

MODELE DE MEDII CONSTRUCTIVISTE DE ÎNVĂȚARE A FIZICII

*Mihail Calalb, conf. univ., dr.,
Universitatea Pedagogică de Stat „Ion Creangă” din Chișinău
Irina Zelenschi, drd.,
Universitatea Pedagogică de Stat „Ion Creangă” din Chișinău*

MODELS OF CONSTRUCTIVIST ENVIRONMENTS FOR PHYSICS LEARNING

*Mihail Calalb, PhD., Ass. Prof.,
„Ion Creanga” State Pedagogical University of Chisinau,
ORCID:0000-0002-3905-4781
mcalalb@hotmail.com
Irina Zelenschi, PhD student,
„Ion Creanga” State Pedagogical University of Chisinau,
ORCID:0000-0003-1719-4932
ira.tirigan@gmail.com*

CZU: 373.016:53

DOI: 10.46727/c.v3.24-25-03-2023.p346-352

Abstract. This article examines the role of the school physics laboratory in ensuring the constructivist nature of learning. For this purpose, the school physics laboratory is viewed as a learning environment which, through its equipment and organization, can support a wide range of constructivist teaching approaches: inquiry-based learning, project-based learning, problem-based learning, and visible teaching and learning. The research question is: „How can school physics laboratory be organized in such a way as to ensure active learning for students?” To this end, the paper analyzes the correlation between the laboratory work topics and the middle school physics curriculum, and proposes a list of laboratory works that can both develop students’ scientific research skills and ensure their deep understanding of big scientific ideas. As physics is an experimental science, a list of demonstrative experiments is also provided in order to accompany physics lessons. Furthermore, the paper highlights the role of digital teaching tools in motivating students both in the learning process and in ensuring their scientific understanding of the laws and phenomena studied.

Keywords: learning environment, constructivist teaching, school physics laboratory, physics teaching, inquiry-based learning.

I. Introducere. Cadrul teoretic

În această comunicare vom cerceta care este rolul laboratorului școlar de fizică în asigurarea caracterului constructivist al învățării. Reieșind din aceasta, vom analiza laboratorul de fizică din două perspective: a) cea a conceptului de mediu de învățare care, prin dotarea și organizarea sa, poate susține un spectru larg de abordări didactice constructiviste: învățarea prin cercetare, învățarea pe bază de proiect, învățarea problematizată, învățarea și predarea vizibilă; b) corelarea între mediul de învățare și motivarea pentru efort cognitiv, învățare.

În funcție de scopul laboratorului școlar de fizică, putem defini trei tipuri de laboratoare [1, p.1]:

- a. Laboratoarele bazate pe concepte, care au ca scop consolidarea materiei învățate din manual. În aceste medii de învățare lucrarea de laborator se efectuează, de obicei, la sfârșitul unității de conținut.
- b. Laboratoarele bazate pe competențe, care au ca scop dezvoltarea competențelor necesare pentru învățarea prin cercetare. În aceste laboratoare lucrarea de laborator este transformată într-un proiect de cercetare al elevilor.

c. Laboratoare mixte, care urmăresc formarea la elevi atât a conceptelor științifice noi, cât și a aptitudinilor de cercetare.

Astfel, tipul *a* de laboratoare pune accentul pe „verificarea” textului învățat și sunt mai aproape de laboratoarele tradiționale, care susțin predarea-învățarea convențională, tipul *b* pune accentul pe competențe practice și oferă elevilor un grad mai mare de libertate în învățarea prin cercetare, iar tipul *c* le îmbină pe ambele, fiind mediul cel mai adecvat pentru formarea înțelegerii conceptuale. Cercetările arată că laboratoarele orientate spre formarea deprinderilor de experimentare ajută la dezvoltarea gândirii critice a elevilor mai bine decât laboratoarele orientate spre întărirea materialului [1, p.2].

Sarcinile elevilor în laboratoarele școlare tradiționale sunt cunoscute prin sintagma „mersul lucrării”, care cere de la elevi să efectueze un șir de acțiuni mai mult sau mai puțin înțelese, să introducă datele măsurărilor într-un tabel prestabilit, fără a lăsa loc pentru planuirea și desfășurarea unui experiment propriu. În schimb, în laboratoarele care oferă elevilor un grad de libertate mai mare, elevii își construiesc propria cunoaștere prin acțiuni cognitive: observa-re, reflecție, analiză, etc. [2, p.2]. Pentru a crește gradul de autonomie în actul de învățare al elevilor, laboratorul trebuie să susțină învățarea prin cercetare ghidată de profesor și, odată cu avansarea în timp, întrebarea de cercetare va fi una cât mai deschisă. Rezultatele cercetărilor internaționale arată că creșterea gradului de autonomie în acțiunea de învățare prin cercetare dezvoltă interesul, motivarea și încrederea elevilor [3, p.1].

