आठ शिक्षक-प्रशिक्षक शामिल हुए। ये सभी उत्तर भारत के एक राज्य के एक ही ज़िले में कार्यरत हैं।

ये सभी शिक्षक कम-से-कम दस सालों से प्राथमिक, माध्यमिक और हाईस्कूलों में विज्ञान और/या पर्यावरण अध्ययन पढ़ा रहे हैं। इनमें से कुछ के पास विज्ञान में स्नातक/स्नातकोत्तर डिग्री भी है।

इसके विपरीत, सभी शिक्षक-प्रशिक्षकों के पास विज्ञान में कम-से-कम स्नातकोत्तर डिग्री तो है ही, और स्कूलों में पढ़ाने का तथा शिक्षक-प्रशिक्षण का 0-15 सालों तक का सम्मिलित अनुभव भी है।



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

सत्र के ढाँचे का विवरण

इस सत्र को प्रतिभागियों के भीतर संज्ञानात्मक द्वन्द पैदा करने के उद्देश्य से रचा गया था। सत्र के प्रक्रिया चक्र का योजनात्मक आरेख **चित्र-1** में देखा जा सकता है।

सत्र के सामान्य प्रारूप के मुताबिक सबसे पहले, प्रतिभागियों के समक्ष कोई प्रश्न सन्दर्भ रखा गया, और फिर उनसे एक प्रश्न किया गया। प्रतिभागियों को प्रेरित किया गया कि वे अपने उत्तर, मौखिक रूप से बताए गए और बोर्ड पर लिखे कई सारे विकल्पों की सूची में से चुनें। हर प्रश्न के लिए, प्रतिभागी अपना विकल्प काग़ज़ की पर्ची पर लिख देते। फिर प्रश्नकर्ता इन पर्चियों को इकट्ठा कर लेते, और विभिन्न उत्तरों की आवृत्ति को नोट कर लेते। यह तरीक़ा उत्तरदाताओं की पहचान को गोपनीय रखने के लिए अपनाया गया।

पहले प्रश्न के अलावा, बाक़ी सभी प्रश्न बल की अवधारणाओं की सूची या एफसीआई[7] से लिए गए थे और सन्दर्भ के मुताबिक ढाल दिए गए थे। प्रश्नों को, और उत्तरों को भी, नए ढंग से व्यक्त किया गया ताकि वे

हम बल को कितनी अच्छी तरह से समझते हैं?

कोई गति नहीं, कोई बल नहीं!

प्रश्न-1 : एक ही दिशा की ओर मुड़ी हुई, बिलकुल एक-सी दो कुर्सियाँ, **अ** और **ब** हैं। एक व्यक्ति, **अ** कुर्सी पर बैठता है, और अपने हाथों को **ब** कुर्सी के पिछले हिस्से पर रख देता है। अचानक, वह व्यक्ति **ब** कुर्सी को धक्का देता है। इस धक्के के परिणाम को देखें। इस स्थिति में, निम्नलिखित में से कौन-सा कथन सही होगा?

i. न तो वह व्यक्ति और न ही **ब** कुर्सी एक-दूसरे पर कोई बल लगाते हैं।
ii. वह व्यक्ति **ब** कुर्सी पर बल लगाता है, पर कुर्सी उस व्यक्ति पर कोई बल नहीं लगाती।
iii. व्यक्ति और कुर्सी, दोनों एक-दूसरे पर बल लगाते हैं, लेकिन कुर्सी व्यक्ति पर ज़्यादा बल लगाती है।
iv. व्यक्ति और **ब** कुर्सी, दोनों एक-दूसरे पर बल लगाते हैं, लेकिन व्यक्ति कुर्सी पर ज़्यादा बल लगाता है।
v. व्यक्ति और कुर्सी एक-दूसरे पर एक जैसा बल लगाते हैं।

आप कौन-सा विकल्प चुनेंगे?

चित्र-2 : **अ** कुर्सी पर बैठा व्यक्ति, **ब** कुर्सी को धक्का देते हुए
Credits: Saurav Shome. License: CC-BY-NC

प्रतिभागियों के उत्तर : 22 (81%) प्रतिभागियों ने विकल्प नम्बर 2 चुना, जबकि पाँच (19%) प्रतिभागियों ने विकल्प नम्बर 5 चुना।

सरल हो जाएँ तथा प्रतिभागियों के लिए और ज़्यादा प्रासंगिक बन सकें। इसके अलावा, बहुविकल्पों की भाषा और क्रम में भी कुछ बदलाव कर दिए गए थे, ख़ासतौर से इसलिए ताकि ये प्रश्न मौखिक रूप में हिन्दी (क्योंकि प्रतिभागी इसी भाषा से सबसे ज़्यादा परिचित थे) में पूछे जा सकें।

