आर्कमिडीज के सिद्धान्त खेल-खेल में

मनीष यादव

यह लेख, प्यासे कौए जैसी बच्चों की प्रिय कथाओं तथा आसानी से उपलब्ध सामग्री के साथ किए गए खुले विकल्पों वाले प्रयोगों के माध्यम से, विज्ञान शिक्षकों के एक समूह के द्वारा आर्कमिडीज के सिद्धान्त और उससे सम्बन्धित अवधारणाओं की खोजबीन करने के प्रयास को प्रस्तुत करता है।

अधिकांश शिक्षक भौतिकशास्त्र के सिखाने और सीखने में प्रयोगों की आवश्यकता के बारे में सहमत होते हैं। परन्तु स्कूलों में करवाए जाने वाले प्रयोगों में अक्सर विद्यार्थियों से निर्देशों की एक शृंखला का अनुसरण करने को कहा जाता है, ताकि वे एक पहले से निर्धारित परिणाम पर पहुँच सकें या पहले व्यक्त किए गए किसी नियम की सत्यता की पुष्टि कर सकें। इस पद्धति का लक्ष्य पूर्वानुमानित परिणामों पर पहुँचना अधिक होता है, बजाय इसके कि विद्यार्थियों को खुद सवालों की छानबीन करने की दृष्टि से प्रोत्साहित किया जाए। शायद यह उन कारणों में से एक है जिनकी वजह से शिक्षक अपनी कक्षाओं में प्रयोग करने में बहुत कम सार्थकता देखते हैं। तो फिर प्रयोगों के बारे में हम किस नई दृष्टि से सोचें जिनसे वे स्कूल में भौतिकशास्त्र पढ़ाने में उपयोगी साबित हों?

इस लेख में, हम आर्कमिडीज के सिद्धान्त का उपयोग इस प्रश्न के उत्तरों की खोजबीन करने के लिए करेंगे।

गतिविधि 1 : प्यासा कौआ और आर्कमिडीज का सिद्धान्त

हममें से बहुत लोगों ने उस प्यासे कौए की कहानी सुनी होगी जिसने एक मिट्टी के घड़े से पानी पीने के लिए कंकड़ों का इस्तेमाल किया। लेकिन क्या कभी आपने इस कहानी की सत्यता की पुष्टि करने का प्रयास किया है? घड़े में पानी का प्रारम्भिक स्तर कौए के पानी तक पहुँचने में क्या भूमिका निभाता है? घड़े में बहुत से छोटे-छोटे कंकड़ों को डालने के बजाय, यदि हम एक बड़े पत्थर को धीरे से घड़े में डालें तो क्या होगा? घड़े में मौजूद पानी तक पहुँचने के लिए उसमें और क्या (कंचे, सब्जियों के टुकड़े आदि) डाल सकते हैं? इस जाँच-

प्यासे कौए की कहानी

गर्मियों के एक तपते हुए दिन एक प्यासा कौआ पानी की तलाश में भटक रहा था। काफी खोजने के बाद, उसे एक घड़ा मिला जिसमें कुछ पानी था। कौए ने घड़े में अपना सिर डालकर पानी पीने की कोशिश की, किन्तु वह उसमें मौजूद पानी तक नहीं पहुँच सका। फिर उसने घड़े को झुकाने की कोशिश की ताकि कुछ पानी उसमें से बहकर बाहर आ जाए, लेकिन घड़ा उसके लिए बहुत भारी था। आसपास देखने पर कौए को बहुत से छोटे कंकड़ दिखाई दिए। उसने अपनी चोंच का इस्तेमाल करते हुए एक-एक करके उन कंकड़ों को घड़े में डाला। पानी का तल ऊपर आ गया। कौए ने पानी पिया और खुशी-खुशी उड़ गया।

पड़ताल से हम क्या निष्कर्ष निकाल सकते हैं? क्या यह कहना सही होगा कि पानी का तल घड़े की किनारी तक केवल तभी पहुँचता है जब घड़े में इसके लिए पहले से ही पर्याप्त पानी हो? क्या इस 'पर्याप्त' पानी का स्तर घड़े के आयतन का आधा या दो-तिहाई होगा?