Ideea libertății în acțiunea de cercetare a elevilor rezonază cu cele patru principii de bază ale constructivismului radical [4, p.150]:

- a. Cunoașterea se construiește (de elev), dar nu se transmite (de profesor). Adică elevul este responsabil pentru propriul proces de învățare.
- b. Construirea cunoașterii se bazează pe efort cognitiv. Elevii trebuie să-și construiască propriile reprezentări mentale ale cunoștințelor și să le integreze cu cunoștințele anterioare. Cu alte cuvinte, elevul înțelege cum trebuie să învețe și ce strategie de învățare să-și aleagă, reieșind din profilul său intelectual, emoțional, psihologic, etc.
- c. Cunoașterea anterioară influențează procesul de învățare.
- d. Înțelegerea inițială este locală, superficială și doar ulterior devine conceptuală.

La aceste principii putem să adăugăm încă două principii:

- e. Învățarea este comunicare permanentă. Învățarea este un proces social și interactiv, Feedback-ul este general: elev-elev, elev-profesor. Procesul didactic de succes este clădit pe comunicare avansată.
- f. Învățarea este bazată pe descoperire și explorare, ca să avem motivare și interes. Mai mult decât atât, învățarea prin cercetare conduce și la înțelegerea profundă a sensului fizic a noțiunilor noi. Învățarea ca un efort de cercetare permanentă din partea elevului.

De asemenea, pentru un proces didactic constructivist, evaluarea se concentrează pe procesul de învățare, nu doar pe rezultatele imediate ale memorizării. Evaluăm înțelegerea conceptuală, dar nu înțelegerea superficială, imediată.

Există mai multe modele de aplicare a conceptului constructivismului radical. Unul din ele este modelul laboratorului școlar de fizică în *format studio*. Este un model de mediu de învățare mai complex, unde elevii își dezvoltă înțelegerea conceptuală și funcțională a fizicii, deprinderile de rezolvare a problemelor, deprinderi de cercetare experimentală și de lucru cu aparatele de măsurat, deprinderi de aplicare a tehnologiilor și deprinderile de comunicare. În formatul studio lecția de predare a temei noi și lucrarea de laborator se interpenetrează, devin o singură entitate în orar. Astfel, se obține o învățare activă, colaborativă, centrată pe elev. Cercetările arată că elevii care au învățat în formatul studio realizează mai bine obiectivele cognitive

decât elevii din clasa tradițională [5, p.2]. Adică, anume laboratorul școlar organizat pe principiile învățării prin cercetare asigură caracterul constructivist real al procesului didactic.

Laboratorul școlar de fizică constructivist sau cel care susține învățarea prin cercetare este mediul unde se aplică conceptul de „nature of science” (natura științei), deoarece aici elevii învață și despre modul cum funcționează știința. Este aplicabil nu doar pentru fizică, dar pentru toate științele despre natură și include următoarele aspecte:

- a. În laboratorul școlar elevii învață, prin cercetarea lor proprie, despre cum funcționează știința: de la emiterea ipotezelor până la elaborarea modelelor de aplicare.
- b. În laboratorul școlar elevii înțeleg, prin observațiile lor și dezvoltarea argumentelor, că știința nu este un construct rigid, nu este adevărul în ultima instanță.
- c. În laboratorul școlar elevii realizează, prin efectuarea măsurărilor, a calculelor și prin prezentarea rezultatelor, că știința este și despre responsabilitate, etică profesională, transparentă în comunicarea rezultatelor.

Scopul final al aplicării conceptului de „nature of science” este dezvoltarea abilităților reflexive și de gândire critică, e despre o înțelegere mai profundă și mai conștientă a rolului științei în lumea modernă. Adică, stă la baza competențelor de învățare pe tot parcursul vieții.