उत्तरों की आवृत्ति को लिख लेने के बाद, प्रश्नकर्ता प्रतिभागियों से पड़ताल करने वाले प्रश्न पूछते ताकि चर्चाओं की और तर्क-वितर्क की शुरुआत हो सके। कुछ मामलों में, प्रश्नकर्ता विभिन्न प्रकार के उत्तरों पर चर्चा करते हुए नई अवधारणाओं को भी प्रतिभागियों के सामने रखते। जब किसी प्रश्न पर ख़ूब विस्तार से चर्चा कर ली जाती, और प्रतिभागियों में काफ़ी हद तक उसकी समझ दिखने लगती, तभी प्रश्नकर्ता अगले प्रश्न पर जाते।

उत्तर-1 : प्रश्न 1 का सही उत्तर, विकल्प नम्बर 5 में दिया गया है। फिर अधिकांश प्रतिभागियों ने विकल्प नम्बर 2 क्यों चुना?

प्रतिभागियों ने व्यावहारिक रूप से **अ** कुर्सी में कोई गति नहीं देखी, और इसके विपरीत, **ब** कुर्सी में उन्होंने अच्छी-ख़ासी गति देखी। उन्होंने बल लगाने को किसी वस्तु के गति करने से जोड़ लिया जो इस मामले में, एक कुर्सी का गति करना था। न्यूटन के गति के पहले नियम का ज़िक्र करते हुए प्रतिभागियों ने यह तर्क दिया कि चूँकि **अ** कुर्सी विराम की स्थिति में ही रही, इसलिए उस पर कोई बल काम नहीं कर रहा था।

उनकी यह बात ग़लत क्यों है? इस बात पर ध्यान देना ज़रूरी है कि इस विकल्प को चुनते समय, प्रतिभागियों ने दो महत्त्वपूर्ण तथ्यों की अनदेखी की - एक तो न्यूटन के गति के तीसरे नियम की, और घर्षण के बल की। न्यूटन के गति के तीसरे नियम के अनुसार, जब **अ** कुर्सी पर बैठा व्यक्ति **ब** कुर्सी पर बल लगाता है, तो **ब** कुर्सी भी ठीक उतना ही बल **अ** कुर्सी पर बैठे उस व्यक्ति पर लगाती है। पर जब ये दो कुर्सियाँ इस बल और गति का अनुभव करती हैं, तभी एक अन्य बल, घर्षण का बल, अपना काम शुरू कर देता है, और वह दोनों ही कुर्सियों के चकों के घूमने की दिशा की ठीक उलटी दिशा में काम करता है। दोनों कुर्सियों के भारों में अन्तर का असर यह होता है कि यद्यपि वे दोनों कुर्सियाँ धक्के के एक समान बल को झेलती हैं, पर वे एक से घर्षण बल

प्रश्न-2 : प्रश्न 1 के ही समान परिदृश्य की कल्पना करें। अन्तर सिर्फ़ यह है कि इस बार एक व्यक्ति **ब** कुर्सी पर भी बैठा है। **ब** कुर्सी पर बैठे व्यक्ति का द्रव्यमान, **अ** कुर्सी पर बैठे व्यक्ति के द्रव्यमान का लगभग 1.5 गुना है। **अ** कुर्सी पर बैठा व्यक्ति **ब** कुर्सी को अचानक धक्का देता है। देखें कि क्या होता है, और नीचे दिए गए कथनों में से ऐसा होने का सही स्पष्टीकरण चुनें।

i. न तो **अ** कुर्सी पर बैठा व्यक्ति, और न ही **ब** कुर्सी पर बैठा व्यक्ति एक-दूसरे पर कोई बल लगाते हैं।

ii. **अ** कुर्सी पर बैठा व्यक्ति, **ब** कुर्सी पर बल लगाता है, पर **ब** कुर्सी उस व्यक्ति पर कोई बल नहीं लगाती।

iii. **ब** कुर्सी, और **अ** कुर्सी पर बैठा व्यक्ति, एक-दूसरे पर बल लगाते हैं, लेकिन कुर्सी व्यक्ति पर अधिक बल लगाती है।

iv. **ब** कुर्सी, और **अ** कुर्सी पर बैठा व्यक्ति, दोनों एक-दूसरे पर बल लगाते हैं, लेकिन व्यक्ति कुर्सी पर अधिक बल लगाता है।

v. **ब** कुर्सी, और **अ** कुर्सी पर बैठा व्यक्ति, दोनों एक-दूसरे पर एक समान बल लगाते हैं।

vi. **ब** कुर्सी, **अ** कुर्सी पर बैठे व्यक्ति पर बल लगाती है, लेकिन **अ** कुर्सी पर बैठा व्यक्ति, **ब** कुर्सी पर बल नहीं लगाता।

आप कौन-सा विकल्प चुनेंगे?