जैसा कि आप देख सकते हैं, यह सरल कहानी आर्कमिडीज के सिद्धान्त की छानबीन करने की शुरुआत करने में हमारी मदद कर सकती है। एक विज्ञान शिक्षक के नाते कल्पना कीजिए कि आपकी भौतिकशास्त्र की कक्षा में यह प्रयोग किया जा रहा है। बहुत सम्भावना है कि आपके विद्यार्थी मुस्कुराते हुए पानी के स्तर और कंकड़ों के बारे में चर्चा करते हुए दिखाई देंगे। हमने इस गतिविधि को विज्ञान के शिक्षकों के साथ किया, और जैसा कि आप **चित्र 1** में देख सकते हैं, उन्हें इन सवालों के उत्तर खोजने में बहुत मजा आया।

एक बार जब विद्यार्थी इस गतिविधि को समाप्त कर लें तो उनके

चित्र 1 : प्यासे कौए की कहानी की सत्यता की पुष्टि करते हुए, 'लेट्स डू फिजिक्स (आओ हम भौतिक विज्ञान करें)' इकाई के शिक्षक, प्रशिक्षण कार्यशाला, निवाई, दिसम्बर 3-4, 2012। स्रोत - अजीम प्रेमजी फाउण्डेशन, टोंक टीम।

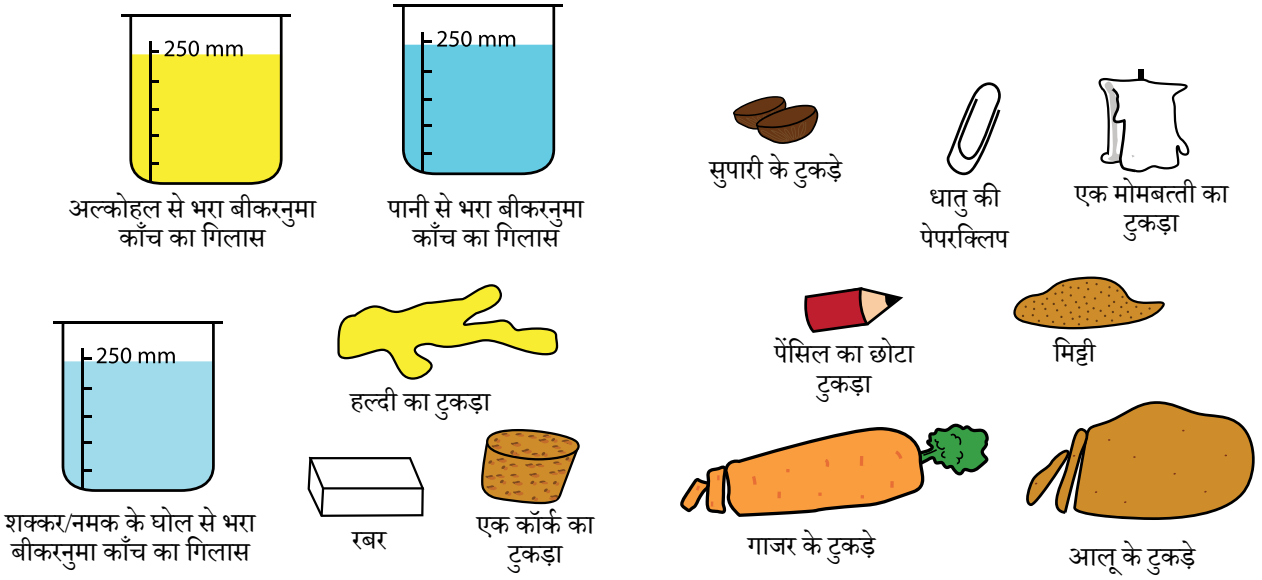
साथ चर्चा करना बेहद महत्वपूर्ण है। अलग-अलग सामग्रियों के डूबने और उतराने (फ्लोटेशन) के गुण की ओर उनका ध्यान आकर्षित करने के लिए शिक्षक इस तरह के सवाल पूछ सकते हैं जैसे 'क्या पानी के स्तर को बढ़ाने के लिए हम थर्माकोल के टुकड़े डाल सकते हैं?'