Enumerăm principiile de bază pentru un proces didactic în stilul conceptului de „nature of science”, NOS [6, p.5]:

- a. Pentru elevi trebuie să fie clar că în clasă are loc predarea în stilul NOS.
- b. Aspectele NOS se discută în clasă doar în conexiune cu subiecte specifice de la lecția de fizică sau din lucrarea de laborator.
- c. NOS este un obiectiv de învățare separat, adică trebuie să facem diferența între trei lucruri distincte: a învăța știință, a învăța să faci știință, și a învăța ce este știința.
- d. Crearea de oportunități pentru elevi ca să se convingă că știința nu este un dat rigid, dar un domeniu viu, în dezvoltare permanentă.
- e. Prezentarea și discutarea între elevi a rezultatelor cercetărilor efectuate în grup face parte din înțelegerea NOS de către elevi.

Vom prezenta aici câteva exemple de abordări constructiviste, care încadrează și conceptul NOS [7, p.2]:

1. Tutoriale interactive în fizică – împărțirea clasei în grupuri mici de elevi, care folosesc tutoriale în diferite forme (text, video scurt, studii de caz, etc.) pentru a învăța o noțiune nouă. Interactive – deoarece sunt ghidați permanent de profesor, care facilitează și discuțiile din grup.
2. Medii de învățare a științei prin cercetare - laboratorul școlar este organizat ca un astfel de mediu, unde elevii sunt tratați ca niște cercetători începători. Iarăși discuții în grupuri mici, facilitate de către profesor. Obiectivul este mai mult dezvoltarea intuiției decât dezmințirea concepțiilor greșite. Adică, nu se penalizează ideile greșite, pentru a nu tăia din elanul de învățare.
3. Instruire prin modelare – aici avem un mediu de învățare unde elevii lucrează în grupuri mici pentru a dezvolta, a testa, a implementa și a revizui modele conceptuale, apoi grupele se reunesc pentru a discuta împreună modelele și concluziile la care a ajuns fiecare grup.
4. Instruirea mutuală – este cunoscută și ca Peer instruction, bazată pe discutarea între elevi a întrebărilor conceptuale, puse de profesor în cadrul evaluării formative dintr-o secvență de lecție. Instruirea mutuală are și elemente de clasă inversată, deoarece elevii iau cunoștință de material înainte de ziua lecției.
5. Situații-problemă bogate în context – toate temele din cursul de fizică sunt asociate cu câte o problemă bogată în context, pe care elevii o examinează din postura de experți.

Toți elevii preiau, prin rotație, rolul de expert. Ceilalți sunt ucenici. De asemenea, această pedagogie deprinde elevii să identifice informația relevantă.

6. Scalarea – mărirea sau îmbinarea grupurilor. Când perechile sau grupurile de elevi sunt așezate la mese mari împreună cu alte grupuri pentru a facilita discuții mai ample, la nivelul întregii clase. Adică, se referă de obicei mai mult la configurarea sălii de clasă decât la pedagogia în sine, dar se pretează bine la adoptarea diferențiată a stilurilor active de învățare.

Observăm că mai toate abordările constructiviste enumerate se bazează pe lucrul în grup, deoarece astfel se facilitează comunicarea despre care am vorbit anterior. Putem compara aceste abordări constructiviste recente cu metode bine-cunoscute, cum ar fi: învățarea prin metoda cercetării, învățarea reflexivă, învățarea pe bază de proiect, învățarea problematizată, învățarea și predarea vizibilă, învățarea activă, învățarea prin înțelegere. De exemplu, mediile de învățare a științei prin cercetare corespund metodei omonime, modelarea și scalarea corespund învățării pe bază de proiect, situațiile-problemă bogate în context corespund învățării problematizate, instruirea mutuală este o învățare reflexivă prin excelență, care presupune neapărat înțelegere. În concluzie, abordările noi se încadrează în concepțiile usuale.

II. Metodologie

Întrebarea de cercetare este următoarea: Cum de organizat laboratorul de fizică, astfel ca să avem învățarea activă a elevilor? Pentru aceasta vom defini care sunt factorii care determină caracterul activ al învățării sau factorii care ne ajută să obținem caracterul constructivist al învățării. Reieșind din cele expuse în cadrul teoretic al acestei lucrări, dar și din rezultatele cercetărilor internaționale [8, p.28], [9, p.2], [10, p.4], propunem Tab. 1 Factorii învățării active.