चित्र-3 : **अ** कुर्सी पर बैठा व्यक्ति **ब** कुर्सी को धक्का देते हुए जिस पर दूसरा व्यक्ति बैठा हुआ है।
Credits: Saurav Shome. License: CC-BY-NC.

प्रतिभागियों के उत्तर : पन्द्रह (56%) प्रतिभागियों ने विकल्प नम्बर 3 चुना, पाँच (18%) ने विकल्प नम्बर 5 चुना, तीन (12%) ने विकल्प नम्बर 6 चुना, दो (7%) ने विकल्प नम्बर 2 चुना, और एक (4%) ने विकल्प नम्बर 1 चुना।

का अनुभव नहीं करतीं। चूँकि **अ** कुर्सी पर उसके ऊपर बैठे हुए व्यक्ति का अतिरिक्त भार भी है, अतः उसे, **ब** कुर्सी पर लगने वाले घर्षण बल की तुलना में अधिक घर्षण बल झेलना पड़ता है। इस वजह से दोनों कुर्सियाँ अलग-अलग दूरियों तक जाती हैं।

दिलचस्प बात है कि, जब प्रतिभागियों से न्यूटन के गति के तीसरे नियम के बारे में पूछा गया तो सभी ने बता दिया - "प्रत्येक क्रिया की सदैव बराबर एवं विपरीत दिशा में प्रतिक्रिया होती है", लेकिन इसे जानने का उनके उत्तरों पर कोई असर नहीं पड़ा।

उत्तर-2 : प्रश्न 2 का सही उत्तर विकल्प नम्बर 5 में दिया गया है। फिर प्रतिभागियों के उत्तरों में इतनी भिन्नता क्यों थी?

यह बिलकुल स्पष्ट है कि उन प्रतिभागियों ने, जिन्होंने विकल्प नम्बर 3 चुना, न्यूटन के गति के दूसरे नियम की अनदेखी की। सिर्फ़ तय की गई दूरी या पैदा हुए त्वरण की तुलना कर लेना यह निष्कर्ष निकालने के लिए काफ़ी नहीं है कि दोनों वस्तुओं पर लगने वाले बल की मात्रा एक-सी नहीं है। हमें दोनों वस्तुओं का द्रव्यमान भी जानना होगा। इसी प्रकार उन प्रतिभागियों ने, जिन्होंने विकल्प नम्बर 6 चुना, **ब** कुर्सी की गति को अनदेखा किया, क्योंकि वह **अ** कुर्सी की गति की तुलना में बहुत कम थी। इन दोनों ही मामलों में, उत्तरदाताओं ने दोनों वस्तुओं पर लग रहे बल की मात्रा का आकलन करने के लिए दोनों कुर्सियों द्वारा तय की गई दूरियों का तो सहारा लिया, लेकिन उनके अपने-अपने द्रव्यमानों की अनदेखी की। जिन दो प्रतिभागियों ने विकल्प नम्बर 2 चुना, उन्होंने यह गलत धारणा बनाई कि सिर्फ़ सजीव वस्तुएँ या वे वस्तुएँ जिनके पास धक्का देने का इरादा हो, ही बल लगा सकती हैं। एक प्रतिभागी ने तो यह भी कहा कि न तो वह व्यक्ति और न ही कुर्सी एक-दूसरे पर कोई बल लगा रहे थे - विकल्प नम्बर 1।

इस पड़ाव पर, प्रतिभागियों से, प्रश्न 1 और प्रश्न 2 के लिए उनके द्वारा दिए गए उत्तरों की तुलना करने के लिए कहा गया। हालाँकि कई मामलों में, इन दो निरूपणों से प्राप्त उत्तर परस्पर विरोधी थे, लेकिन दोनों ही के उत्तर बल के बारे में उनके भीतर बैठी एक-सी भ्रान्तियों से निकले थे। अधिकांश प्रतिभागियों ने पहले निरूपण को समझाने के लिए यह कहा था कि सिर्फ़ **अ** कुर्सी पर बैठा व्यक्ति ही **ब** कुर्सी पर बल लगा रहा था। और दूसरे निरूपण में, अधिकांश प्रतिभागियों ने कहा था कि **अ** कुर्सी पर बैठा व्यक्ति और **ब** कुर्सी, दोनों ही एक-दूसरे पर बल लगा रहे थे, लेकिन दोनों बलों के परिमाण में असमानता थी। पहले मामले में, **ब** कुर्सी ख़ाली थी, और दूसरे मामले में, इस कुर्सी पर एक गतिहीन व्यक्ति बैठा हुआ था, जो कि **अ** कुर्सी पर बैठे हुए व्यक्ति से भारी था।