गतिविधि 2 : वे कारक जो द्रव की सतह पर उतराने को प्रभावित करते हैं

प्रक्रिया : इस प्रयोग को करने की सबसे अच्छी स्थिति इसे एक सामूहिक गतिविधि की तरह करना है। विद्यार्थियों से उनके पूर्व अनुभवों या उनकी धारणाओं के आधार पर पूर्वानुमान लगाने को कहें कि उन्हें प्रदान किए गए तीन प्रकार के द्रवों में कोई विशेष वस्तु सतह पर उतराएगी या उसमें डूब जाएगी। उन्हें इन द्रवों के गिलासों में डाली जाने वाली वस्तुओं तथा उन गिलासों में मौजूद द्रवों, दोनों के गुणधर्मों को ध्यान में रखते हुए इन अवलोकनों के बारे में सोचने के लिए प्रोत्साहित करें। जब वे अपने पूर्वानुमान लगा लें, तब उन्हें दिए गए इन द्रवों में विभिन्न वस्तुओं को डालकर उन पूर्वानुमानों की पड़ताल करने को कहें।

डूबना या उतराना : विद्यार्थियों को वस्तुओं के उतराने या डूबने के गुणों के बारे में, और इसका सम्बन्ध जिन द्रवों में उन्हें

> किसी द्रव की सतह पर किसी वस्तु का उतराना (फ्लोटिंग) या उसमें उसका डूब जाना, वस्तु और द्रव दोनों के गुणधर्मों पर निर्भर करता है।



चित्र 2 : गतिविधि 2 के लिए आवश्यक सामग्री। बीकरनुमा काँच के 3 गिलास (जिनमें से प्रत्येक का आयतन 250 मिलीलीटर हो), उनमें से एक में अल्कोहल भरा हो, दूसरे में पानी और तीसरे में शक्कर या नमक का घोल। एक कॉर्क का टुकड़ा, एक रबर, हल्दी का टुकड़ा, सुपारी के टुकड़े, धातु की पेपरक्लिप, एक मोमबत्ती का टुकड़ा, पेंसिल का छोटा टुकड़ा, कुछ मिट्टी, और गाजर तथा आलू के कुछ टुकड़े।

डाला जाता है उनके गुणों से भी होने के बारे में ज्यादा गहराई से सोचने को प्रेरित करने के लिए आप उनसे कई विविध प्रकार के प्रश्न पूछ सकते हैं। ऐसे प्रश्नों के कुछ उदाहरण हैं - क्या तुम्हें कोई ऐसी वस्तुएँ मिलीं जो तीनों द्रवों में सतह पर उतराती हैं? क्या इसका कोई कारण है कि कोई वस्तु जो ग्लिसरोल में डूब जाती है, वह अल्कोहल में और पानी में भी डूब जाती है? यह वस्तु इन तीनों प्रकार के द्रवों में क्यों डूब जाती या उतराती है? दबाकर गेंद जैसा बना दिया गया अल्यूमिनियम का एक पत्तर क्यों पानी की सतह पर तैरता रहता है - क्या आप कोई तरीका सोच सकते हैं जिससे कि वह पानी में डूब जाए?

यह गतिविधि स्वाभाविक रूप से हमारे अगले सवाल की ओर ले जाती है - वस्तुओं या द्रवों के वे कौन से गुणधर्म हैं जो उन्हें सतह पर उतराने को प्रभावित करते हैं? सरलता के लिए, आइए हम पहले एक ही प्रकार के द्रव, जैसे कि पानी, के बारे में और उसकी सतह पर उतराने वाली विभिन्न वस्तुओं के बारे में विचार करें। बहुत सम्भावना है कि स्कूल के स्तर के विद्यार्थी इस सवाल का उत्तर द्रव्यमान (मास), आयतन, घनत्व, क्षेत्रफल, जैसी अवधारणाओं का उल्लेख करते हुए देंगे। हो सकता है कि आपको ऐसे उत्तर भी मिलें जैसे कि रंग या लम्बाई। गतिविधि 2 में ऐसी वस्तुओं को चुनें जो रंग तथा लम्बाई की दृष्टियों से बहुत अलग-अलग तरह की हों, जिससे यह देखा जा सके कि इन गुणों का उतराने से कोई सम्बन्ध नहीं है।