Tabelul 1 Factorii învățării active

Elementele de bază	Strategiile de învățare	Resursele didactice
Vorbirea	Grupuri mici	Încurajează elevii să interacționeze și să participe activ la cercetare și discuții.
Ascultarea	Lucrul colaborativ	
Citirea	Analiza situației de problemă	
Scrierea	Discuții	
Reflecția	Rapoarte, jurnale de laborator	

Din Tab. 1 rezultă că învățarea activă constă din trei factori, care corelează între ei. Acești factori sunt: a) elementele de bază sau componentele învățării active; b) strategiile de învățare – se referă la elev; c) resursele didactice ale profesorului. Observăm că elementele de bază sunt, de fapt, acțiunile cognitive (de învățare) obligatorii ale elevului în clasă: vorbirea, ascultarea, citirea, scrierea, reflecția. Strategiile de învățare se bazează pe grupuri mici, colaborare între elevi în cadrul grupului, pe examinarea situației de problemă, pe discuțiile rezultatelor și ține-rea jurnalelor de laborator individuale, unde elevul să-și noteze concluziile și reflecțiile. Iar în calitate de resursă didactică poate fi orice material, obișnuit sau multimedia, care să provoace și să susțină interesul de cercetare al elevilor.

Răspunsul la întrebarea de cercetare necesită și identificarea elementelor de bază ale laboratorului școlar de fizică, organizat în manieră constructivistă, adică un astfel de mediu care să permită elevilor un grad de libertate mai mare în activitatea lor de învățare.

Elementele laboratorului școlar de fizică organizat în stil constructivist

1. Echipament demonstrativ pentru fiecare lecție de fizică.
2. Echipament de laborator pentru fiecare grup de elevi.

3. Sensori digitali pentru digitalizarea lucrărilor de laborator.
4. Lucrări de laborator virtuale, când tema nu permite efectuarea experimentului real.
5. Sistem de evaluare digitală, în special pentru organizarea evaluării formative, care să asigure feedback-ul imediat sau caracterul vizibil al predării-învățării, dar și pentru excluderea factorului subiectiv din orice tip de evaluare.
6. Tablă sau panou interactiv pentru vizualizarea simulărilor, experimentului demonstrativ, prezentarea și dezbateră rezultatei lucrului în grup.
7. Mobilier flexibil pentru activități de grup și individuale.

Digitalizarea laboratorului e greu de subestimat, deoarece simulările combinate cu lucrarea de laborator reală au impact major asupra înțelegerii conceptuale [11, p.1]. Din această cauză planul lecției va include și descrierea în ce mod se va aplica tehnologia didactică, cu toate că este demonstrat că instrumentele digitale per se nu ajută pe elevii slabi [12, p.440]. Dar cel mai important fapt este că înțelegerea conceptuală este direct proporțională cu gradul de folosire a laboratorului școlar în predare. În clasele unde laboratorul a fost folosit mai des, înțelegerea conceptuală era la un nivel mai înalt [13, p.706].

În cercetarea noastră, am luat ca exemplu lucrările de laborator din cursul de fizică din cl. VII-a și am încercat să organizăm aceste lucrări în stil constructivist.

- Lab. 1 Determinarea vitezei medii a unui mobil
- Lab. 2 Gradarea dinamometrului
- Lab. 3 Determinarea constantei elastice a resortului
- Lab. 4 Determinarea densității unei substanțe necunoscute
- Lab. 5 Determinarea lucrului forțelor activă și rezistentă.

Vom lua, de exemplu, lucrarea de laborator „Determinarea vitezei medii a unui mobil” și o vom organiza în stil constructivist. Pentru ca o lucrare de laborator să aibă într-adevăr efect constructivist, ea trebuie să aducă plusvaloare în termeni de cunoștințe, priceperi și deprinderi. Cunoștințe – înseamnă înțelegerea profundă a sensului mărimilor fizice cercetate în lucrare. Acestea le grupăm de-a lungul cursului în idei științifice mari sau de bază. Vedem că pentru Lab. 1 avem maxim trei idei științifice mari: noțiunea de distanță, de mișcare rectilinie uniformă, viteză și viteză medie. Menționăm că *Ideile Științifice Mari* sunt aproape de obiectivele cognitive ale lecției sau unitățile de competență. De asemenea, deprinderile de cercetare sunt esența constructivismului. Fără ele suntem în era predării convenționale. Rezultatele sunt prezentate în Tab. 2 Obiectivele lucrării de laborator constructiviste.