यह पहले बताया गया है कि इन दोनों ही प्रश्नों के उत्तर देते वक्त अधिकांश प्रतिभागियों ने वस्तु पर लगने वाले बल के साथ सिर्फ़ वस्तुओं द्वारा की जाने वाली गति की मात्रा को जोड़कर देखा था। हालाँकि प्रोत्साहित करने वाली बात यह है कि इससे प्रतिभागियों के बीच एक चर्चा छिड़ गई जिसमें उन्होंने इन अन्तर्विरोधों को स्वीकार करना और उन पर चिन्तन करना शुरू किया। हालाँकि वे अभी भी दोनों में से किसी भी प्रश्न की स्थितियों पर न्यूटन के गति के तीसरे नियम को लागू नहीं कर पा रहे थे।

भारी और हल्की, दोनों ही वस्तुएँ एक ही समय पर ज़मीन पर गिरती हैं।

प्रश्न-3 : नीचे दिए गए तीनों परिदृश्यों में, एक-सी ऊँचाई से दो वस्तुएँ गिराई जाती हैं। इनमें से कौन-सी वस्तु ज़मीन पर पहले गिरेगी?

परिदृश्य 1. एक ख़ाली बोतल बनाम पानी से पूरी तरह से भरी हुई एक बोतल।

परिदृश्य 2. एक बटुआ बनाम काग़ज़ का एक पन्ना।

परिदृश्य 3. एक कॉपी बनाम उसी कॉपी का एक पन्ना।

आप क्या कहेंगे कि इनमें से कौन-सी वस्तुएँ पहले नीचे गिरेंगी?

गुरुत्वाकर्षण बल सभी वस्तुओं पर एक समान लगता है!

प्रश्न-4 : कल्पना करें कि एक से आकार की लोहे की दो गेंदें एक क्षैतिज मेज़ पर बिलकुल एक समान वेग से लुढ़क रही हैं। इनमें से एक गेंद अन्दर से खोखली है, जबकि दूसरी गेंद ठोस है। ठोस गेंद, खोखली गेंद से 10 गुना भारी है। दोनों गेंदें एक ही समय पर मेज़ के किनारों से गिरती हैं। खोखली गेंद, मेज़ के आधार भाग से DH की क्षैतिज दूरी पर ज़मीन को छूती है, जबकि ठोस गेंद मेज़ के आधार भाग से, आड़े-तिरछे जाते हुए DS की क्षैतिज दूरी तय करती है। DH और DS के बीच के सम्बन्ध को निम्नलिखित में से कौन-सा कथन सबसे सही रूप में बताता है?

i. DH > DS

ii. DH < DS

iii. DH = DS

प्रतिभागियों के उत्तर : सत्रह (65%) प्रतिभागियों ने विकल्प नम्बर 1 को चुना, एक (4%) ने विकल्प नम्बर 2 को चुना, और आठ (31%) ने विकल्प नम्बर 3 को चुना।

आप कौन-से विकल्प को चुनेंगे?

इस मोड़ पर भी, इन दो प्रश्नों के सही उत्तर बताने या समझाने की कोई कोशिश नहीं की गई। इसकी बजाय, कुर्सियों की असमान गति को समझने में प्रतिभागियों की मदद करने के लिए प्रश्नकर्ता ने न्यूटन के गुरुत्वाकर्षण नियम के साथ उनका परिचय कराया। न्यूटन के गति के तीन नियमों और न्यूटन के गुरुत्वाकर्षण के नियम के बीच सम्बन्ध की ओर प्रतिभागियों का ध्यान

प्रेरक बल के कारण गति!

प्रश्न-5 : एक लड़की क्रिकेट की गेंद को फेंकती है, जैसा कि **चित्र-4** में दिखाया गया है। गेंद की उड़ान के दौरान उस पर, **अ**, **ब** और **स** बिन्दुओं पर कौन-सा/कौन-से बल लगता/लगते हैं? गेंद पर पड़ने वाले वायु प्रतिरोध के प्रभाव के बारे में कृपया कोई विचार न करें।

आप इस प्रश्न का उत्तर किस प्रकार देंगे?