गतिविधि 3 : वस्तुओं के आयतन और उनके द्वारा विस्थापित द्रव के आयतन के बीच के सम्बन्ध की पड़ताल करना

प्रक्रिया : विद्यार्थियों से घनाकार (क्यूबॉयड) टुकड़ों तथा गोलों के आयतन की गणना करने के लिए कहें। इसके लिए

इस प्रयोग के लिए चुनी गई वस्तुओं के समूह के लिए कोई नियम नहीं है। उन्हें इसलिए चुना गया है क्योंकि वे अलग-अलग द्रवों में उतराने की भिन्न स्थितियों को प्रदर्शित करती हैं। इस सामान्य शर्त का पालन करते हुए, शिक्षक इस प्रयोग के लिए बिलकुल भिन्न वस्तुओं का समूह चुन सकते हैं।

आवश्यकतानुसार लम्बाई-चौड़ाई आदि मापकर गणितीय सूत्रों का उपयोग करते हुए आयतन तय किया जाए। इसके बाद प्रत्येक वस्तु को एक-एक करके मापन के जार (नापने के निशान लगे हुए जार) में भरे हुए पानी में डालने के लिए कहें। प्रत्येक वस्तु के डालने के पहले और बाद के पानी के स्तरों को मापन जार में चिन्हित करके, विद्यार्थी प्रत्येक वस्तु द्वारा हटाए गए पानी के आयतन की गणना कर सकते हैं। इन मानों की तुलना इस प्रयोग की शुरुआत में की गई वस्तुओं के आयतन की गणनाओं से मिले मानों से करें।

इस प्रयोग के कुछ सामान्य अवलोकन नीचे दिए गए हैं :

1. डूबी हुई वस्तुओं का आयतन द्रव के उस आयतन के बराबर होता है जिसको वे हटाती हैं।
2. द्रव की सतह पर उतराने वाली वस्तुओं का आयतन उनके द्वारा विस्थापित किए गए द्रव के आयतन से ज्यादा होता है।

इन अवलोकनों को गणितीय ढंग से इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है।

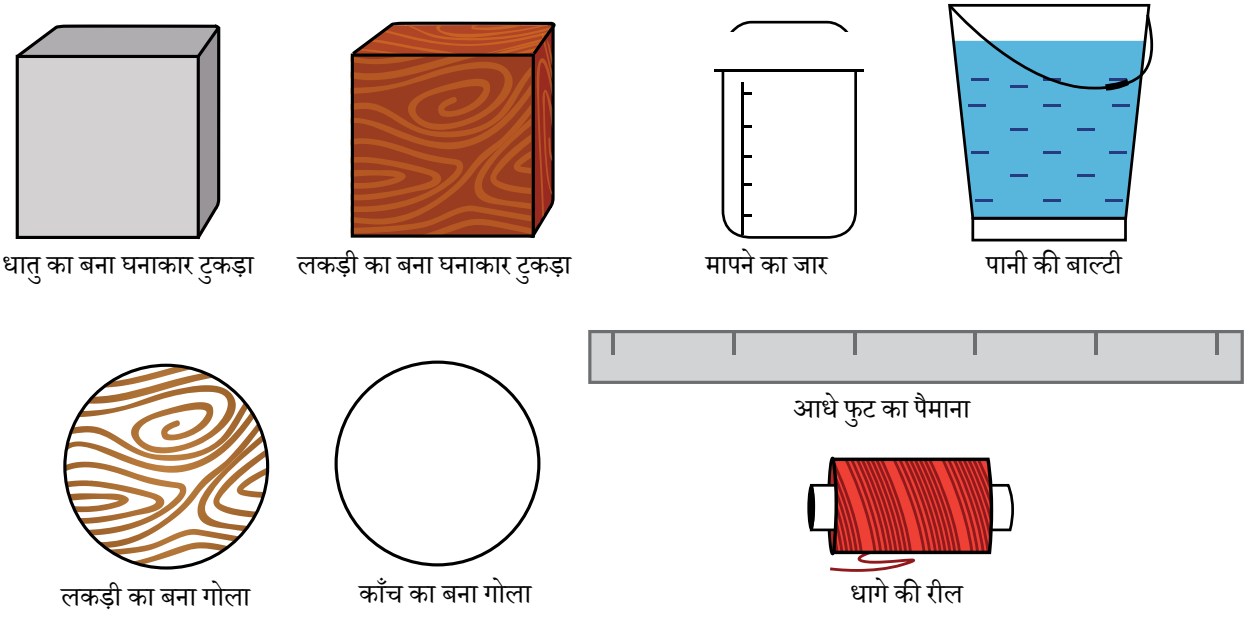
$V_{\text{वस्तु}} = V_{\text{द्रव}}$ जो विस्थापित किया गया जब वस्तु उसमें डूब जाती है।