Tabelul 2. Obiectivele lucrării de laborator constructiviste

Lucrarea de laborator	Deprinderile de cercetare	Obiectivele cognitive	Ideile științifice mari
Determinarea vitezei medii a unui mobil	<ul style="list-style-type: none"> • Observarea fenomenului • Formularea ipotezei • Planificarea experimentului • Colectarea și analiza datelor • Interpretarea și prezentarea rezultatelor 	<ul style="list-style-type: none"> • Înțelegerea noțiunii de mișcare rectilinie uniformă • Înțelegerea noțiunii de viteză medie 	<ul style="list-style-type: none"> • Distanță • Mișcare rectilinie uniformă • Viteză/viteză medie

Aici am prezentat, de fapt, pașii din cadrul unui proiect de cercetare al elevilor. Mai detaliat aceștia sunt descriși în lucrarea unui din autori [14, p.36]. Menționăm că aptitudinea elevului de a observa, a formula un gând, a planifica o acțiune de cercetare și de a analiza rezultatul – ține și de metacogniție. Cu alte cuvinte, aplicarea sistematică la lecție a principiilor constructivismului deprinde elevul cu efortul cognitiv – pe termen mediu, iar pe termen lung – formează personalitatea sau competențele de învățare pe tot parcursul vieții.

De rând cu lucrarea de laborator, experimentul demonstrativ (real sau virtual) are un rol important în formarea înțelegerii conceptuale. Cercetările arată că o simulare scurtă, în termeni de efect asupra înțelegerii conceptuale, este mai eficientă decât textul din manual sau un tutorial video de câteva minute [15, p.27]. Exemple de experimente demonstrative pentru cl. VII-a la Cap. Interacțiuni sunt prezentate în Tab. 3.

Tabelul 3. Experimente demonstrative la Cap. II, Interacțiuni, cl. VII-a

Lecția	Experimentul demonstrativ
2.1. Interacțiunea. Efectele interacțiunii. Forța – măsură a interacțiunii. Măsurarea forțelor. Aplicații	Deformarea unei rigle metalice https://phet.colorado.edu/sims/html/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics_ro.html https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mech_pruzna&l=ro
2.2. Măsurarea forțelor. Activități experimentale	Măsurarea forței de greutate cu ajutorul dinamometrului și citire datelor
2.3. Forța – mărime vectorială. Compunerea forțelor coliniare	Deplasarea unui scaun din doua puncte diferite , are efect diferit https://phet.colorado.edu/sims/html/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics_ro.html
2.4. Compunerea forțelor coliniare.	Deplasarea unei mese din clasa de către 2 elevi în același sens și în sens opus
2.5. Echilibrul mecanic. Condiția de echilibru	https://phet.colorado.edu/sims/html/balancing-act/latest/balancing-act_ro.html
2.6. Forța de greutate. Ponderea.	Determinarea forței de greutate a manualului de fizică

Deși nu ține de acțiunea elevului, dar mai mult de profesor, experimentul demonstrativ are o importanță majoră în orice abordare constructivistă deoarece menține interesul elevilor pentru fizică.

În organizarea activității elevilor în cadrul lucrării constructiviste de laborator vom ține cont că sunt patru tipuri de acțiuni cognitive ale elevului, în ordinea creșterii impactului asupra înțelegerii conceptuale [16, p.73]: *pasive* – de tip ascultare, *active* – elevul face ceva, *constructive* – elevul produce ceva care depășește materialul prezentat de profesor, *interactive* – doi sau mai mulți elevi cooperează și dialoghează pe același subiect, neignorându-și reciproc contribuțiile.

III. Analiza rezultatelor și concluzii

1. Sunt definite trei tipuri de laboratoare școlare: laboratoare bazate pe concepte, laboratoare bazate pe deprinderi, laboratoare mixte. Laboratoarele orientate spre formarea deprinderilor impactează cel mai puternic aptitudinile de analiză și gândire critică.
2. Principiile constructivismului radical sunt îmbogățite cu două principii suplimentare: învățarea avansată este comunicare, învățarea presupune efort de cercetare.
3. Este arătat că majoritatea abordărilor constructiviste conțin și conceptul de „nature of science” și se bazează pe lucrul în grup.
4. Ca răspuns la întrebarea de cercetare: Cum de organizat laboratorul de fizică astfel ca să avem învățarea activă a elevilor? sunt:
5. Prezența și analiza factorii învățării active.
6. Descrie elementele laboratorului constructivist de fizică și este analizat rolul instrumentelor didactice digitale.
7. Arătați obiectivele lucrării de laborator constructiviste și este arătat că ele sunt similare obiectivelor unui proiect de învățare prin cercetare.