आकर्षित करने के लिए ख़ासतौर से यह बताया गया कि पृथ्वी द्वारा किसी भी वस्तु पर लगने वाला बल, उस वस्तु द्वारा पृथ्वी पर लगने वाले बल के ठीक बराबर होता है।

उत्तर-3 : **पहला परिदृश्य** सामने रखे जाने पर, प्रतिभागियों ने पूर्वानुमान लगाया कि दोनों बोतलें एक ही समय पर ज़मीन पर गिरेंगी। इसे प्रमाणित करने के लिए, पानी की दो बोतलों (एक ख़ाली, एक भरी) के साथ यह प्रयोग किया गया। जैसा कि प्रतिभागियों का सुझाव था, दोनों बोतलों को उत्तरोत्तर बढ़ती ऊँचाइयों से फेंका गया। जैसा कि पूर्वानुमान उन्होंने लगाया था, हर बार, दोनों बोतलें लगभग एक ही समय पर ज़मीन पर गिरीं।

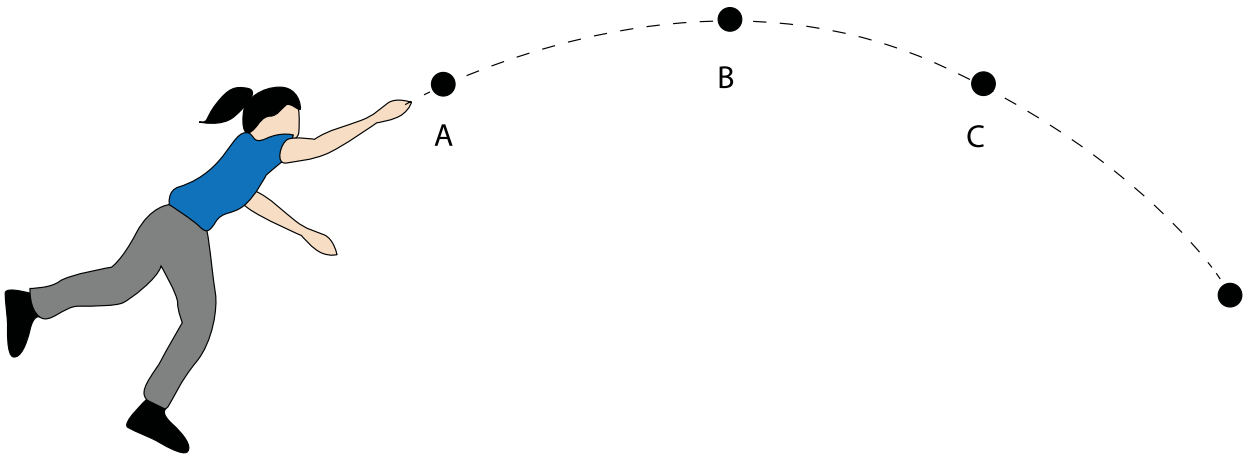
दूसरे परिदृश्य के उत्तर में, प्रतिभागियों ने पूर्वानुमान लगाया कि बटुआ, काग़ज़ के पन्ने की तुलना में ज़मीन पर जल्दी गिरेगा। और प्रयोग करने पर उनका यह पूर्वानुमान सही सिद्ध हो गया। जब प्रतिभागियों से उनके इस अवलोकन का कारण पूछा गया, तो उन्होंने इस ओर इशारा किया कि काग़ज़ के अपेक्षाकृत अधिक पृष्ठीय क्षेत्रफल से होने वाले अधिक वायु प्रतिरोध के कारण काग़ज़, बटुए की तुलना में धीरे गिरता है।

तीसरे परिदृश्य को प्रस्तुत करने के लिए, एक कॉपी और उसी कॉपी में से एक पन्ना लिया गया ताकि यह सुनिश्चित किया जा सके कि दोनों ही वस्तुओं का पृष्ठीय क्षेत्रफल एक समान हो। इन वस्तुओं को एक निश्चित ऊँचाई से गिराते वक़्त दोनों का मुँह क्षैतिज दिशा में रखा गया। कॉपी की तुलना में काग़ज़ धीरे गिरा। प्रतिभागियों को यह बताया गया कि ऐसा इसलिए हुआ क्योंकि हल्का होने की वजह से काग़ज़, अपेक्षाकृत भारी कॉपी की तुलना में वायु प्रतिरोध से आसानी से पार नहीं पा सका। इसके विपरीत, जब इन दो वस्तुओं को, इनके मुँह को लम्बवत रखकर नीचे फेंका गया तो दोनों लगभग एक ही समय पर नीचे गिरीं।

इन प्रयोगों से सभी प्रतिभागियों ने इस बात को स्वीकार किया, कि सभी वस्तुएँ, भले ही उनका द्रव्यमान कुछ भी हो, अगर एक-सी ऊँचाई से फेंकी जाती हैं तो वे ज़मीन पर लगभग एक ही समय पर गिरती हैं।

उत्तर-4 : इस प्रश्न का सही उत्तर विकल्प नम्बर 3 में दिया गया है। फिर अधिकांश प्रतिभागियों के उत्तर इससे भिन्न क्यों थे?