> वस्तु के द्वारा द्रव का विस्थापित आयतन वस्तु के द्रव में डूबे हुए भाग के आयतन के बराबर होता है।

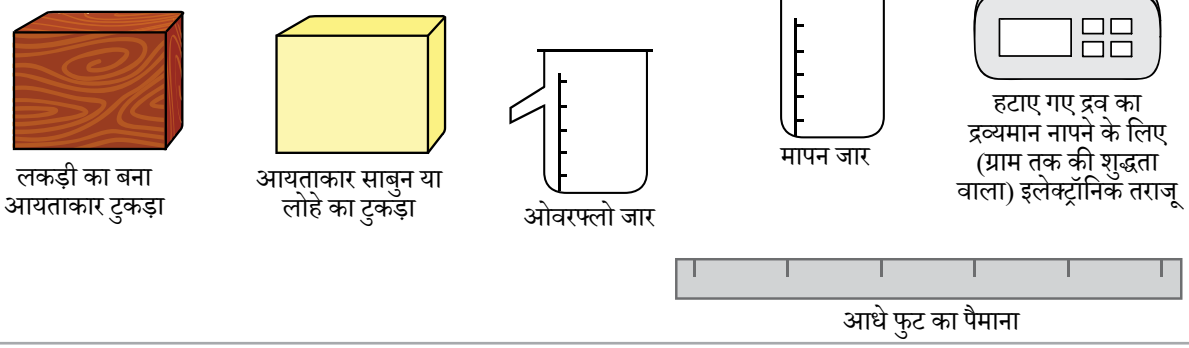
$V_{\text{वस्तु}} > V_{\text{द्रव}}$ जो विस्थापित किया गया जब वस्तु द्रव की सतह पर उतराती है।

गतिविधि 4 : उतराने और डूबने में द्रव्यमान तथा घनत्व के सम्बन्ध की छानबीन करना

प्रक्रिया : गतिविधि 3 की तरह विद्यार्थियों से घनाकार टुकड़ों के आयतन की गणना करने तथा उनके द्रव्यमान पता करने को कहें। फिर टुकड़ों को एक-एक करके एक मापन जार में रखे हुए पानी में डुबोने के लिए कहें । हरेक टुकड़े द्वारा विस्थापित पानी के द्रव्यमान तथा आयतन को अलग-अलग दर्ज करें। द्रव्यमान, आयतन तथा घनत्व के बीच के सम्बन्ध की छानबीन करने के उद्देश्य से इन अवलोकनों का उपयोग करने के लिए प्रोत्साहित करें, खास तौर पर इस तथ्य को देखते हुए कि समान आयतन वाली वस्तुएँ द्रवों में उतराने को लेकर अलग-अलग गुण दर्शा सकती हैं (जहाँ एक सतह पर उतराती है, वहीं दूसरी द्रव में डूब सकती है)। जब वे यह काम पूरा कर चुकें, तब आप विद्यार्थियों से इस सम्बन्ध का परीक्षण अनियमित आकारों वाली वस्तुओं