8. Date exemple de experimente demonstrative la tema Interacțiuni și este subliniat rolul lor în formarea interesului elevilor pentru studierea fizicii și atingerea înțelegerii conceptuale.

BIBLIOGRAFIE

1. WALSH, C.; LEWANDOWSKI, H. J.; HOLMES, N. G. Skills-focused lab instruction improves critical thinking skills and experimentation views for all students. *Phys. Rev. Physics Education Research*. 2022, 18, 010128, DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.010128.
2. KALENDER, Z. Y.; STUMP, E.; HUBENIG, K.; HOLMES, N. G. Restructuring physics labs to cultivate sense of student agency. *Phys. Rev. Physics Education Research*. 2021, 17, 020128, DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.020128.
3. SCHMIDT, J. A.; ROSENBERG, J. M.; BEYMER, P. N. A person-in-context approach to student engagement in science: Examining learning activities and choice, *J. Res. Sci. Teach.* 2018, 55, 19.
4. BEATTY, I. D.; GERACE, W. J. Technology-Enhanced Formative Assessment: A Research-Based Pedagogy for Teaching Science with Classroom Response Technology. *Journal of Science Education and Technology*. 2009, 18:146–162, DOI 10.1007/s10956-008-9140-4.
5. GATCH, D. Restructuring Introductory Physics by Adapting an Active Learning Studio Model. *International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*. 2010, 4(2), article 14. Available at: <https://doi.org/10.20429/ijstl.2010.040214>.
6. HANSSON, L.; LEDEN, L. Working with the nature of science in physics class: turning ‘ordinary’ classroom situations into nature of science learning situations. *Phys. Educ.* 2016, 51, 055001.
7. COMMEFORD, K.; BREWE, E.; TRAXLER, A. Characterizing active learning environments in physics using latent profile analysis. *Phys. Rev. Physics Education Research*. 2022, 18, 010113, DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.010113.
8. KARAMUSTAFAOGLU, O. Active learning strategies in physics teaching. *Energy Education Science and Technology Part B: Social and Educational Studies*. 2009, 1(1), pp. 27-50.
9. BERNHARD, J. Beyond active learning: Critical factors for learning in labs, *In 7th Research in Engineering Education Symposium (REES 2017)*, Bogota, Columbia, 6-8 July 2017, Volume 2, pp. 532-540. ISBN: 9781510849419.
10. RODRIGUEZ, L. V.; *et al*, Designing inquiry-based learning environments for quantum physics education in secondary schools. *Phys. Educ.* 2020, 55, 065026.
11. BANDA, H. J.; NZABAHIMANA, J. Effect of integrating physics education technology simulations on students’ conceptual understanding in physics: A review of literature. *Phys. Rev. Physics Education Research*. 2021, 17, 023108, DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.023108.
12. WALAN, S. Embracing Digital Technology in Science Classrooms—Secondary School Teachers’ Enacted Teaching and Reflections on Practice. *Journal of Science Education and Technology*. 2020, 29, pp. 431–441, <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09828-6>.
13. UWAMAHORO, J.; NDIHOKUBWAYO, K.; RALPH, M. *et al*. Physics Students’ Conceptual Understanding of Geometric Optics: Revisited Analysis. *Journal of Science Education and Technology*. 2021, 30, pp. 706–718 <https://doi.org/10.1007/s10956-021-09913-4>.
14. CALALB, M. Pedagogia învățării prin investigație și impactul ei asupra deprinderilor de cercetare științifică și învățare pe tot parcursul vieții. In: *Studia Universitatis Moldaviae (Seria Științe ale Educației)*. 2017, 5(105), pp. 32-39. ISSN 1857-2103.
15. TRIKOILIS, D. ICT Implementation to Improve Rural Students’ Achievement in Physics. *European Journal of Physics Education*. 2021, 12 (2), pp. 22-33.
16. CHI, M. T. H. Active-constructive-interactive: A conceptual framework for differentiating learning activities. *Topics in Cognitive Science*, 2009, 1(1), 73-105.