प्रतिभागी इस प्रश्न की परिस्थिति में गुरुत्वाकर्षण बल की अपनी समझ को लागू कर सकें, इसके लिए किए गए प्रयास में प्रश्नकर्ता ने प्रतिभागियों से उन बलों के नाम पूछे जो मेज़ की सतह को छोड़ने पर गेंदों पर लग रहे थे। जहाँ कुछ प्रतिभागियों ने गुरुत्वाकर्षण बल का नाम लिया, वहीं एक प्रतिभागी ने दलील दी कि गुरुत्वाकर्षण बल तो गेंदों पर तब भी लग रहा था जब वे मेज़ की सतह पर गति कर रही थीं। विकल्प नम्बर 1 के चुनाव को सही ठहराते हुए प्रतिभागियों ने इस स्थिति की तुलना, हल्की और भारी वस्तुएँ फेंकने के असल ज़िन्दगी के अनुभवों से की, और दलील दी



चित्र-4: एक लड़की द्वारा फेंकी गई गेंद पर विभिन्न बल लगते हैं। Credits: Saurav Shome. License: CC-BY-NC

कि समान बल के साथ फेंकने पर भी भारी वस्तुओं की तुलना में हल्की वस्तुएँ ज़्यादा दूर जाती हैं।

यह दिलचस्प बात है कि न्यूटन के गुरुत्वाकर्षण के नियम से अवगत होने के बाद भी, प्रतिभागियों का नज़रिया अभी भी यही था कि गुरुत्वाकर्षण बल का परिमाण उस वस्तु के द्रव्यमान से स्वतंत्र होता है जिस पर वह लग रहा होता है। इस प्रश्न से पहले किए गए, ज़मीन पर एक साथ गिरने वाली विभिन्न वस्तुओं के प्रयोगों ने प्रतिभागियों की इस भ्रान्ति को चुनौती नहीं दी। सभी वस्तुएँ पृथ्वी की ओर समान तेज़ी-से गिरती हैं, और इसका कारण इन वस्तुओं पर लगने वाला समान गुरुत्वाकर्षण बल न होकर वस्तुओं में पैदा हुआ समान त्वरण होता है। प्रतिभागियों ने ग़लती करते हुए समान त्वरण को समान बल के बराबर मान लिया।

इस प्रश्न के उत्तरों ने बलों के ऐसे तीन और पहलुओं को स्पष्ट कर दिया जिन्हें समझना मुश्किल होता है :

1. गति की दिशा के लम्बवत लग रहा बल कोई काम नहीं करता।
2. न्यूटन के गति के नियम, किसी वस्तु पर एक साथ लग रहे विभिन्न बलों के वियोजन का पूर्वानुमान लगाने में मदद करते हैं।
3. किसी वस्तु की गति को बनाए रखने के लिए प्रेरक बल की कोई ज़रूरत नहीं होती।

उत्तर-5 : प्रतिभागियों द्वारा दिए गए उत्तर बड़े दिलचस्प और विविध प्रकार के थे। सभी प्रतिभागियों की राय थी कि बिन्दु **अ** पर, गेंद पर दो बल लग रहे थे। एक, गुरुत्वाकर्षण का बल, और दूसरा वह बल जिसके साथ गेंद फेंकी गई थी। कुछ प्रतिभागियों ने यह भी सही कहा कि गेंद पर वायु घर्षण का बल भी लग रहा था।

लेकिन, बिन्दुओं **ब** और **स** पर, गेंद पर लगने वाले बलों की प्रकृति को लेकर प्रतिभागियों के नज़रिये अलग-अलग थे। दस (38%) प्रतिभागियों का सोचना था कि गेंद को फेंकने का बल बिन्दु **ब** पर शून्य हो जाएगा, और जब तक गेंद बिन्दु **स** पर पहुँची तो उस पर सिर्फ़ गुरुत्वाकर्षण का बल ही लग रहा था। इसके विपरीत, 16 (62%) प्रतिभागियों का यह सोचना था कि गेंद पर, फेंकने का बल उसके ज़मीन छूने तक बना रहेगा। लेकिन, इस फेंकने के बल का परिमाण गेंद के प्रक्षेप पथ के हर बिन्दु पर घटता जाएगा। इसलिए, बिन्दु **ब** पर, यह बल गुरुत्वाकर्षण बल के बराबर हो जाएगा, और बिन्दु **स** पर, यह गुरुत्वाकर्षण बल की तुलना में काफ़ी कमज़ोर हो जाएगा।