चित्र 3 : गतिविधि 3 के लिए आवश्यक संसाधन। 2 घनाकार टुकड़े (एक धातु का बना हुआ और दूसरा लकड़ी का बना हुआ), 2 बड़े गोले (एक लकड़ी का बना हुआ, दूसरा काँच का बना हुआ), एक मापन जार, एक धागे की रील, एक पानी भरी बाल्टी और एक आधे फुट का पैमाना जिससे घनाकार टुकड़ों की नापों को मापा जा सके।



चित्र 4 : गतिविधि 4 के लिए आवश्यक संसाधन। आयताकार लकड़ी का एक टुकड़ा तथा समान मापों वाला आयताकार साबुन या लोहे का एक टुकड़ा (पदार्थों की भिन्नता के अलावा एक समान दिखने वाले), अतिरिक्त बहाव वाला एक जार, मापन का एक जार, हटाए गए द्रव का द्रव्यमान नापने के लिए एक इलेक्ट्रॉनिक तराजू (जो द्रव्यमान को ग्राम तक सही दिखाए) और टुकड़ों की मापों को नापने के लिए आधे फुट का एक पैमाना।

के साथ करने के लिए भी कह सकते हैं। यहाँ V_O वस्तु के आयतन को तथा V_W विस्थापित किए गए पानी के आयतन को निरूपित करते हैं। इसी प्रकार, D_O वस्तु के घनत्व को तथा D_W विस्थापित किए गए पानी के घनत्व को निरूपित करते हैं।

	आयतन का सम्बन्ध	द्रव्यमान का सम्बन्ध	घनत्व का सम्बन्ध (द्रव्यमान/ आयतन)
डूबना	$V_O = V_W$	$M_O > M_W$	$D_O > D_W$
उतराना	$V_O > V_W$	$M_O = M_W$	$D_O < D_W$

जिस तरह हमने वस्तुओं के पानी में उतराने या डूबने के गुणों की छानबीन की है, उसी तरह अन्य द्रवों जैसे कि अल्कोहल, साइट्रिक अम्ल, नमक का घोल तथा शक्कर का घोल जैसे अन्य द्रवों के साथ इन गुणों की छानबीन की जा सकती है। विद्यार्थियों से पूछें कि ऐसा क्यों होता है कि वही वस्तु भिन्न-भिन्न द्रवों में (आंशिक रूप से या पूरी तरह से) उतरा सकती है और डूब सकती है। इसका जवाब इस तथ्य को स्थापित करने के लिए आवश्यक है कि वस्तु का उतराना या डूबना केवल वस्तु के गुणों पर ही निर्भर नहीं करता, बल्कि द्रव के गुणों पर भी निर्भर करता है। इस तथ्य का एक आसान प्रदर्शन एक अण्डे को नमक के घोल में (या गाजर के टुकड़ों को साइट्रिक अम्ल में) डालकर देखा जा सकता है। जब हम एक अण्डे को नल के सामान्य पानी से भरे जग में डालते हैं तो वह डूब जाता है। पर यदि नल के पानी में पर्याप्त मात्रा में नमक घोल दिया जाए तो

यदि वस्तु का घनत्व उस द्रव के घनत्व के बराबर हो जिसमें उसे डाला जाता है, तो क्या इस प्रयोग के परिणाम भिन्न होंगे? आप कमरे के तापमान पर गाजर के टुकड़ों को पानी में, साइट्रिक अम्ल में या शक्कर के संतृप्त घोल में बारी-बारी से डालकर इस सवाल की छानबीन कर सकते हैं।

अण्डे को उस घोल की सतह पर तैराया जा सकता है क्योंकि नमकीन पानी का घनत्व नल के सादे पानी के घनत्व से अधिक होता है।