इस बिन्दु पर, बल्ले से मारे जाने पर एक गेंद के प्रक्षेप पथ का प्रदर्शन किया गया, और प्रतिभागियों से यह पूर्वानुमान लगाने को कहा गया कि गेंद पर, बल्ले से मारे जाने का बल कितने लम्बे समय तक लगता रहेगा। सभी प्रतिभागियों ने उत्तर दिया कि यह बल, गेंद के ज़मीन पर पहुँच जाने तक उस पर लगता रहेगा। प्रतिभागियों को यह बताते हुए कि जिस व्यक्ति ने गेंद को बल्ले से मारा था, वह गेंद के साथ-साथ नहीं चल रहा था, उनसे यह पूछा गया कि गेंद को जिस बल के साथ मारा गया था वह गेंद के साथ-साथ कैसे चलेगा? इसके अलावा, अगर बल्ले से मारे जाने का बल गेंद के साथ-साथ चल रहा था तो फिर गेंद और आगे जाने की बजाय एक निश्चित दूरी तक जाने के बाद रुक क्यों गई? और बाद में, जब गेंद और बल्ले के बीच कोई सम्पर्क ही नहीं रह गया था तो फिर बल्ले से मारे जाने का बल गेंद पर स्थानान्तरित कैसे हो गया?

इस बिन्दु को और स्पष्ट करने के लिए, प्रतिभागियों से उस स्थिति पर विचार करने के लिए कहा गया जब परिदृश्य तो यही हो लेकिन गेंद पर कोई गुरुत्वाकर्षण बल न लग रहा हो। न्यूटन के गति के पहले नियम के अनुसार, गुरुत्वाकर्षण से मुक्त किसी परिवेश में गेंद को फेंके जाने पर क्या होगा? गेंद का प्रक्षेप पथ क्या होगा? इस स्थिति पर न्यूटन का गति का पहला नियम लागू करने से प्रतिभागी यह पूर्वानुमान लगा सके कि गेंद एक सीधी रेखा में गति करती रहेगी। उन्होंने यह भी समझाया कि ऐसा गति के जड़त्व के कारण होगा, न कि गेंद को बल्ले से मारे जाने के बल के कारण। लेकिन, गुरुत्वाकर्षण बल के होने पर गेंद घुमावदार पथ पर गति करती है। इससे प्रतिभागियों ने यह निष्कर्ष निकाला कि जब गेंद पर बल्ले से प्रहार किया गया, उसके बाद उस पर सिर्फ़ एक ही बल लगता रहा, और यह बल था गुरुत्वाकर्षण बल।

दिलचस्प बात यह है कि कुछ प्रतिभागियों ने इस स्पष्टीकरण पर असन्तोष जताया। उदाहरण के लिए, एक प्रतिभागी ने कहा, "यह कैसे सम्भव है कि, गेंद गुरुत्वाकर्षण बल के प्रभाव में अपना प्रक्षेप पथ बना लेती है, और उसके गति करने की दिशा में और कोई भी बल नहीं लग रहा था?"

इस चर्चा को फिर वापस प्रश्न-3 पर लाया गया, और प्रतिभागियों को याद दिलाया गया कि वस्तुओं का द्रव्यमान कुछ भी हो, वे सभी समान त्वरण के साथ पृथ्वी पर गिरती हैं। यह सुनने पर, कुछ प्रतिभागियों ने यह निष्कर्ष निकाला कि प्रश्न-4 की दोनों गेंदें ज़मीन पर पहुँचने में समान वक़्त लगाएँगी। इस सत्र के अन्त तक, कई प्रतिभागी इस तथ्य को समझने लगे थे कि न्यूटन के गति के तीसरे नियम का मतलब यह था कि बल जोड़ों में काम करते हैं, और मुक्त रूप से गिर रही वस्तुओं पर सिर्फ़ गुरुत्वाकर्षण बल लगता है। लेकिन अभी भी, तीसरे प्रश्न का उत्तर नहीं मिल पाया था।

निष्कर्ष

विज्ञान के कई विद्यार्थी और शिक्षक बल, ऊर्जा और संवेग में अन्तर करना बहुत मुश्किल पाते हैं।

प्रतिभागियों को यह बात याद दिलाई गई,

कि ऊर्जा और संवेग वस्तु की संरक्षित राशियाँ और गुण होते हैं, जो उसके साथ चलते रहते हैं, जबकि बल न तो वस्तु के साथ-साथ चलता है और न ही वह संरक्षित ही रहता है। लेकिन यह समझ में आया कि प्रतिभागियों की समझ में अवधारणात्मक बदलाव लाने के लिए, सिर्फ़ ये कथन पर्याप्त नहीं हैं। उदाहरण के लिए, इस कार्यशाला सत्र के प्रतिभागी न्यूटन के गति के नियमों और गुरुत्वाकर्षण के नियम को बता पाए, लेकिन उन्होंने इन दोनों ही नियमों की अपर्याप्त समझ दर्शाई। उनमें बल को गति से जोड़ने की प्रवृत्ति दिखाई दी, बनिस्बत जड़त्व को गति से जोड़ने के, जबकि यह विचार प्रेरक बल के विचार से मिलता-जुलता है।