इससे फिर एक अन्य प्रश्न निकलता है - 'क्या द्रव की सतह पर उतराने में किसी वस्तु की आकृति की कोई भूमिका होती है?' विद्यार्थियों को सानी हुई मिट्टी या अल्यूमिनियम का पत्तर और पानी से भरा एक टब दें। फिर वे उस सनी हुई मिट्टी या अल्यूमिनियम के पत्तर का उपयोग विभिन्न प्रकार की आकृतियाँ बनाने के लिए करें जिनकी सतहों के द्रव के साथ सम्पर्क क्षेत्रफल अलग-अलग हों, ताकि उनके द्वारा हटाए गए पानी के भिन्न-भिन्न आयतनों की तुलना की जा सके। इसके परिणामस्वरूप आगे बढ़ते हुए यह चर्चा की जा सकती है कि किस प्रकार नावों और जहाजों की आकृति को पानी की सतह पर उतराने के लायक डिजाइन किया जाता है, इसके बावजूद कि वे ऐसे पदार्थों से बनते हैं जिनका घनत्व समुद्र के पानी के घनत्व से काफी ज्यादा होता है।

निष्कर्ष

प्रयोगों को करने के बारे में ये बस कुछ ऐसे सुझाव हैं जिनका उपयोग भौतिकविज्ञान की एक अवधारणा की इस प्रकार छानबीन करने के लिए किया जा सकता है कि वे उसके पढ़ाने और सीखने को अधिक रोचक और आकर्षक बना सकते हैं। इस प्रकार की पद्धति विद्यार्थियों को भौतिक अवधारणाओं की स्वयं 'छानबीन करने' और 'खोजने', तथा ऐसे अनुभवों से खुद अपने ज्ञान को निर्मित करना आरम्भ करने का अवसर प्रदान करती है। हमने इन विचारों को 35 शासकीय शिक्षकों (निवाई,टोंक राजस्थान) के साथ आजमाया और उनसे हमें बहुत जोरदार सकारात्मक प्रतिक्रिया प्राप्त हुई। क्या आप भी उन्हें इन्हें अपनी कक्षा में आजमाने की कोशिश नहीं करेंगे?

आभार

मैं अपने सहयोगियों ('लेट्स डू फिजिक्स' मोड्यूल को विकसित करने में साझेदार) राकेश तिवारी और गणेश जीवा का आभार व्यक्त करना चाहता हूँ। मैं अज़ीम प्रेमजी फाउण्डेशन, जयपुर की राज्य तथा टोंक की टीमों को भी दिसम्बर 2012 में निवाई में 'लेट्स डू फिजिक्स' की प्रशिक्षण कार्यशाला आयोजित करने में उनकी सहायता के लिए धन्यवाद देना चाहता हूँ।

References

1. Physics in the Elementary School, Harry O. Gillet, The Elementary School Teacher, Vol. 4, No. 10 (Jun., 1904), pp. 688-692.
2. Generative Role of Experiments in Physics and in Teaching Physics: A Suggestion for Epistemological Reconstruction, Ismo T. Koponen and Terhi Mäntylä.
3. Exploratory Experiments, L. R. Franklin, Philosophy of Science, Vol. 72, No. 5, Proceedings of the 2004 Biennial Meeting of The Philosophy of Science Association.
4. Demonstration Experiments in Physics. Reprinted from the classic work by Richard Manliffe Sutton.
5. Learning Introductory Physics by Doing It, Priscilla Laws Reviewed, Change, Vol. 23, No. 4 (Jul. - Aug., 1991), pp. 20-27.

मनीष यादव विज्ञान तथा गणित की शिक्षा के क्षेत्र में लगभग सात वर्षों से भी अधिक समय तक अजीम प्रेमजी फाउण्डेशन के साथ काम करते रहे हैं। उन्होंने शिक्षकों तथा शिक्षक प्रशिक्षकों के लिए विज्ञान शिक्षा के कई कार्यक्रमों को संचालित किया है। उनसे manishy18@gmail.com पर सम्पर्क किया जा सकता है। **अनुवाद :** सत्येन्द्र त्रिपाठी