इसी प्रकार, हो सकता है कि बल पर होने वाली क्रियाओं को दिखाने के लिए किए जाने वाले प्रयोग भी विद्यार्थियों के भीतर गैलीलियन और न्यूटोनियन यांत्रिकी में बल की अवधारणात्मक समझ पैदा करने के लिए काफ़ी न हों। उदाहरण के लिए, इस बात को, कि मुक्त रूप से गिरने वाली सभी वस्तुएँ ज़मीन की तरफ़ समान तेज़ी-से जाती हैं, विस्तृत प्रयोगों के माध्यम से दिखाने के बावजूद प्रतिभागी अपनी इस शुरुआती समझ से ही चिपके रहे कि किसी वस्तु का द्रव्यमान, उस वस्तु द्वारा ज़मीन पर पहुँचने के बाद तय की गई आड़ी-तिरछी क्षैतिज दूरी को प्रभावित करता है। ऐसा प्रतीत हुआ कि उनकी वैकल्पिक धारणाएँ कम-से-कम तीन स्तरों पर भौतिक राशियों के बीच फ़र्क़ करने में उनकी असमर्थता से उपजती हैं। ये हैं **अ)** यांत्रिक बल और गुरुत्वाकर्षण बल, **ब)** ऊर्जा और बल, **स)** वेग और त्वरण।

शिक्षकों के साथ किए गए अपने सर्वेक्षण से हमें ऐसा लगता है कि सहज बुद्धि के विपरीत जाने वाले उदाहरणों के इर्द-गिर्द प्रश्न पूछना, शिक्षकों के लिए, विद्यार्थियों को उनके सीखने से जुड़ी भ्रान्तियों को दूर करने में मदद करने का बहुत अच्छा तरीक़ा हो सकता है। हमने ऐसे कुछ उदाहरणों को समझाया है। लेकिन इनमें कई तरीक़ों से बदलाव किया जा सकता है। उदाहरण के लिए, प्रश्न 1 और 2 के उत्तरों की चर्चा करते हुए, दूसरे तरह के प्रदर्शनों को प्रयोग में भी शामिल किया जा सकता है। जैसे विद्यार्थियों की अदला-बदली कर दी जाए, या अपेक्षाकृत अधिक वज़न वाले विद्यार्थी को **अ** कुर्सी पर बैठा दिया जाए, कम वज़नी विद्यार्थी को **ब** कुर्सी पर बैठा दिया जाए, और ज़्यादा वज़नी विद्यार्थी **ब** कुर्सी को धक्का दे। या फिर, दोनों कुर्सियों के द्रव्यमानों को बराबर कर दिया जाए, और हरेक स्थिति में कुर्सियों द्वारा सापेक्ष दूरियों की तुलना की जाए। प्रयोगों के क्रम और बीच में किए जाने वाले प्रश्नों को इस प्रकार बनाया जा सकता है कि, वे चर्चाओं में उभरने वाली अवधारणात्मक 'कठिनाइयों' के साथ जुड़ जाएँ। प्रश्न-4 की परिस्थिति में यह किया जा सकता है कि, खोखली और ठोस गेंदों को उत्तरोत्तर बढ़ती ऊँचाइयों से गिराया जाए।

अब आपकी बारी है। अपने विद्यार्थियों के साथ आज ही इनमें से कुछ प्रयोगों को करें। हो सकता है कि आप उनके उत्तरों को जानकर अचरज करें!

Note: Credits for the image used in the background of the article title: Accelerated freefall. Tony Danbury. Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AFF_Level_1_-_Skydive_Langar.jpg. License: CC-BY.

आभार : लेखक कार्यशाला में आए प्रतिभागियों; जिला संस्थान, अज़ीम प्रेमजी फ़ाउण्डेशन, ऊधम सिंह नगर के विज्ञान दल के सदस्यों और अज्ञात समीक्षकों के आभारी हैं। इसके अलावा, लेखक इस लेख को पढ़ने योग्य और प्रकाशित करने योग्य बनाने में अपना योगदान देने के लिए चित्रा और राम जी के भी ऋणी हैं।

References

1. Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. American Journal of Physics, 50(1), 66-71.
2. Halloun, I. A., & 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. USA: Harper Torchbook.
7. Hestenes, D., Wells, M., and Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. The Physics Teacher, 30 (3), 141 – 158.

सौरभ सोम अज़ीम प्रेमजी फ़ाउण्डेशन में काम करते हैं। उनसे sauravshome@azimpremjifoundation.org या shome-saurav@gmail.com पर सम्पर्क किया जा सकता है। **अनुवाद :** भरत त्रिपाठी